

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

66

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Μ. ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ**  
**ΦΥΣΙΚΟΣ – Μ.Δ.Ε. (Διδακτική Φυσικών Επιστημών)**

**Βελτιστοποίηση πειραματικών δραστηριοτήτων στη χημεία με  
τόχο τη θετική τους επίπτωση στην κατανόηση εννοιών και στη  
λύση προβλημάτων – Έμφαση στην αέρια κατάσταση**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**Διδακτορική Διατριβή**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Μ. ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ  
ΦΥΣΙΚΟΣ – Μ.Δ.Ε. (Διδακτική Φυσικών Επιστημών)**

**Βελτιστοποίηση πειραματικών δραστηριοτήτων στη χημεία με  
στόχο τη θετική τους επίπτωση στην κατανόηση εννοιών και στη  
λύση προβλημάτων – Έμφαση στην αέρια κατάσταση**

**Optimization of practical activities in chemistry aiming at a  
positive effect on concept understanding and on problem  
solving – Emphasis on the gaseous state**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

**Ευμοιρίδης Νικόλαος, Καθηγητής Τμήματος Χημείας – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
Παπαγεωργίου Γεώργιος, Καθηγητής Π.Τ.Δ.Ε. – Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο  
Θράκης**

**Τσαπαρλής Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών  
Επιστημών – Τμήμα Χημείας – Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Επιβλέπων  
Καθηγητής)**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006**



*Αφιερώνεται στη μνήμη  
του πατέρα μου*



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής σημαντική υπήρξε η συμβολή ενός αριθμού πανεπιστημιακών δασκάλων, συναδέλφων από το χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, φοιτητών του Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων καθώς και μαθητών από γυμνάσια και λύκεια των νομών Πρέβεζας και Ιωαννίνων.

Κατ' αρχήν είμαι ευγνώμων προς τον επιβλέποντα καθηγητή Γεώργιο Τσαπαρλή (Αναπληρωτής Καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων) για τη συνεχή καθοδήγηση και συνεισφορά του σε όλες τις φάσεις της διατριβής. Από την κατάσταση του ερευνητικού σχεδιασμού μέχρι την κριτική ανάγνωση ολόκληρης της διατριβής πριν αυτή λάβει την τελική της μορφή. Η τελική δομή και το περιεχόμενο της όλης εργασίας πολλά οφείλουν στα πολύτιμα σχόλια και τις παρατηρήσεις του επιβλέποντος καθηγητή.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω και προς τα δύο άλλα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, στον Καθηγητή Αναλυτικής Χημείας Νικόλαο Ευμοιρίδη (Τμήμα Χημείας - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων) και στον Καθηγητή Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, Γεώργιο Παπαγεωργίου (Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης) για την παρακολούθηση και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους σ' όλη τη διάρκεια της διατριβής.

Επίσης ευχαριστίες οφείλω στην Καθηγήτρια Στατιστικής Μηχανικής και Δυναμικής Χημικών Συστημάτων, Αγνή Μυλωνά-Κοσμά (Τμήμα Χημείας - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων), στον Αναπληρωτή Καθηγητή Φυσικής Κων/νου Κώτση ( Π.Τ.Δ.Ε. - Πανεπιστημίο Ιωαννίνων), στον Επίκουρο Καθηγητή Ανόργανης Χημείας, Σωτήρη Χατζηκακού (Τμήμα Χημείας - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων), και στη Λέκτορα Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, Ακατερίνη Πλακίτση (Τμήμα Νηπιαγωγών - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων), που συναποτέλεσαν με τους προαναφερθέντες καθηγητές την εξεταστική επιτροπή, για το χρόνο που διέθεσαν ασχολούμενοι με τη διατριβή και για τις σημαντικές παρατηρήσεις τους.

Ιδιαίτερα θέλω να υπογραμμίσω τη συμβολή του καθηγητή Κων/νου Κώτση για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εφαρμόσω τον ερευνητικό σχεδιασμό στο πλαίσιο του μαθήματος «Βασική Φυσική» που διδάσκει στους πρωτοετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε., καθώς και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του σχετικά με τη δομή και την εγκυρότητα των θεμάτων που τέθηκαν στην εξέταση των φοιτητών στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας.

Σημαντική υπήρξε η συνεισφορά των φίλων και συναδέλφων, Παπαφώτη, Γ. (Χημικός, Διδάκτορας της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών), Ζηκοβέλη, Β. (Χημικός, Μ.Δ.Ε. στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών), Ρούμπος, Δ. (Φυσικός, Μ.Δ.Ε. στην Πυρηνική Φυσική - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων) και Γερογιάννη, Σ. (Φυσικός) στη διάθρωση και την αξιοπιστία των βαθμολογικών σχημάτων που εφαρμόσαμε για τη βαθμολόγηση και κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των φοιτητών στα θέματα που τους τέθηκαν.

Επίσης από τη θέση αυτή οφείλω να ευχαριστήσω:



Τη συνάδελφο Γεωργούση, Κ. (Φυσικό, Διδάκτορα Φυσικής Ιατρικής και Σύμβουλο Εκπαίδευσης του κλάδου ΠΕ 4) για τις ενδιαφέρουσες παιδαγωγικές συζητήσεις που είχαμε καθώς και για τη συμμετοχή της στην κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις που περιέχονται και στα τρία μέρη της προέρευνας (Προέρευνα Ι, ΙΙ, ΙΙΙ). Τη συνάδελφο Νταλαούτη, Β. (Φυσικό, Μ.Δ.Ε. στη Θεωρητική Χημεία και υποψήφια διδάκτορα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών) για τη βοήθεια που πρόσφερε κατά την εκτέλεση των πειραμάτων στο εργαστήριο από τους φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων». Τις συναδέλφους Νείλα, Ι. (Βιολόγο, Διδάκτορα Οικολογίας) και Αμούτσα, Α. (Πτυχιούχο Γαλλικής Φιλολογίας) για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν στην κατανόηση εργασιών που είναι γραμμένες στη γαλλική γλώσσα καθώς και το Ν. Παναγιωτίδη (Φυσικό, Διδάκτορα Φυσικής Στερεάς Κατάστασης) για τη βοήθεια του στη συγγραφή της περίληψης στην αγγλική γλώσσα.

Θα ήταν παράλειψη αν δεν αναφερθώ στους πρωτοετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (ακαδημαϊκό έτος 2003-04), που συμμετείχαν στην κυρίως έρευνα καθώς και στους μαθητές των γυμνασίων και των λυκείων που πήραν μέρος στην προέρευνα. Ιδιαίτερα θέλω να αναφερθώ στους μαθητές της Α΄ λυκείου (τμήμα Α 2) του 2<sup>ου</sup> Ενιαίου Λυκείου Φιλιππιάδας (σχολικό έτος 2001- 2002), που πήραν μέρος στη δοκιμαστική εφαρμογή της διδακτικής μεθόδου «Λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων».

Τέλος θέλω να εκφράσω την εκτίμηση στη σύζυγο μου Σωτηρία Γιαννηγιώργη (Φιλολόγο) όχι μόνο για τη γλωσσική επιμέλεια των κειμένων αλλά και για την κατανόηση και την ηθική στήριξη που μου πρόσφερε καθώς και ευγνωμοσύνη στα παιδιά μου Αργυρώ και Μάρκο για την ανοχή και τη συμπαράστασή τους.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
----------------	---

ABSTRACT.....	5
---------------	---

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σύντομη ανασκόπηση της διδακτικής των φυσικών επιστημών και της χημείας.....	9
1.2 Η συμβολή της γνωσιακής ψυχολογίας.....	12
1.3 Προοπτικές της διδακτικής – παιδαγωγική γνώση περιεχομένου.....	14
1.4 Η παρούσα έρευνα – στόχοι.....	18

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ Ι

#### Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΗ ΜΑΘΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

2.1 Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης των φαινομένων στην επιστήμη.....	23
2.2 Μάθηση και εργαστήριο. Στόχοι – μορφές – αξιολόγηση της εργαστηριακής εργασίας - διδασκαλία που βασίζεται στη λύση προβλημάτων.....	25
2.3 Επιδεξιότητες χειρισμού.....	27
2.4 Επιδεξιότητες παρατήρησης.....	28
2.5 Τύποι εργαστηριακής εργασίας.....	30
2.6 Το εργαστήριο επαλήθευσης.....	31
2.7 Εργαστήριο εξερεύνησης.....	32
2.8 Εργαστήριο ανακάλυψης.....	34
2.9 Λύση προβλημάτων που βασίζεται σε εργαστηριακή εργασία.....	34
2.10 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο καλύπτει ένα κενό στο αναλυτικό πρόγραμμα χημείας.....	36
2.11 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο διαφέρει από τη λύση προβλημάτων με χαρτί και μολύβι.....	37
2.12 Η ανάγκη για προ-εργαστηριακή προετοιμασία.....	38
2.13 Αξιολόγηση της εργαστηριακής εργασίας.....	38
2.14 Το μοντέλο της πειραματικής μάθησης των Kolb και Fry.....	39
2.15 Αντιλήψεις των δασκάλων σε σχέση με την επιλογή του τύπου πειραματικής εργασίας.....	41
2.16 Πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης.....	43
2.17 Μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης.....	47
2.18 Ενσωματώνοντας πολλαπλές διδακτικές μεθόδους για να διδάξεις μια ενότητα στις φυσικές επιστήμες.....	49



2.19	Σύγκριση της αποτελεσματικότητας τριών διδακτικών μεθόδων για διδασκαλία γενικής χημείας – Παραδοσιακό εργαστήριο - Κύκλος μάθησης – Προσομοιώσεις με υπολογιστή .....	56
2.20	Οι απόψεις του J. D. Heron για τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη λύση προβλημάτων .....	59
2.21	Γιατί πιστεύουμε ότι η πειραματική λύση προβλημάτων βελτιώνει την ικανότητα λύσης προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες – απόψεις από τη γνωσιακή ψυχολογία.....	60
2.22	Το μαθησιακό στυλ και η επίδρασή του στη μάθηση .....	65
2.23	Κίνητρα και μάθηση .....	66
2.24	Απόπειρα μοντελοποίησης της λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο.....	69
2.25	Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο προϋποθέτει μια γνωστική υποδομή 70	

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ II

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΑΕΡΙΑ - ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

3.1	Ιδέες των μαθητών σε σχέση με τα αέρια και την αέρια κατάσταση .....	73
3.2	Ιδέες των μαθητών σχετικά με την πίεση που ασκείται από τα αέρια – Ατμοσφαιρική πίεση.....	75
3.3	Διδασκαλία των αερίων με τη βοήθεια πειραμάτων .....	82
3.4	Τα μοντέλα στη διδασκαλία της χημείας - το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων .....	85
3.5	Επίλυση προβλημάτων με πειράματα — μια απόπειρα εισαγωγής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη Γαλλία .....	87
3.6	Η τοποθέτηση του προβλήματος .....	89
3.7	Ποια η στάση των μαθητών απέναντι στη λύση προβλήματος με τη βοήθεια πειράματος.....	89
3.8	Ανάλυση σε σχέση με απαραίτητες γνωστικές δραστηριότητες .....	90
3.9	Διερευνητική φάση.....	90
3.10	Φάση κατάρτισης της πειραματικής διαδικασίας.....	91

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ III

#### ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

4.1	Γενικά περί διδακτικών μοντέλων .....	95
4.2	Δασκαλοκεντρική ή μονολογική διδασκαλία.....	97
4.3	Διαλεκτικό μοντέλο διδασκαλίας .....	99
4.4	Η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση (cooperative learning).....	104
4.5	Η ενεργός συμμετοχή των μαθητών .....	104
4.6	Διδακτική στρατηγική .....	106
4.7	Η αλληλεπικοινωνία των μελών της ομάδας.....	111
4.8	Αλληλεξάρτηση των μελών της ομάδας.....	114



4.9	Αποκέντρωση εξουσίας και ανομοιογένεια της ομάδας .....	114
4.10	Επιπτώσεις της συνεργατικής μάθησης στη κοινωνική συμπεριφορά του ατόμου .....	115
4.11	Στοιχεία από το μοντέλο γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών .....	116

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ

5.1	Γενικά στοιχεία του δείγματος .....	121
5.2	Η γνωστική υποδομή των υποκειμένων της έρευνας .....	123
5.3	Κοινωνικο-πολιτιστικά χαρακτηριστικά των υποκειμένων της έρευνας ....	125
5.4	Η στάση των φοιτητών του δείγματος σε σχέση με τις φυσικές επιστήμες	126
5.5	Έλεγχος ισοδυναμίας των ομάδων που πήραν μέρος στις διδακτικές μεθόδους σε σχέση με τον αριθμό τους, ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο .....	128
5.6	Έλεγχος ισοδυναμίας των ομάδων που πήραν μέρος στις διδακτικές μεθόδους σε σχέση με τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών στο πανεπιστήμιο και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο .....	130
5.7	Περαιτέρω επεξεργασία της ισοδυναμίας των δειγμάτων -Ισοστάθμιση των δειγμάτων. ....	135
5.8	Σύγκριση μέσων τιμών πολλών δειγμάτων ανεξάρτητων πολυπαραγοντικών .....	140
5.9	Έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς πολλών πληθυσμών .....	142
5.10	Ανάλυση διακύμανσης .....	143
5.11	Πολλαπλές συγκρίσεις μέσων τιμών .....	144

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ «Α»

6.1	Γενικά για την ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε .....	145
6.2	Εφαρμογή του διαλεκτικού μοντέλου στη Διδακτική Παρέμβαση «Α» .....	146
6.3	Τα θέματα που διδάχτηκαν κατά την παρέμβαση «Α» .....	150

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ «Β»

7.1	Τρόπος συγκρότησης των ομάδων – Τα προβλήματα που διδάχθηκαν .....	157
7.2	Η διδασκαλία στην «ομάδα επίδειξης» .....	160
7.3	Μέτρηση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα μπουκάλι coca-cola – ομάδα επίδειξης .....	160
7.4	Εύρεση της σχέσης πίεσης – όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου – «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» .....	164





7.5	Δοκιμαστική εφαρμογή διδασκαλίας λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο .....	168
7.6	Λύση προβλημάτων στο εργαστήριο - «Ομάδα πειραμάτων» .....	170
7.7	Φάση μεταβίβασης του προβλήματος από τον διδάσκοντα στην ομάδα ....	171
7.8	Η φάση οικειοποίησης του προβλήματος από την ομάδα .....	172
7.9	Φάση διαμόρφωσης μιας πειραματικής διαδικασίας.....	172
7.10	Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού.....	174
7.11	Φάση αξιολόγησης .....	175
7.12	Φάση ερμηνείας των αποτελεσμάτων .....	176
7.13	Φάση κοινωνικοποίησης.....	176
7.14	Φάση επιβεβαίωσης της λύσης.....	177

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

8.1	Γενικά περί των θεμάτων που τέθηκαν για την αξιολόγηση της κατανόησης βασικών ιδιοτήτων της αέριας κατάστασης .....	181
8.2	Τα θέματα εξέτασης στο μάθημα Βασική Φυσική Ι – Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης (Ιωάννινα 17/6/2004).....	182
8.3	Απαντήσεις των θεμάτων .....	184
8.4	Διάρθρωση βαθμολογικών σχημάτων για την αξιολόγηση των θεμάτων...	185
8.5	Αξιοπιστία (reliability) του βαθμολογικού σχήματος .....	190
8.6	Η εγκυρότητα (validity) των θεμάτων.....	192

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΤΑ ΕΠΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΤΕΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ - ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

9.1	Παρουσίαση του θέματος 1 .....	197
9.2	Παρουσίαση του θέματος 2 .....	199
9.3	Παρουσίαση του θέματος 3 .....	201
9.4	Παρουσίαση του θέματος 4 .....	206
9.5	Παρουσίαση του θέματος 5 .....	210
9.6	Παρουσίαση του θέματος 6 .....	214
9.7	Παρουσίαση του θέματος 7 .....	217

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ι: — ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΟΜΑΔΩΝ

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΑΝ ΚΑΙ ΑΝΑ ΘΕΜΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

10.1	Θέμα 1 .....	221
10.2	Θέμα 2 .....	225



10.3	Θέμα 3 .....	227
10.4	Θέμα 4 .....	230
10.5	Θέμα 5 .....	233
10.6	Θέμα 6 .....	235
10.7	Θέμα 7 .....	238
10.8	Σύγκριση των επιδόσεων στο σύνολο των θεμάτων (για τα πραγματικά δείγματα) σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.....	240
10.9	Σύγκριση των επιδόσεων στο σύνολο των θεμάτων για τα ισοσταθμισμένα δείγματα σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν .....	246
10.10	Σύγκριση των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση (για τα πραγματικά δείγματα).....	248
10.11	Σύγκριση των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση για τα ισοσταθμισμένα δείγματα .....	249
10.12	Ποιες κατηγορίες φοιτητών σε σχέση με το επίπεδο επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) ωφελήθηκαν περισσότερο από κάθε διδακτική μέθοδο (για τα πραγματικά δείγματα).....	250
10.13	Ποιες κατηγορίες φοιτητών σε σχέση με το επίπεδο επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) ωφελήθηκαν περισσότερο από κάθε διδακτική μέθοδο για τα ισοσταθμισμένα δείγματα.....	260
10.14	Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών από το λύκειο (για τα πραγματικά δείγματα) .....	264
10.15	Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών από το λύκειο για τα ισοσταθμισμένα δείγματα.....	269
10.16	Μελέτη της επίδοσης των φοιτητών ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από λύκειο σε σχέση με την ομάδα διδακτικής μεθόδου και των μορίων εισαγωγής στο πανεπιστήμιο (με τη μέθοδο συνδυακύμανσης – ANCOVA) .....	272
10.17	Αξιολόγηση της επίδοσης σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, ανεξάρτητα από τη διδακτική ομάδα στην οποία συμμετείχαν (για τα πραγματικά δείγματα).....	279
10.18	Αξιολόγηση της επίδοσης σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο ανεξάρτητα από την ομάδα στην οποία συμμετείχαν για τα ισοσταθμισμένα δείγματα.....	280
10.19	Ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις συγκρίσεις.....	281

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΙ

### ΤΥΠΟΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ – ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ - ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ- ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ

11.1	Πρόβλημα-θέμα 1.....	287
------	----------------------	-----



11.2	Πρόβλημα-θέμα 2.....	293
11.3	Πρόβλημα-θέμα 3.....	299
11.4	Πρόβλημα-θέμα 4.....	301
11.5	Πρόβλημα-θέμα 5.....	306
11.6	Πρόβλημα-θέμα 6.....	311
11.7	Πρόβλημα-θέμα 7.....	315
11.8	Ανακεφαλαίωση των απαντήσεων στα θέματα εξέτασης – ποιοτικά ευρήματα .....	318
11.9	Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό) για τα πραγματικά δείγματα.....	322
11.10	Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό) για τα «ισοσταθμισμένα» δείγματα.....	327
11.11	Αξιολόγηση της επίδοσης των δύο κύριων ομάδων του δείγματος (φοιτητές που συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση Α και σε μια διδακτική μέθοδο και φοιτητές που συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α) σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης για τα πραγματικά δείγματα.....	329
11.12	Αξιολόγηση της επίδοσης των δύο κύριων ομάδων του δείγματος (φοιτητές που συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση Α και σε μια διδακτική μέθοδο και φοιτητές που συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α) σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης για τα «ισοσταθμισμένα δείγματα».....	333

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

12.1	Σύνοψη της επίδοσης των ομάδων στα θέματα εξέτασης.....	337
12.2	Δύο παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν στην επίδοση της «ομάδας πειραμάτων».....	341
12.3	Ο χρονικός περιορισμός δρα σε βάρος της ομαδοσυνεργατικής λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο.....	343
12.4	Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο συνδέει το μαθητή με την επιστημονική μέθοδο.....	345
12.5	Προϋποθέσεις για τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο από μαθητές /φοιτητές.....	346
12.6	Η στάση των φοιτητών που πήραν μέρος στη λύση προβλημάτων με πειράματα. Τελικά συμπεράσματα.....	348

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

ΣΧΕΔΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ Ο ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ «Α».....	355
ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	356



Εξαέρωση ακετόνης με θέρμανση ΠΕΙΡΑΜΑ 1 ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΣΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	358
Εξάχνωση ιωδίου – Ο ρόλος της θερμότητας Πείραμα 2 ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΕΚΤΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΟΝΤΑΙ.....	360
Εξαέρωση αιθέρα σε συνθήκες δωματίου – μια ενδόθερμη διαδικασία Πείραμα 3 ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΠΕΣΤΑ ΚΑΙ ΕΛΑΣΤΙΚΑ .....	362
Ο όγκος του αέρα μπορεί να περιορίζεται αλλά και να επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα Πείραμα 4 ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΔΙΑΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ .....	365
Θέρμανση / ψύξη αέρα σε φιάλη που συνδέεται με μανόμετρο νερού Πείραμα 5  ΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	368
Γιατί δεν χύνεται το νερό σε ένα ανεστραμμένο ποτήρι που καλύπτεται με χαρτόνι Πείραμα 6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΡΙΩΝ ΑΕΡΙΟΥ .....	370
Πείραμα 7	

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

### Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 1 .....	375
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πυκνότητας του αέρα. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.	
ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 2 .....	380
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής διαπίστωσης του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και προσδιορισμού της περιεκτικότητάς του. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.	
ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 3 .....	386
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πίεσης που ασκεί αέριο σ' ένα δοχείο, σε mmHg (σε χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου). Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.	
ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 4 .....	390
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε ένα πείραμα διόγκωσης ενός φουσκωμένου μπαλονιού, χωρίς να εισάγετε επιπλέον ποσότητα αέρα σ' αυτό. Επιπλέον να προτείνετε ένα πείραμα σύνθλιψης αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στη συνέχεια να εκτελέσετε τα πειράματα.	
ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 5 .....	397
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της σχέσης μεταξύ πίεσης και όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.	



ΠΡΟΒΛΗΜΑ 6 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 6 .....	401
Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σ' ένα μπουκάλι coca-cola. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.	

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....</b>	<b>411</b>
-----------------------------------	------------

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ .....</b>	<b>415</b>
--------------------------------------	------------

### **ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ Ι.**

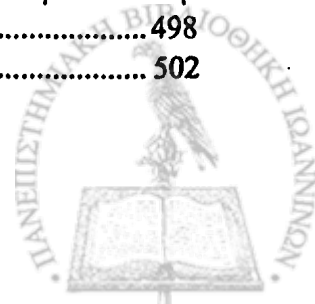
#### **ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ (12-15 ΕΤΩΝ) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ– ΚΟΙΤΑΖΟΝΤΑΣ ΠΙΣΩ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	437
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	437
Ιδέες των μαθητών σε σχέση με βασικές ιδιότητες των αερίων και την αέρια κατάσταση .....	440
Η ιστορία της επιστήμης και η διδασκαλία των φυσικών επιστημών δύο χώροι που τέμνονται .....	442
ΜΕΘΟΔΟΣ .....	446
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ .....	448
Ομάδα Α - Ερώτηση 1 .....	448
Ομάδα Β - Ερώτηση 2 .....	455
Ερώτηση 3 .....	460
Ερώτηση 4 .....	464
Ερώτηση 5 .....	467
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ .....	474
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	483
ΟΙ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΤΕΘΗΚΑΝ ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ .....	483
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ .....	490
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ .....	496

### **ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ ΙΙ**

#### **ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ(12-15 ΕΤΩΝ) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – ΚΟΙΤΑΖΟΝΤΑΣ ΠΙΣΩ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	497
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	497
Ιδέες των μαθητών σε σχέση με την πίεση που ασκούν τα αέρια και την ατμοσφαιρική πίεση .....	498
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ .....	502



Ομάδα Γ / Ερώτηση 6 .....	502
Ερώτηση 7 .....	508
Ερώτηση 8 .....	514
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ .....	518
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΛΛΗΝΙΚΗ .....	528
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ .....	528

### ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ ΙΙΙ.

Εκτίμηση της εννοιολογικής κατανόησης μαθητών (α' λυκείου) της αέριας κατάστασης - έμφαση στην ατμοσφαιρική πίεση με τη χρήση πειραμάτων επίδειξης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	533
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	533
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	534
Η επίδειξη πειράματος ως εργαλείο μάθησης	
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	
Υποκείμενα της έρευνας .....	536
Εκτέλεση των πειραμάτων .....	537
ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	539
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ-ΕΡΜΗΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ .....	540
Ανάλυση περιεχομένου	
ΠΕΙΡΑΜΑ α - ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΑΛΟΥΜΙΝΕΝΙΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ	
Προεπιστημονικές έννοιες - Προδομικές ερμηνείες .....	542
Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες - Μονοδομικές ερμηνείες .....	543
Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών - Πολυδομικές ερμηνείες .....	543
Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες .....	544
ΠΕΙΡΑΜΑ β - ΚΑΥΣΗ ΚΕΡΙΟΥ ΣΕ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ ΚΥΛΙΝΔΡΟ	
Προεπιστημονικές ερμηνείες - προ-δομικές ερμηνείες .....	545
Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες - μονοδομικές ερμηνείες .....	546
Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών - πολύδομικές ερμηνείες .....	547
Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες .....	548
ΕΥΡΗΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	548
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ .....	559
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΛΛΗΝΙΚΗ .....	561



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα συμβάλλει στο εγχείρημα που έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες για μια αποτελεσματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Ιδιαίτερα στην κίνηση για την ανανέωση των παιδαγωγικών και διδακτικών μεθόδων, που δίνουν έμφαση στη διδασκαλία, μέσω μιας συστηματικής προσφυγής στο πείραμα και στην εφαρμογή του για την επίλυση προβλημάτων.

Στην προέρευνα (Προέρευνα I, II) διερευνήσαμε και καταγράψαμε με τη χρησιμοποίηση ερωτήσεων ανοιχτού τύπου, που ζητούσαν απαντήσεις σύντομης ανάπτυξης, τις ιδέες μαθητών, αποφοίτων υποχρεωτικής εκπαίδευσης, σε σχέση με βασικές φυσικές ιδιότητες του αέρα και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Διαπιστώθηκε ότι η πλειονότητα του δείγματος έχει περιορισμένο επίπεδο γνώσεων στις παραπάνω έννοιες και αδυνατεί να τις εφαρμόσει για να εξηγήσει απλά φαινόμενα. Στην προέρευνα III καταγράφουμε τα νοητικά μοντέλα που πρόβαλαν μαθητές που διάνυσαν την α' λυκείου, για να ερμηνεύσουν δύο πειράματα που τους επιδείχθηκαν, σχετικά με ιδιότητες των αερίων και την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι μαθητές παρά τη θετική τους στάση προς το πείραμα επίδειξης, εστιάζουν την προσοχή τους σε άμεσα και προφανή χαρακτηριστικά του αέρα και δυσκολεύονται να εφαρμόσουν την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ευρήματα από την προέρευνα ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη της κυρίως έρευνας.

Στην κυρίως έρευνα διερευνάμε τις δυσκολίες και τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου, επίλυση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής μάθησης. Συγκρίνουμε την αποτελεσματικότητα αυτής της διδακτικής μεθόδου σε σχέση με τη διδασκαλία με καθοδηγούμενο διάλογο καθώς και με καθοδηγούμενο διάλογο υποστηριζόμενο με πειράματα επίδειξης.

Ως δείγμα χρησιμοποιήσαμε πρωτοετείς φοιτητές (N=151) του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, που ήταν απόφοιτοι και των τριών κατευθύνσεων (θετικής, τεχνολογικής και θεωρητικής) από το λύκειο.

Στην πρώτη φάση (διδασκτική παρέμβαση A) μετασχηματίσαμε σε διδακτική πράξη βασικές έννοιες από την αέρια κατάσταση και τις διδάξαμε στο σύνολο του δείγματος. Η διδακτική μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η διαλεκτική, υποστηριζόμενη με πειράματα επίδειξης. Στη διδασκαλία κάθε θέματος πρωταγωνιστούσε μια επιμέρους ομάδα φοιτητών και ο διδάσκων, ενώ οι υπόλοιποι φοιτητές παρακολουθούσαν.

Στη δεύτερη φάση (διδασκτική παρέμβαση B) χωρίσαμε τους φοιτητές του δείγματός μας σε τέσσερις ισοδύναμες ομάδες και στις τρεις ο γράφων δίδαξε τα ίδια θέματα, με τη μορφή επίλυσης προβλημάτων, διαθέτοντας τις ίδιες ώρες διδασκαλίας. Τα θέματα-προβλήματα αναφέρονταν επίσης στην αέρια κατάσταση. Σε κάθε μια από τις τρεις ομάδες ακολουθήσαμε διαφορετική διδακτική μέθοδο.

Στην πρώτη ομάδα (ομάδα πειραμάτων, N=43), τα θέματα-προβλήματα δόθηκαν στις επιμέρους ομάδες των φοιτητών και τους ζητήθηκε να επινοήσουν για τη λύσή τους



πειραματικές διατάξεις. Η πειραματική λύση που δόθηκε από κάθε ομάδα παρουσιάστηκε στη συνέχεια από την ίδια στις υπόλοιπες ομάδες. Αυτή η διδακτική μέθοδος κινείται στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής μάθησης (cooperative learning). Ο φοιτητής συμμετέχει ενεργά στο περιβάλλον της ομάδας, για να δομήσει τη δική του μάθηση και ο δάσκαλος παίζει ρόλο διαμεσολαβητή. Στη δεύτερη ομάδα (ομάδα επίδειξης πειραμάτων, N=37) η διδασκαλία-λύση κάθε προβλήματος έγινε κάθε φορά με μια επιμέρους ομάδα φοιτητών, σε συνεργασία με τον διδάσκοντα, ενώπιον των υπολοίπων φοιτητών, εφαρμόζοντας τη διαλεκτική μέθοδο διδασκαλίας η οποία υποστηρίχτηκε με την εκτέλεση σχετικών πειραμάτων επίδειξης. Στην τρίτη ομάδα (ομάδα συμβατικής διδασκαλίας, N=32) ακολουθήθηκε επίσης η διαλεκτική μέθοδος διδασκαλίας, χωρίς τη χρήση πειραματικών διατάξεων. Ως εποπτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε μόνο κινωπία και πίνακας. Τέλος μια τέταρτη ομάδα (ομάδα ελέγχου, N=39) αποτέλεσαν οι φοιτητές που συμμετείχαν στην πρώτη φάση διδασκαλίας αλλά δεν συμμετείχαν στη δεύτερη. Τέλος, το σύνολο του δείγματος εξετάστηκε γραπτώς σε ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και σε προβλήματα που ήταν σχετικά με την ύλη που διδάχτηκαν.

Από την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των απαντήσεων στα θέματα εξέτασης προέκυψε ότι:

Η πλειονότητα των αποφοίτων της λυκειακής εκπαίδευσης έχουν σε μικρό βαθμό κατανοήσει βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης και δυσκολεύονται στο να τις εφαρμόζουν για να απαντήσουν σε ερωτήσεις ή να λύσουν προβλήματα.

Η «ομάδα πειραμάτων» εμφάνισε τη μεγαλύτερη αναλογία ορθών και μερικώς ορθών απαντήσεων, σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες. Από τη στατιστική σύγκριση των επιδόσεων των τριών πρώτων ομάδων στο σύνολο των θεμάτων εξέτασης η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» δείχνει μια τάση να διαφοροποιηθεί ποιοτικά έναντι των δύο άλλων. Οι επιδόσεις των «ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους,

Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» στα πιο απαιτητικά θέματα (3, 4), που αναφέρονταν στη συσχέτιση μικροσκοπικών και μακροσκοπικών μεγεθών διαφέρει στατιστικά έναντι των δύο άλλων ομάδων.

Οι φοιτητές με «χαμηλή επίδοση», της «ομάδας πειραμάτων», παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο έναντι των φοιτητών της ομάδας «συμβατικής διδασκαλίας» στα πραγματικά δείγματα, ενώ στα ισοσταθμισμένα έναντι των φοιτητών της «ομάδας επίδειξης».

Αξιοσημείωτη είναι η στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των φοιτητών με «μέτρια επίδοση» που διδάχτηκαν λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων έναντι των φοιτητών της ίδιας κατηγορίας, που συμμετείχαν στις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους.

Οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης, της «ομάδας πειραμάτων», που έχουν ένα ενδιάμεσο γνωστικό υπόβαθρο, σημείωσαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους έναντι των φοιτητών των δύο άλλων ομάδων που ήταν απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης. Μεταξύ δε των φοιτητών, αποφοίτων τεχνολογικής κατεύθυνσης των





«ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Το σύνολο των φοιτητών που συμμετείχαν στις τρεις διδακτικές μεθόδους και προέρχονταν από τη θετική ή την τεχνολογική κατεύθυνση σημείωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους έναντι των φοιτητών που προέρχονταν από τη θεωρητική (για τα πραγματικά και τα ισοσταθμισμένα δείγματα). Μεταξύ δε των φοιτητών των δύο πρώτων κατευθύνσεων δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές. Οι φοιτητές δε που δεν συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο (ομάδα ελέγχου) δεν παρουσίασαν σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους σε σχέση με την κατεύθυνση από την οποία προέρχονταν.

Από τα παραπάνω μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οι φοιτητές που ενεπλάκησαν στη λύση προβλημάτων, με τη βοήθεια πειραμάτων, συνεργαζόμενοι σε ομάδες, έναντι των συμφοιτητών τους που διδάχθηκαν τα ίδια προβλήματα με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης, καθώς και εκείνων που τα διδάχθηκαν με κιμωλία και πίνακα, δείχνουν να απέκτησαν σε μεγαλύτερο βαθμό την ικανότητα να χρησιμοποιούν αφηρημένες έννοιες της αέριας κατάστασης, για να εξηγήσουν συγκεκριμένες καταστάσεις που τους τέθηκαν.

Το έργο του δασκάλου και των φοιτητών είναι πολύ δυσκολότερο στην ομαδοσυνεργατική διδασκαλία. Η ομαδοσυνεργατική λύση προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, λόγω της ενεργού συμμετοχής των μαθητών σ' αυτή. Όμως η συμμετοχικότητα δημιουργεί ένα θετικό διδακτικό κλίμα, αμβλύνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των φοιτητών, προσωποποιεί την εμπειρία και δημιουργεί ένα συναίσθημα αυτοεκτίμησης και συμμετοχής σε μια δημιουργική εργασία.

## ABSTRACT

The present research contributes to the last decades attempts over an effective teaching of the physical sciences. Especially in the movement for the renovation of the educational and tutorial methods, which emphasizes in teaching through systematic recourse to experiment and its application to problem solution.

In the pre-research (Pre-research I and II) we investigated and recorded through the use of open type questions, that asked for brief exposition answers, obligatory education graduate pupils' ideas, with respect to the fundamental physical features of the air and the atmospheric pressure. We realized that the major part of the sample have restricted knowledge on the above mentioned ideas and is unable to apply them towards the explanation of simple physical phenomena. In pre-research III we recorded the mental models proposed by A' class Lyceum graduates to interpret two experiments presented to them on the gas properties and the concept of atmospheric pressure. The pupils, contrary to their positive attitude with respect to the demonstration experiment, focus their attention to direct and self-evident features of the air and find it hard to apply the concept of atmospheric pressure. Certain findings of the pre-research work were taken into account in the planning and development of the mainstream research.

In the mainstream research we investigated the hardships and the conditions for the application of the method and problem resolution with the aid of experiments in the context of the co operational learning. We compare the effectiveness of this tutorial method with respect to classical teaching method with guided conversation as well as with guided conversation supported with demonstration experiments.

We used as sample first-year students (N=151) of the department of Primary Education of the University of Ioannina, who graduated in each of the three Lyceum Educational Levels (Science, Technology, Humanities).

In the first stage (tutorial intervention A) we transformed certain concepts of the gas state to tutorial action and we taught them to each member of the sample. The dialectic tutorial method was applied, supported by demonstration experiments. The teaching of each of the subjects was taken over by a student subgroup and the teacher, while the rest of the students attended.

In the second stage (tutorial intervention B) we parted the students of the sample to four equivalent groups and to the three of them the writer taught the same subjects in the form of problem solution, devoting the same teaching time to each of them. The problem-subjects referred to the gas state as well. We followed a different teaching method to each of the three groups.

Concerning the first group (experiments group, N=43), the problem-subjects were handed to the subgroups which were asked to invent experimental devices to their solution. The experimental solution produced by each group, was presented subsequently by this group to the others. This tutorial method works over the context of the cooperative



learning. The student is actively contributing under the group environment, to build its own learning and the teacher takes the part of the mediator.

Concerning the second group (experimental demonstration group,  $N=37$ ), the tutorial-solution of each problem took place each time with a sub-group of students, in cooperation with the teacher, in front of the rest of students, applying the dialectical teaching method, which was supported by the execution of the relevant demonstration experiments.

Concerning the third group (conventional teaching group,  $N=32$ ) the dialectical teaching method was followed as well, without any use of experimental instrumentation. The blackboard was the only visual means.

Finally a fourth group was formed (control group,  $N=39$ ) by the students who participated in the first stage of teaching but didn't participate in the second. In the end, everyone in the sample was being examined in script over open type questions and problems relevant to the taught matter.

By the qualitative as well as quantitative assessment of the answers over the matters of the examination, we concluded that:

The majority of the Lyceum's education graduates has no satisfactory apprehension of the fundamental concepts of the gas state and finds it hard to either apply them to answer questions or solve problems.

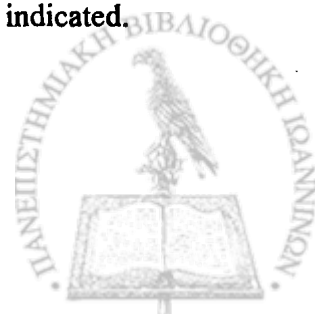
The "group of the experiments" produced the greatest proportionality of correct or partially correct answers compared to the other two groups. Comparing the progress of each of the first three groups over the whole set of the examination objects, the progress of the "group of the experiments" has a tendency to overtake qualitatively the other two. The progresses of the "demonstration group" and the "conventional teaching group" have no significant differences between them.

The progress of the "group of the experiments" in the most demanding matters (3, 4), that are referring to the correlation of microscopic over macroscopic quantities has statistical superiority over the other two groups.

The "low progress" students of the "group of the experiments" presented statistically important difference in the true samples with respect to the students of the "conventional teaching group" only, while in the balanced samples with respect to the students of the "demonstration group".

It is worthwhile to note the statistically important progress of the "medium progress" students who taught problem solution by the use of the experiments with respect to the students of the same level, who participated in the other two tutorial methods.

The technological level graduates of the "group of the experiments", who have a moderate background, achieved statistically important progress with respect to the students of the other two groups who graduated from the same level. On the other hand, no statistically important differences between the technological level graduates of the "demonstration group" and the "conventional teaching group" were being indicated.



The part of the students who participated in the three tutorial methods and had "Science" or "Technological" level origin, achieved statistically important difference on their progress with respect to the students originated from the "Humanities" level (as far as the true and the balanced samples are concerned). Between the students of the first two levels, on the other hand, no significant differences were being indicated. Finally, the students who didn't participate in a tutorial method (control group) didn't present significant difference in their progress with respect to the educational level from which they were originated.

The conclusions are that the students who took part in the problem solution with experimental aid, cooperating in groups, are shown to have acquired to a better degree the ability of using abstract concepts of the gas state in order to interpret concrete matters set to them, with respect to their classmates who were taught the same problems with the aid of demonstration experiments, as well as those who were taught them in the blackboard.

Teacher's and students' work is much harder in co operational teaching. Co-operational problem solution in the laboratory is a time consuming process, due to the active participation of the pupils in it. However, "cooperativeness" creates a positive tutorial attitude, brings down competition among the students, personalizes the experience and creates a feeling of self-confidence and participation in a creative project.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

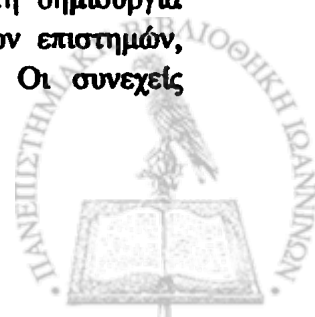
### 1.1 Σύντομη ανασκόπηση της διδακτικής των φυσικών επιστημών και της χημείας

Το εγχείρημα της διδακτικής της χημείας και γενικότερα της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει συνδεθεί τις τελευταίες δεκαετίες με δύο διακριτές φάσεις: Η πρώτη φάση βασίστηκε κυρίως στην έρευνα και προώθησε τη θεμελιώδη και τη γενική παιδαγωγική γνώση. Η δεύτερη φάση, αυτή που ήδη διανύουμε, χαρακτηρίζεται κυρίως από περισυλλογή και προβληματισμό (Bucat, 2004).

Περί τα τέλη της δεκαετίας του '50, αναπτύχθηκαν σε όλες τις περιοχές των φυσικών επιστημών, στις χώρες της δύσης, μια ευρείας κλίμακας καινοτόμα αναλυτικά προγράμματα (PSSC, CHEM STUDY, BSSC, τα προγράμματα Nuffield κ.ά.). Τα προγράμματα αυτά άσκησαν σημαντική επίδραση στην εκπαιδευτική σκέψη και αντανακλούσαν τις νέες κοινωνικο-οικονομικές απαιτήσεις για μια νέα ποιότητα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Στη δεκαετία του '60, ο προβληματισμός για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες είχε κυρίως επικεντρωθεί στην ερώτηση «τι θα πρέπει να περιλαμβάνεται σε ένα αναλυτικό πρόγραμμα» (Bodner & Hetton, 1980, Battimo, 1979, Davenport, 1985). Τα παραπάνω καινοτόμα αναλυτικά προγράμματα είχαν σε μεγάλο βαθμό επηρεαστεί από σημαντικούς πανεπιστημιακούς δασκάλους, όπου η εμπειρία και η σοφία τους έχουν αποτυπωθεί σ' αυτά. Από τη σκοπιά της διδακτικής των φυσικών επιστημών τα προγράμματα αυτά «βασίζονταν στη βαθιά γνώση του γνωστικού αντικείμενου, στην τεχνογνωσία των διδακτικών πρακτικών, οι οποίες εφαρμόζονταν στα σχολεία, και ως ένα βαθμό, σε γενικές εκπαιδευτικές και ψυχολογικές θεωρίες» (Mathews, 1994, Duchl, 1990, Ψύλλος, 1998).

Η ανάγκη να αξιολογηθούν τ' αποτελέσματα των καινοτόμων αναλυτικών προγραμμάτων, στις αίθουσες διδασκαλίας, έπαιξε σημαντικό ρόλο στη δημιουργία πολλών ερευνητικών ομάδων με αντικείμενο τη διδακτική των φυσικών επιστημών, κυρίως σε πανεπιστήμια της Βόρειας Ευρώπης και της Αμερικής. Οι συνεχείς



προσπάθειες ανανέωσης των αναλυτικών προγραμμάτων και η αξιολόγησή τους απ' αυτές τις ερευνητικές ομάδες βοήθησαν να συνειδητοποιηθεί ότι οι εκπαιδευτικοί στόχοι των καινοτόμων προγραμμάτων ήταν πολύ απαιτητικοί για την πλειονότητα των μαθητών και ήταν πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθούν (Ψύλλος, 1998). Από τα μέσα της δεκαετίας του '70 η έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών στράφηκε προς το ερώτημα «τι μαθαίνεται από το μαθητή». Η εστίαση μετατοπίστηκε από το «σωστό περιεχόμενο του αναλυτικού προγράμματος» προς το μαθητή και τέθηκαν ερωτήματα κυρίως προς όσους διδάσκουν φυσικές επιστήμες παρά σε «καθαρούς επιστήμονες».

Προς τα τέλη της δεκαετίας του '70, σε πολλές χώρες, άρχισαν ν' ανακαλύπτονται οι εναλλακτικές ιδέες ή διαισθητικές ή πρωτογενείς αντιλήψεις (alternative concepts, intuitive notions, prototypic views) των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα. Αυτό έγινε με τη μορφή βιομηχανικής παραγωγής. Σήμερα διαθέτουμε μια συστηματική καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών σχεδόν σε όλα τα κεφάλαια της φυσικής, χημείας και βιολογίας που διδάσκεται στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Garnett et al., 1995, Nakhleh, 1992, Driver, Squires, Rushworth, Wood-Robison, 1993, Driver, Guesne, Tiberghien, 1985).

Αυτά τα ευρήματα εξηγούσαν σ' ένα βαθμό τη μερική επιτυχία των καινοτόμων αναλυτικών προγραμμάτων, αφού διαπίστωναν την άγνοια από τους συγγραφείς των διαισθητικών αντιλήψεων των μαθητών και την απλοϊκή τους πεποίθηση στις δυνατότητες του μαθητή-επιστήμονα, ο οποίος με κατάλληλα σχεδιασμένο υλικό υποτίθεται ότι μπορεί να ανακαλύψει ακόμη και περίπλοκες έννοιες, όπως το ηλεκτρικό δυναμικό και την ενέργεια (Καριώτογλου κ.ά., 1996). Αυτή η διεθνής ερευνητική δραστηριότητα απεκάλυψε τον αντιδιαισθητικό χαρακτήρα πολλών επιστημονικών εννοιών (π.χ. ατμοσφαιρική πίεση, θερμότητα, διαφορά δυναμικού, χημική ισορροπία, μικροσκοπική δομή της ύλης κ.ά.), μοντέλων και διαδικασιών. Γενικά, τα ευρήματα της περιόδου αυτής αμφισβήτησαν τον τρόπο «μεταβίβασης» των εννοιών με μια τεχνοκρατικού τύπου διδασκαλία και έθεσαν το ερώτημα για τη διερεύνηση πιο αποδοτικών τρόπων διδασκαλίας για τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες. Ο Bodner (1992) είχε προειδοποιήσει: «αλλάζοντας το αναλυτικό πρόγραμμα-τα θέματα που πρέπει να διδάσκονται, δεν είναι αρκετό για να προκαλέσεις σημαντική αλλαγή στη διδασκαλία της επιστήμης. Χρειαζόμαστε επίσης να ξανασκεφτούμε τον τρόπο που τα αναλυτικά προγράμματα μεταφέρονται στην τάξη».

Οι ερευνητές από το σχεδιασμό και την οργάνωση της διδασκαλίας στράφηκαν στη διερεύνηση των συλλογισμών των μαθητών και της μάθησης σε ειδικά θέματα των φυσικών επιστημών. Η θεωρία του «επικοδομισμού» (Bodner, 1986, Driver & Oldham, 1986, Millar & Driver, 1987) και το «μοντέλο επεξεργασίας των πληροφοριών» (Johnstone, 1997) έχουν δώσει σημαντικές συνεισφορές στην παραπάνω θεώρηση. «Μια επισκόπηση των διεθνών συνεδρίων, που πραγματοποιήθηκαν από τη δεκαετία του '60 μέχρι και σήμερα, είναι δυνατόν να αναδείξει τα σημαντικά βήματα στην εξέλιξη της έρευνας της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Ρίχνοντας μια ματιά στους τίτλους και στο περιεχόμενο των συνεδρίων, φαίνεται ότι αρχικά το ενδιαφέρον των ερευνητών εστιάστηκε μάλλον στο πως να διδάξουν οι εκπαιδευτικοί τις φυσικές επιστήμες παρά



στο πως μαθαίνουν οι μαθητές. Σταδιακά στα συνέδρια η διαίσθηση, η εμπειρία και η καινοτομία, όσον αφορά στη διδασκαλία του περιεχομένου, ήρθε να συναντήσει τον ψυχολογικό και παιδαγωγικό τρόπο σκέψης στην αναζήτηση στόχων έρευνας και δημιουργίας θεωρητικού πλαισίου στην περιοχή της διδακτικής». (Ψύλλος, 1998).

Παρά την τεράστια ανάπτυξη της έρευνας της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, από τη δεκαετία του '50, οι επιπτώσεις της στην πράξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών είναι σχετικά χαμηλή (Κεπρα, 2001). Η Gabel (1999) σημειώνει ότι: «Δυστυχώς η έρευνα της χημικής εκπαίδευσης τον 20<sup>ο</sup> αιώνα έχει μικρή επίδραση πάνω στον τρόπο που οι χημικοί διδάσκουν. Οι αλλαγές που έχουν συμβεί στα σχολικά βιβλία, κατά τη διάρκεια των προηγούμενων τεσσάρων δεκαετιών, δεν καθοδηγήθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τα ερευνητικά ευρήματα. Αν και οι χημικοί ερευνητές της εκπαίδευσης έχουν πιστοποιήσει κοινές εναλλακτικές ιδέες για σχεδόν κάθε θέμα που διδάσκεται σε μια εισαγωγική σειρά μαθημάτων επιστήμης, πιθανώς εννιά στους δέκα διδάσκοντες δεν είναι ενήμεροι αυτών των εναλλακτικών ιδεών ή δεν χρησιμοποιούν τρόπους για να τις διαχειριστούν κατά τη διδασκαλία». Ένας αριθμός λόγων μπορεί να θεωρηθεί ως υπεύθυνος γι' αυτή την κατάσταση.

Ένας αριθμός ερευνών εστιάζεται σε «διαγνωστικές πλευρές της μάθησης και της μαθησιακής συμπεριφοράς και συνοδεύονται από τυποποιημένες και γενικές δηλώσεις για ενέργειες πρόβλεψης ή «θεραπείες», όπως «ερεύνησε τι οι σπουδαστές ήδη γνωρίζουν».

Άλλο χαρακτηριστικό της σύγχρονης έρευνας της διδακτικής είναι ότι το περιεχόμενο πολλών ερευνητικών μελετών δεν είναι σημαντικό αυτό καθ'αυτό, αλλά είναι μόνο ένα μέσο για να αναπτυχθεί μια εκπαιδευτική θεωρία. Από την άλλη πλευρά πολλές ερευνητικές εργασίες απορρίπτονται από επιτροπές κρίσης περιοδικών με τη δικαιολογία ότι αυτές συνεισφέρουν λίγο σε θεωρίες της παιδαγωγικής, αν και έχουν σημαντικά πράγματα να πουν σχετικά με τις απαιτήσεις μάθησης ιδιαίτερων εννοιών.

Η εκπαιδευτική έρευνα δεν είχε την επιρροή πάνω στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών που θα έπρεπε να είχε, επειδή η πρακτική της διδασκαλίας ιδιαίτερων θεμάτων (μελέτες εφαρμογής), όπως για παράδειγμα στη χημεία, η χημική ισορροπία, η ηλεκτροχημεία ή η θερμοδυναμική δεν είναι καλά ενημερωμένα από τη θεωρητική βιβλιογραφία που εστιάζεται σ' αυτά.

Οι εκπαιδευτικοί εμφανίζουν όχι μόνο παρά πολύ περιορισμένη γνώση των ευρημάτων της έρευνας της διδακτικής, αλλά και μικρή επιθυμία να τα λάβουν υπόψη τους κατά το σχεδιασμό της διδακτικής τους πρακτικής στην τάξη. Ο Costa et.al. (2000a, 2000b) αναφέρει ότι οι εκπαιδευτικοί, «όταν παίρνουν αποφάσεις σχετικές με την επαγγελματική πρακτική τους στην τάξη, για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών έχουν την τάση να βασίζονται στην «προσωπική τους γνώση», που προέρχεται από την εμπειρία τους ή σε ό,τι αυτοί θεωρούν σαν αυτονόητη «κοινή λογική». Αν η συμβολή της έρευνας της διδακτικής πρέπει να αυξηθεί στη διδακτική πρακτική των φυσικών επιστημών, θα πρέπει να μελετήσουμε τους διάφορους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την παρούσα χαμηλή συνεισφορά της έρευνας. Κλειδί για να επιτευχθεί αυτό είναι να



φέρουμε κοντά τους ερευνητές με τους εκπαιδευτικούς, και όπου αυτό είναι δυνατόν να απομακρύνουμε τον παραδοσιακό διαχωρισμό ανάμεσα στους δύο».

«Η μάθηση των φυσικών επιστημών είναι μια απαιτητική διαδικασία. Η αφηρημένη φύση τους (έννοιες δομής ύλης, χρήση συμβολικής γλώσσας, ποσοτικός και μαθηματικός χαρακτήρας) όχι μόνο προκαλούν δυσκολίες σε πολλούς μαθητές, αλλά συμβάλλουν και στο να γίνονται τα αντίστοιχα μαθήματα και οι επιστήμες μη δημοφιλή» (Tsaparlis, 2003, Τσαπαρλής, 2004).

## 1.2 Η συμβολή της γνωσιακής ψυχολογίας

Παράλληλα με την έρευνα της διδακτικής, η έρευνα στο πεδίο της γνωσιακής ψυχολογίας είχε επαναστατικές συνέπειες στην εκπαίδευση, επειδή μας εφοδίασε με περιγραφές των νοητικών αναπαραστάσεων και διαδικασιών που αποτελούν τη βάση της επίδοσης ενός ειδήμονα, και περιέγραψαν την εξέλιξη τους σε πολλούς επιστημονικούς τομείς γνώσεων (Βοσνιάδου, 1998, σ. 92). Η γνωσιακή ψυχολογία αδυνατώντας να μας δώσει μια επαρκή θεωρία μάθησης, στράφηκε προς διδακτικές παρεμβάσεις και πειράματα, για να εξετάσει ποια απ' αυτά παρήγαγαν τα καλύτερα αποτελέσματα μάθησης. Πράγματι, για ένα χρονικό διάστημα κατά την ανάπτυξη αυτής της πειραματικής προσέγγισης της διδασκαλίας, ιδέες σχετικά με πιθανούς μηχανισμούς μάθησης αντλήθηκαν από διάφορες θεωρίες, στις οποίες έγιναν αναπροσαρμογές, αναθεωρήσεις και δημιουργικές προσθήκες. Ο Bransford και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν μια μέθοδο διδασκαλίας προσανατολισμένη στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος λύσης προβλημάτων (Bransford, et al., 1989). Άλλοι ερευνητές άντλησαν ιδέες από τον Piaget, σύμφωνα με τις οποίες η γνωσιακή σύγκρουση (cognitive conflict) είναι το μέσο που υποκινεί την εννοιολογική αλλαγή. Πολλοί γνωσιακοί ψυχολόγοι στράφηκαν προς τις ιδέες του Vygotsky (Vygotsky, 1978) για τη συνεργατική μάθηση.

Οι διδακτικές παρεμβάσεις, αρχικά ήταν τοπικές και περιορισμένες, σύντομα όμως επεκτάθηκαν και σε θέματα που αφορούσαν όλο το μαθησιακό περιβάλλον του σχολείου. Η αλλαγή αυτή υπαγορεύτηκε από τη συνειδητοποίηση ότι τα σχολεία αποτυγχάνουν σε μεγάλο βαθμό να παρέχουν αυτό που ονομάζεται μάθηση συνοδευόμενη από κατανόηση (Gardner, 1991, Perkins, 1992). Είναι κοινός τόπος ότι κάποιοι μαθητές τελειώνουν την υποχρεωτική εκπαίδευση, χωρίς να έχουν αποκτήσει ακόμη και τις πιο στοιχειώδεις γνώσεις. Ακόμη και μαθητές που υποτίθεται ότι απέδιδαν επαρκώς ή ήταν πάνω από το μέσο όρο, με βάση τα αποτελέσματα των εξετάσεων και τις αξιολογήσεις των δασκάλων, μαθαίνουν πολύ λίγα.

Κατά τους γνωσιακούς ψυχολόγους δύο φαινόμενα σχετίζονται ισχυρά με τη σχολική αποτυχία: η αδρανής γνώση και οι παρανοήσεις. Ως αδρανής γνώση (Bereiter, 1984, Bransford et al., 1989) θεωρείται η γνώση που είναι προσιτή μόνο σε περιορισμένες περιστάσεις, αν και δυνητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πολύ περισσότερες. Η γνώση που αποκτάται στο σχολείο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιστάσεις της καθημερινής ζωής είναι αδρανής γνώση. Για παράδειγμα ένας αριθμός μαθητών ξέρει να λύνει τυπικά προβλήματα χημείας αλλά αποτυγχάνει να εφαρμόσει τις γνώσεις του για να εξηγήσει καθημερινά χημικά φαινόμενα ή λύνει προβλήματα





μαθηματικών αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει επαρκώς αυτές τις δεξιότητες για να λύσει μαθηματικά προβλήματα της καθημερινής ζωής (De Corte, Greer & Varschaffel, 1996). Το φαινόμενο αυτό πιστεύεται πως είναι αποτέλεσμα του τρόπου με τον οποίο μεταδίδονται οι πληροφορίες, και ταιριάζει πολύ καλά σε περιστάσεις όπου η τυπική γνώση αποκτάται στο σχολείο και δεν συνδέεται με τις περιστάσεις της καθημερινής ζωής με τις οποίες είναι σχετική.

Το δεύτερο φαινόμενο, αυτό των παρανοήσεων, για το οποίο ήδη μιλήσαμε, έχει να κάνει με τις αντιλήψεις που έχουν τα άτομα σε σχέση με τα φαινόμενα της φύσης και είναι σε αντίθεση με αυτές που δέχεται η σύγχρονη επιστήμη. Ερευνητές έχουν δείξει ότι ακόμη και φοιτητές, που σπούδασαν για ένα ή δύο χρόνια φυσική σε κορυφαία πανεπιστήμια, έχουν παρανοήσεις που δείχνουν ότι δεν έχουν κατανοήσει βασικούς νόμους της φυσικής. Για παράδειγμα, έρευνες έχουν δείξει τη γενικότητα της παρανόησης, στη μηχανική, ότι τα άψυχα αντικείμενα κινούνται εξαιτίας της αποκτηθείσης δύναμης που μεταδόθηκε σ'αυτά από την αρχική αιτία-πηγή που προκάλεσε την κίνησή τους, και σταματούν όταν η δύναμη αυτή «σπαταλάται» (Helm & Novak, 1983).

Ένα ισχυρό ρεύμα στην έρευνα των παρανοήσεων υποστηρίζει ότι πολλές παρανοήσεις προκαλούνται, όταν δίνονται στους μαθητές εξηγήσεις φαινομένων οι οποίες έρχονται σε αντίθεση με τις διαισθητικές εξηγήσεις, που έχουν σχηματίσει με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες. Εκείνο που συμβαίνει συχνά σ'αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι οι νέες πληροφορίες αφομοιώνονται στις ήδη υπάρχουσες γνωστικές δομές, δημιουργώντας ένα συνθετικό νοητικό μοντέλο. Για παράδειγμα, τα παιδιά του δημοτικού σχολείου σχηματίζουν την παρανόηση ότι η Γη είναι μια κοίλη σφαίρα, στο εσωτερικό της οποίας κατοικούν οι άνθρωποι πάνω σ' ένα επίπεδο έδαφος. Η παρανόηση αυτή πηγάζει από το γεγονός ότι μπορεί να συμβιβάσει την παρατηρούμενη επιπεδότητα της Γης με την πληροφορία ότι η Γη είναι μια σφαίρα, και είναι συνεπής με την αντίληψη των μικρών παιδιών ότι το διάστημα οργανώνεται με βάση τις κατευθύνσεις πάνω και κάτω και ότι τα αντικείμενα χρειάζεται να στηρίζονται, διαφορετικά πέφτουν (Vosniadou & Brewer, 1992, 1994).

Για την εξήγηση των φαινομένων της αδρανούς γνώσης, των παρανοήσεων και της δυσκολίας της μάθησης, πολλοί ψυχολόγοι έχουν στραφεί στην εξέταση βιολογικών και πολιτισμικών παραγόντων και στην πιθανή επίδρασή τους στη μάθηση και στη διαδικασία απόκτησης γνώσης. Κύριος εκπρόσωπος των βιολογικών παραγόντων είναι ο Chomsky και οι συνεργάτες του στην περιοχή μάθησης και ανάπτυξης της γλώσσας. Σύμφωνα με τις απόψεις του Chomsky, ο νους μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από νοητικά όργανα, τα οποία, όπως τα άλλα όργανα του σώματος (π.χ. το συκώτι ή η καρδιά), έχουν δικές τους αρχές, που διέπουν τις λειτουργίες τους. Η μάθηση, σύμφωνα με την άποψη αυτή, δεν είναι τίποτε περισσότερο από την ανάπτυξη μιας συγκεκριμένης λειτουργίας, όπως π.χ. η λειτουργία της γλώσσας, κατά τρόπο ανάλογο με την ανάπτυξη ενός οργάνου του σώματος. Η διαπίστωση ότι μερικά είδη μάθησης μπορούν να επιτευχθούν ευκολότερα (π.χ. η μάθηση της γλώσσας) απ' ό,τι άλλα έρχεται ως φυσικό επακόλουθο αυτού του επιχειρήματος, και πιο συγκεκριμένα της αντίληψης ότι η



ικανότητα για γνώση καθορίζεται βιολογικά (Chomsky, 1988). Μερικά διανοητικά επιτεύγματα, αν και έχουν μεγάλη πολυπλοκότητα, αναπτύσσονται γρήγορα και με λίγη προσπάθεια. Άλλες ικανότητες /δεξιότητες, όχι πιο πολύπλοκες από άλλες, όπως η μάθηση της γλώσσας, είναι δύσκολο να τις μάθει κανείς, επειδή γι' αυτές δεν υπάρχει μια έμφυτη ικανότητα γνώσης.

Μια διαφορετική εξήγηση της δυσκολίας για μάθηση στο σχολείο προσφέρει η θεωρία της «εγκαθιδρυμένης μάθησης». Η βασική θέση της θεωρίας αυτής είναι ότι η συμπεριφορά των ατόμων, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης και της γνώσης, θα πρέπει να θεωρηθεί ως προϊόν αλληλεπιδράσεων μεταξύ κοινωνικών φορέων και φυσικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο ζουν. Η θεωρία αυτή θεωρεί ότι η γνώση δεν είναι ανεξάρτητη από τις καταστάσεις μέσα στις οποίες επιτυγχάνεται και χρησιμοποιείται (Brown et al., 1989).

Στο πλαίσιο της θεωρίας της εγκαθιδρυμένης μάθησης, η αποτυχία της σχολικής μάθησης μπορεί να εξηγηθεί ως αποτέλεσμα της εγκαθίδρυσής της στο πλαίσιο του σχολείου. Η σκέψη και η επίλυση προβλημάτων στην καθημερινή ζωή συμβαίνουν σε συγκεκριμένες καταστάσεις για να υπηρετήσουν συγκεκριμένους στόχους, σε συνεργασία με άλλους ανθρώπους, κάνοντας χρήση εργαλείων και συμβόλων που είναι κατάλληλα για τον συγκεκριμένο πολιτισμό. Η μάθηση στο σχολείο είναι στενά συνδεδεμένη μ' ένα τύπο πολιτισμού-το σχολικό πολιτισμό, που διαφέρει από τον καθημερινό πολιτισμό, με αποτέλεσμα αυτό που μαθαίνεται στο σχολείο να έχει μικρή σχέση με την πολιτισμικά σχετική και αυθεντική δραστηριότητα της καθημερινής ζωής.

### 1.3 Προοπτικές της διδακτικής – παιδαγωγική γνώση περιεχομένου

Ήδη έχει συσσωρευτεί στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών από τις προηγούμενες δεκαετίες ένας μεγάλος όγκος ερευνών και μια σημαντική εμπειρία από την εφαρμογή της στη διδακτική πράξη. Ένας από τους μείζονες στόχους είναι η βελτίωση της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες. «Δεν υπάρχει σημαντικότερος λόγος να κάνει κανείς έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών, εκτός αν υπάρχει ένα αντίκρισμα στη σχολική πράξη» (Hurd de Hart, 1991). Ο Bucat (2004) επισημαίνει ότι «είναι πλέον ο κατάλληλος χρόνος να σκεφτούμε μέσα από το τι ξέρουμε σχετικά με τη μάθηση του μαθητή, σε συνδυασμό με αναλύσεις του τι σημαίνει να κατανοείς ιδιαίτερες έννοιες, να παράγεις χρήσιμες στρατηγικές διδασκαλίας για κάθε θέμα που πρόκειται να διδάξεις». Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει «εφαρμοσμένη έρευνα» με την έννοια ότι αυτή σχεδιάστηκε να λύσει ένα πρόβλημα, παρά να βελτιώσει τη θεωρητική γνώση.

Ένα παραγωγικό μονοπάτι για να κινηθούμε προς την κατεύθυνση αυτή, μπορεί να είναι αυτό που ο Shulman έχει ονομάσει «παιδαγωγική γνώση περιεχομένου – pedagogical content Knowledge – PCK) (Shulman, 1986). Ενώ η «γνώση περιεχομένου - content Knowledge» αναφέρεται ως η κατανόηση ενός γνωστικού πεδίου, η «παιδαγωγική γνώση - pedagogical Knowledge) αναφέρεται σε μια κατανόηση του πώς να διδάξεις και να μάθεις διαδικασίες που είναι ανεξάρτητες του περιεχομένου. Η «παιδαγωγική γνώση περιεχομένου» αναφέρεται στη γνώση σχετικά με τη διδασκαλία



και μάθηση του ιδιαίτερου γνωστικού αντικειμένου που λαμβάνει υπόψη του τις ιδιαίτερες μαθησιακές απαιτήσεις, που είναι σύμφυτες με το γνωστικό αντικείμενο.

Ο Geddis θέτει την παραπάνω λογική με πολύ παραστατικό τρόπο. «Ο εξάιρετος δάσκαλος δεν είναι γενικά ένας «δάσκαλος», αλλά μάλλον ένας «δάσκαλος ιστορίας», ένας «δάσκαλος χημείας» ή ένας «δάσκαλος αγγλικών». Ενώ με κάποια αίσθηση υπάρχουν γενικές διδακτικές δεξιότητες, πολλές από τις παιδαγωγικές δεξιότητες του εξαιρετου δασκάλου επικεντρώνονται στο ιδιαίτερο γνωστικό περιεχόμενο. Οι αρχάριοι δάσκαλοι χρειάζεται να μάθουν όχι απλώς «πως να διδάσκουν», αλλά μάλλον «πως να διδάσκουν ηλεκτρισμό», «πως να διδάσκουν παγκόσμια ιστορία» ή «πως να διδάσκουν κλάσματα» (Geddis, 1993, p. 675).

Στην περίπτωση της διδασκαλίας της χημείας μπορούμε να προσθέσουμε «πως να διδάσκεις στοιχειομετρία», «πως να διδάσκεις χημική ισορροπία» ή «πως να διδάσκεις οργανική σύνθεση». Προφανώς οι απαιτήσεις της μάθησης σχετικά με τη στοιχειομετρία είναι διαφορετικές των απαιτήσεων της μάθησης σχετικά με οργανική σύνθεση, όχι μόνο ως προς το περιεχόμενο αλλά και ως προς τη διδακτική πρακτική. Κάθε ενότητα της χημείας απαιτεί μια «παιδαγωγική γνώση περιεχομένου».

Κάθε δάσκαλος π.χ., χημείας έχει μια μοναδική γνώση της χημείας, και είναι αδύνατο να μεταδώσει στους μαθητές του ένα αντίγραφο από αυτή τη γνώση. Ο δάσκαλος, όταν ετοιμάζεται να διδάξει ένα κεφάλαιο, «ξανατακτοποιεί» αυτό το σώμα γνώσης, για να το «ξαναπαρουσιάσει» με τέτοιο τρόπο που να δίνει δυνατότητες στους μαθητές να επιτύχουν τη γνώση που αυτός προσδοκά να αποκτήσουν. Η εργασία της «ξανατακτοποίησης» θα εξαρτηθεί από τη φύση του θέματος. Ο διδάσκων όχι μόνο πρέπει να γνωρίζει καλά το θέμα που θα διδάξει, αλλά θα πρέπει η διδασκαλία του να οριοθετηθεί σε ένα πλαίσιο που να μπορεί να το διδάξει και οι μαθητές να μπορούν να το μάθουν. Αυτή η διαδικασία έχει εννοιολογηθεί από το Shulman, ως «μετασχηματισμός της γνώσης του θέματος σε τύπους προσιτούς για τους μαθητές» (Shulman, 1986).

Είναι στο πλαίσιο της παιδαγωγικής γνώσης περιεχομένου (PCK), ο διδάσκων να αναγνωρίσει ότι οι σπουδαστές μπορεί να έχουν δυσκολία να διακρίνουν τις διαφορετικές σημασίες των συμβόλων  $O$ ,  $O_2$ ,  $O^{2-}$  και  $O_2^{2-}$ . Επίσης είναι μέσα στο πλαίσιο της PCK να έχει επίγνωση ο διδάσκων των γλωσσικών απαιτήσεων των παρακάτω περίπου ισοδύναμων προτάσεων που έχουν σχέση με αντικατάσταση του χαλκού από υδατικά διαλύματα ψευδαργύρου, όπως μας τις παρουσιάζει ο Bent (1984).

- ✓ Ο Zn ανάγει το δισθενές ιόν Cu
- ✓ Το δισθενές ιόν Cu οξειδώνει τον Zn
- ✓ Ο Zn αντικαθιστά το Cu στα διαλύματά του
- ✓ Ο Cu δεν αντικαθιστά το Zn στα διαλύματά του
- ✓ Ο Zn είναι πολύ καλύτερο αναγωγικό μέσο από το Cu
- ✓ Το ιόν  $Cu^{2+}$  είναι πολύ καλύτερο οξειδωτικό μέσο από το ιόν  $Zn^{2+}$
- ✓ Ο Zn είναι πολύ καλύτερος δότης ηλεκτρονίων από το Cu
- ✓ Το ιόν  $Cu^{2+}$  είναι πολύ καλύτερος δέκτης ηλεκτρονίων από το ιόν  $Zn^{2+}$
- ✓ Ο Cu πολύ εύκολα αντικαθίσταται από το Zn



✓ Ο Cu είναι πιο ευγενής από το Zn

Στο πλαίσιο της PCK είναι να αντιληφθούμε ότι ο όρος «δύναμη διασποράς» (dispersion forces ή δυνάμεις London, ασθενείς ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ προσωρινών ή παροδικών διπόλων) μπορεί να συντηρεί μια σύγχυση στους μαθητές, επειδή η καθημερινή χρήση του όρου «διασπορά» σημαίνει σκόρπισμα. Αυτό είναι ένα από τα πάμπολλα παραδείγματα κακής αναλογίας μεταξύ κοινής-καθημερινής και επιστημονικής σημασίας των λέξεων. Τα προβλήματα της γλώσσας στην επικοινωνία και ειδικότερα στη διδασκαλία των επιστημονικών ιδεών έχουν υπάρξει ως αντικείμενο πολλών εργασιών (Cassells & Johnstone, 1983, Herron, 1996, Marais & Jordaan, 2000, Schmidt, 2000, Sutton, 1998).

Οι δυσκολίες της γλώσσας φωτίζονται και από τον παρακάτω ορισμό, ένας από τους πολλούς που πάρθηκε από την IUPAC Compendium of Chemical Terminology (Gold Book).

Βάση: Είναι ένα χημικό είδος ή μια μοριακή οντότητα που έχει διαθέσιμο ένα ζεύγος ηλεκτρονίων που μπορεί να σχηματίσει ένα ομοιοπολικό δεσμό με ένα υδρογονοκατίον (πρωτόνιο) (βλέπε βάση κατά Bronsted) ή με κενό τροχιακό σε κάποια άλλα είδη (βλέπε βάση κατά Lewis).

Ενώ αυτές οι δηλώσεις μπορούν να ορίσουν τις έννοιες με σαφήνεια για τους επαγγελματίες χημικούς, επειδή το επίπεδο της γλώσσας και η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στις έννοιες έχει νόημα, αυτές δεν είναι πολύ χρήσιμες για πολλούς ανθρώπους εκτός από ένα ειδικό ακροατήριο και βεβαίως δεν είναι κατάλληλες για σπουδαστές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ή ακόμη για δασκάλους που δεν έχουν ιδιαίτερα προσόντα.

Το να βρίσκεις τις δυσκολίες των μαθητών μέσα από την έρευνα ή την διδακτική εμπειρία είναι μόνο μια πλευρά της PCK. Μια πολύ πιο ενδιαφέρουσα πλευρά είναι να βρεις τρόπους να αντιμετωπίζεις αυτές τις δυσκολίες στην αίθουσα διδασκαλίας, να δοκιμάζεις ιδέες και να τις εκτιμάς στην πράξη. Ο Bucat (2000) υπογραμμίζει με έμφαση ότι «γενικώς στο «επάγγελμα διδάσκω» η συσσωρευμένη εμπειρία της PCK του καθενός από τους συμμετέχοντες αναπτύσσεται με την εμπειρία, κορυφώνεται κατά την αποχώρησή του και μετά εξαφανίζεται, συχνά με ελάχιστη συνεισφορά προς τη συλλογική σοφία του επαγγέλματος. Αυτός είναι ένας τύπος «επαγγελματικής αμνησίας». Σε άλλα επαγγέλματα η κατάσταση είναι διαφορετική, το υψηλό επίπεδο των γνώσεων «στέκεται πάνω στους ώμους γιγάντων που προϋπήρξαν». Στο επάγγελμα του δασκάλου φαίνεται να υπάρχουν πολλές αναδιπλώσεις «επανα-εφευρέσεις του τροχού».

Ο Bucat (2004) προτάσσει δύο κατευθύνσεις δράσης:

1) Για κάθε θέμα, δάσκαλοι, χημικοί, ειδικοί από το χώρο της επιστήμης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και ερευνητές της διδακτικής της χημείας θα πρέπει να εργαστούν σε στενή συνεργασία, ενοποιώντας παιδαγωγική, χημεία, σύγχρονες τεχνολογίες στην εκπαίδευση και ερευνητικά ευρήματα, για να δημιουργήσουν μια συστηματική και τεκμηριωμένη τράπεζα από «παιδαγωγική γνώση περιεχομένου - (PCK)». Η συλλογή μπορεί να συνιστά ένα «κοινό ταμείο» από πηγές που βασίζονται στην έρευνα, με ιδέες και στρατηγικές σχετικές με τη διδασκαλία και μάθηση των



κεφαλαίων ενός αναλυτικού προγράμματος, προς το οποίο όλοι οι διδάσκοντες να έχουν πρόσβαση.

Υπάρχει ήδη ένας πολύ μεγάλος αριθμός από διδακτικές πληροφορίες και συζητήσεις που μπορούν να βρεθούν σχετικά με τη διδασκαλία ιδιαίτερων θεμάτων στη βιβλιογραφία της διδακτικής. Όμως δεν υπάρχει μια συστηματική συλλογή από τα παραπάνω θέματα που να βασίζεται πάνω στην έρευνα και ανάλυση των ιδιαίτερων πλευρών των θεμάτων, που να συνοδεύεται από εκτιμήσεις και αξιολογήσεις για το τι έγινε μέσα στην αίθουσα διδασκαλίας.

2) Αρχιτέκτονες, παίχτες σκακιού, δικηγόροι, γιατροί και μηχανικοί μπορούν να μαθαίνουν από τεκμηριωμένες περιπτώσεις μελετών και περιπτώσεων που εκθέτουν φιλοσοφίες, επιδεξιότητες, τεχνικές και επιτεύγματα των καλύτερων από τα πεδία τους. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν «σχέδια παιχνιδιών», στρατηγικές, τακτικές και απαντήσεις σε ιδιαίτερα προβλήματα και καταστάσεις. Δεν θα ωφελούνταν οι δάσκαλοι χημείας, φυσικής και των άλλων φυσικών επιστημών από την έρευνα η οποία θα παρέχει λεπτομερείς περιπτώσεις μελετών των καλύτερων δασκάλων που διδάσκουν, για παράδειγμα, χημική κινητική ή ηλεκτρικά κυκλώματα συνεχούς ρεύματος ή εξελικτική θεωρία των ειδών; Αυτή η εφαρμοσμένη έρευνα δεν θα περιγράφει μόνο τις ενέργειες του καλού δασκάλου, αλλά επίσης θα ερευνά τις διαδικασίες της σκέψης του σε κρίσιμα σημεία κατά τη διάρκεια μιας σειράς μαθημάτων και θα ανιχνεύει την εννοιολογική μετατόπιση και τι προσλαμβάνεται από το μαθητή.

Υπάρχουν ήδη αναφορές παρατηρήσεων δασκάλων που χρησιμοποίησαν τη γνώση περιεχομένου (τη γνώση τους σε ένα θέμα) στην αίθουσα διδασκαλίας (Garnett, 1987, Wilson, Shulman & Richert, 1987, Munby & Rusell, 1992), αλλά σ' αυτές το θέμα που διαπραγματεύτηκαν ήταν απλώς το μέσο για να δώσουν ερμηνείες σχετικές με τη γενική φύση της γνώσης του δασκάλου. Στη διδακτική χρειαζόμαστε μελέτες, οι οποίες υπό το φως αυτών των γενικών χαρακτηριστικών, να δίνουν παρατηρήσεις, ερμηνείες και αξιολόγηση της παιδαγωγικής γνώσης περιεχομένου, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συγκεκριμένους δασκάλους στη διδασκαλία ενός συγκεκριμένου θέματος, για να φωτιστεί η διδασκαλία αυτού του θέματος, παρά να φωτιστεί η διδασκαλία με κάποιο γενικό τρόπο.

Υπάρχουν, ήδη, προσπάθειες που περιγράφουν την παιδαγωγική γνώση περιεχομένου που σχετίζεται με συγκεκριμένα θέματα χημείας. Τέτοια παραδείγματα περιέχονται σε εργασίες των Geddis et al. (1993), Magnusson & Krajcik (1993), DeJong et al. (1995), οι οποίες αναφέρονται στο περιεχόμενο που σχετίζεται με τις απαιτήσεις της διδασκαλίας σε σχέση με θέματα ισοτόπων, θερμοδυναμικής και οξειδώσης-αναγωγής αντιστοίχως. Αυτές οι εργασίες αντιπροσωπεύουν μια αισιόδοξη αρχή. Η συσσώρευση τέτοιων εργασιών θα μπορούσε να είναι εξαιρετικώς χρήσιμη για δασκάλους χημείας, σε εισαγωγική επιμόρφωση, και για τη δημιουργία επαγγελματιών δασκάλων χημείας. Επίσης οι εργασίες αυτές θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες πηγές για φοιτητές χημείας, ειδικότερα δε γι' αυτούς που είναι στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Η δική μας πεποίθηση είναι ότι στην «παιδαγωγική γνώση περιεχομένου» ο δάσκαλος βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση με το να κάνει καλές επιλογές μεταξύ



εναλλακτικών τρόπων δράσης, που βασίζονται στην ιδιαίτερη συλλογιστική του περιεχομένου ενός συγκεκριμένου θέματος, με σκοπό να μεγιστοποιήσει τον πλούτο της μάθησης. Φυσικά, πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι οι αποφάσεις στην αίθουσα διδασκαλίας δεν μπορούν να γίνουν εξ ολοκλήρου βασισμένες πάνω στο συγκεκριμένο περιεχόμενο ενός θέματος. Οποιοσδήποτε δάσκαλος θα μπορούσε σε κάποιο βαθμό να εκτιμήσει το πλαίσιο της γενικότερης εκπαιδευτικής φιλοσοφίας, το σύστημα των περιορισμών που τίθενται, όπως του χρόνου για την κάλυψη κάποιας διδακτέας ύλης, τον αριθμό των μαθητών ανά αίθουσα, τις δυνατότητες εργαστηριακής άσκησης των μαθητών καθώς και τις ικανότητες και τις φιλοδοξίες των μαθητών του. Θα ήταν αφροσύνη να ισχυριστούμε ότι μπορούμε να παράγουμε μια συνταγή για πολύ καλή διδασκαλία σε οποιοδήποτε θέμα για όλους τους δασκάλους, όλους τους μαθητές, για όλα τα εκπαιδευτικά συστήματα και για όλες τις πολιτιστικές καταβολές.

Τελικά, εμείς έχουμε εδραιωμένη την πεποίθηση ότι η ανάπτυξη του «παιδαγωγικού περιεχομένου της γνώσης» σχετικά με ένα θέμα συνίσταται στη δημιουργία μιας νέας γνώσης διαφορετικού τύπου, αλλά ίσης αξίας με τη γνώση έρευνας σχετικά με το θέμα αυτό καθ' αυτό. Η αναγνώριση μιας τέτοιας γνώσης μπορεί να επαυξήσει την υπάρχουσα κατάσταση των καλών δασκάλων χημείας.

#### 1.4 Η παρούσα έρευνα – στόχοι

Στη διατριβή μεταπτυχιακής ειδίκευσης στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Καμπουράκης, 2001, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων- Τμήμα Χημείας) μια πειραματική δραστηριότητα γνωστή ως «συντριβάνι της αμμωνίας» χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να εξετάσει αν αυτή μπορεί να συνεισφέρει στη λύση ενός απαιτητικού προβλήματος χημείας πάνω στην καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων. Τρεις ομοιογενείς ομάδες μαθητών πρώτης και δευτέρας λυκείου (ηλικίας 16-17 ετών) μελετήθηκαν. Αν και οι διαφορές στις επιδόσεις μεταξύ των πειραματικών ομάδων και των ομάδων ελέγχου δεν ήταν πολύ μεγάλες, βρέθηκε ότι οι μαθητές που αποτέλεσαν τις πειραματικές ομάδες έφεραν υψηλότερες επιδόσεις από τις ομάδες ελέγχου, και οι διαφορές των επιδόσεων ήταν σε αρκετές περιπτώσεις στατιστικώς σημαντικές.

Επιπλέον στην παραπάνω έρευνα διαπιστώθηκε ότι ένα μικρό ποσοστό μαθητών μπόρεσε να συσχετίσει την πειραματική δραστηριότητα με τη λύση του προβλήματος που τους τέθηκε. Οι μαθητές που συσχέτισαν την επίδειξη του πειράματος με το τεθέν πρόβλημα παρουσίασαν πολύ υψηλότερη επίδοση από τους υπόλοιπους. Επιπλέον, οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να ερμηνεύσουν το πείραμα, κοινές εναλλακτικές ιδέες και λάθος ερμηνείες κατεγράφησαν. Ένα επιπλέον συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι οι εργαστηριακές δραστηριότητες και η σχετική θεωρία που διδάσκεται στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση συνιστούν δύο χώρους που δεν συνδέονται (non-or not strongly-overlapping "spaces"), τουλάχιστον, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούμε πειράματα τα οποία είναι τόσο στην πραγματοποίησή τους όσο και στο εννοιολογικό τους υπόβαθρο πολύπλοκα.

Οι παρακάτω δημοσιεύσεις και παρουσιάσεις εργασιών σε συνέδρια προέκυψαν από την έρευνα αυτή.



- ✓ Δημοσίευση στο Chemistry Education: Research and Practice, 2003, vol. 4, No. 3, pp. 319-333.
- ✓ Ανακοίνωση στο 6<sup>ο</sup> ECRICE (European Conference on Research in Chemistry Education), September, 2001, Aveiro, Portugal, in book of abstracts, pp. 213-215.
- ✓ Ανακοίνωση στο 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής, Νοέμβριος 2001, Χίος, βιβλίο περιλήψεων, σ. 79.
- ✓ Ανακοίνωση στο 3<sup>ο</sup> ESERA (International Conference of the European Science Educational Research Association), July, 2001, Aristotle University of Thessaloniki, Greece Vol. 1, pp.182-184.
- ✓ Ανακοίνωση στο Πανελλήνιο Συνέδριο Χημείας, Νοέμβριος 2000, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πρακτικά συνεδρίου, σ. 92-97.

Οι κρίσεις από ανεξάρτητους ερευνητές και δασκάλους χημείας, επικεντρώθηκαν ότι η σύνδεση πειράματος και λύση προβλήματος είναι ένα ενδιαφέρον εγχείρημα στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών και αξίζει περαιτέρω έρευνα.

Στην έρευνα που παρουσιάζουμε γίνεται μια συστηματική απόπειρα για την ανάπτυξη μιας παιδαγωγικής γνώσης για τη διδασκαλία βασικών ιδιοτήτων της αέριας κατάστασης. Για τον σκοπό αυτό αναπτύξαμε τη διδασκαλία μια σειράς θεμάτων-προβλημάτων σχετικών με την αέρια κατάσταση και τα διδάξαμε με τρεις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους. Από τη βιβλιογραφία της διδακτικής μας είναι γνωστό ότι η διδασκαλία της αέριας κατάστασης και των ιδιοτήτων της είναι ένα θέμα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αλλά ταυτόχρονα δυσπρόσιτο για τους μαθητές, λόγω της αφηρημένης φύσης τους (Tytler, 1998, Brook & Driver, 1988, Nussbaum, 1988).

Στην παρούσα έρευνα μετασχηματίσαμε σε διδακτική πράξη βασικές έννοιες από την αέρια κατάσταση και τις διδάξαμε σε πρωτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Στην πρώτη φάση διδασκαλίας (παρέμβαση Α) όλοι οι φοιτητές (το δείγμα) που πήραν μέρος στην έρευνα (N=151) διδάχθηκαν βασικές φυσικές ιδιότητες της αέριας κατάστασης (βλέπε, Παράρτημα 1). Η διδακτική μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η διαλεκτική (βλέπε, Κεφ. 4, 4.3 και Κεφ. 6, 6.2). Στη διδασκαλία κάθε θέματος πρωταγωνιστούσε μια επιμέρους ομάδα φοιτητών και ο διδάσκων οι δε υπόλοιποι φοιτητές παρακολουθούσαν.

Στη δεύτερη φάση διδασκαλίας (παρέμβαση Β) χωρίσαμε τους φοιτητές του δείματός μας σε τρεις ισοδύναμες ομάδες και στην κάθε ομάδα διδάξαμε τα ίδια θέματα, με την μορφή επίλυσης προβλημάτων, διαθέτοντας τις ίδιες ώρες διδασκαλίας (βλέπε, Κεφ. 7). Τα θέματα-προβλήματα και στη δεύτερη φάση αναφέρονταν στην αέρια κατάσταση. Σε κάθε μια από τις τρεις ομάδες ακολουθήσαμε διαφορετική διδακτική μέθοδο. Στην πρώτη ομάδα (ομάδα πειραμάτων), τα θέματα-προβλήματα δόθηκαν στις επιμέρους ομάδες των φοιτητών και τους ζητήθηκε να επινοήσουν για τη λύσή τους πειραματικές διατάξεις. Η πειραματική λύση που δόθηκε από κάθε ομάδα παρουσιάστηκε στη συνέχεια από την ίδια στις υπόλοιπες ομάδες. Αυτή η διδακτική μέθοδος κινείται στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής μάθησης (cooperative learning). Η συνεργαζόμενη



ομάδα αποτελεί τον πυρήνα και την κινητήρια δύναμη της διδασκαλίας. Ο μαθητής /φοιτητής συμμετέχει ενεργά μέσα από κοινωνικής φύσεως αλληλεπιδράσεις στο περιβάλλον της ομάδας, για να δομήσει τη δική του μάθηση και ο δάσκαλος παίζει ρόλο διαμεσολαβητή.

Στη δεύτερη ομάδα (ομάδα επίδειξης πειραμάτων) η διδασκαλία-λύση κάθε προβλήματος έγινε κάθε φορά με μια επιμέρους ομάδα φοιτητών, σε συνεργασία με τον διδάσκοντα, ενώπιον των υπολοίπων φοιτητών, εφαρμόζοντας τη διαλεκτική μέθοδο διδασκαλίας η οποία εμπλουτίστηκε με την εκτέλεση πειραμάτων, που απαντούσαν στα τεθέντα θέματα-προβλήματα, σε συνεργασία με τον διδάσκοντα. Στην τρίτη ομάδα (ομάδα συμβατικής διδασκαλίας) ακολουθήθηκε επίσης η διαλεκτική μέθοδος διδασκαλίας, χωρίς τη χρήση πειραματικών διατάξεων, ως εποπτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε μόνο κίμαλια και πίνακας. Τέλος μια τέταρτη ομάδα (ομάδα ελέγχου) αυτοσχηματίστηκε από φοιτητές που ενώ συμμετείχαν στην πρώτη φάση διδασκαλίας και είχαν προγραμματιστεί να συμμετάσχουν σε μια από τις τρεις παραπάνω ομάδες δεν προσήλθαν. Οι φοιτητές όμως αυτοί πήραν μέρος στην εξέταση που έγινε με θέματα κοινά για τους φοιτητές όλων των ομάδων.

Η παραπάνω ερευνητική διαδικασία λαμβάνει υπόψη της το γνωστικό υπόβαθρο των φοιτητών και επιπλέον στην πρώτη φάση (παρέμβαση Α) τους διδάσκει βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό το γνωστικό τους υπόβαθρο. Στη δεύτερη φάση καλούνται να εφαρμόσουν και να επεκτείνουν την γνωστική τους υποδομή για να απαντήσουν – να δώσουν λύση σε συγκεκριμένα προβλήματα, που τους τίθενται, εφαρμόζοντας διαφορετικές διδακτικές μεθόδους.

Τέλος η εξέταση που έγινε με θέματα κοινά σε όλους τους φοιτητές (βλέπε, Κεφ. 8) που πήραν μέρος στην έρευνα αξιολογεί ποια διδακτική μέθοδος μπορεί να είναι πιο πλούσια σε μάθηση στο συγκεκριμένο θέμα-που αφορά την αέρια κατάσταση, και σε ποιο βαθμό επιτεύχθηκε μια εννοιολογική μετατόπιση κάθε ομάδας προς έννοιες της αέριας κατάστασης που είναι συμβατές με τις επιστημονικές.

Επιπλέον η διδασκαλία λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων από μαθητές λυκειακής βαθμίδας και φοιτητές Παιδαγωγικών Τμημάτων Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης δεν έχει εισαχθεί στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη χώρα μας. Η διδακτική πρακτική λύσης προβλημάτων, που κυριαρχεί στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη χώρα μας, δίνει έμφαση σε αλγοριθμικές διαδικασίες και σε μαθηματικούς υπολογισμούς (βλέπε, Μ.Δ.Ε., Ιωάννινα 2001, σ. 5-22). Γενικά οι μαθητές δεν εκτίθενται σε μια ποικιλία στρατηγικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη λύση των ίδιων προβλημάτων.

Από έρευνα (Χαλκιά, 1999), που είχε στόχο τη διερεύνηση των αντιλήψεων, των στάσεων και απόψεων των Ελλήνων Εκπαιδευτικών για τη διδακτική αξιοποίηση των πειραμάτων στο μάθημα της φυσικής προέκυψε ότι: Οι καθηγητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης πιστεύουν ότι τα πειράματα δεν συνδέονται απαραίτητα οργανικά με το καθημερινό μάθημα. Ένα ποσοστό 28,2% των καθηγητών φυσικής συμφωνεί με την πρόταση «πιστεύω ότι και χωρίς καθόλου πειράματα οι μαθητές είναι δυνατόν να προσεγγίσουν τη φυσική σε βάθος». Οι εκπαιδευτικοί φαίνεται να μην αναγνωρίζουν





τους πιθανούς τρόπους ενσωμάτωσης των πειραμάτων στη διδακτική πρακτική. Οι περισσότεροι καθηγητές (80,4%) πιστεύουν ότι «τα πειράματα καλό είναι να γίνονται σε ξεχωριστή ώρα (ώρα εργαστηρίου) και όχι μέσα στην ώρα του συγκεκριμένου μαθήματος». Αισθάνονται υποχρεωμένοι να υπεραμυνθούν του «φροντιστηριακού» μαθήματος που διδάσκουν. Η ενσωμάτωση του πειράματος στο καθημερινό μάθημα θα τους εμφάνιζε λιγότερο αποτελεσματικούς στους μαθητές τους και στη κοινωνία γενικότερα. Η έρευνα της Χαλκιά καταλήγει ότι πολλοί από τους Έλληνες εκπαιδευτικούς έχουν μια μη οργανωμένη, μη επεξεργασμένη αντίληψη για το ρόλο του πειράματος στην εκπαιδευτική πρακτική.

Σε κάποιες χώρες, όπως Γαλλία (BOEN, 1996, 1997, 1999, Laugier & Dumon, 2003), Μεγάλη Βρετανία (Standard Grade Chemistry, Scottish Certification of Education, 1998, Johnstone & Al-Naeme, 1995), ΗΠΑ (National Science Education Standard, National Research Council, Washington DC, 1996) έχουν ξεκινήσει να ενσωματώνουν στα αναλυτικά προγράμματα της λυκειακής βαθμίδας εκπαίδευσης το πείραμα ως μέσο για την επίλυση προβλημάτων.

Στη δική μας έρευνα η εισαγωγή της επίλυσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων στοχεύει να διερευνήσει σε ποιο βαθμό οι απόφοιτοι λυκειακής εκπαίδευσης μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα τέτοιο πλαίσιο μάθησης. Τι είδους δυσκολίες προκύπτουν για το διδάσκοντα που θα αναθέσει σε ομάδες την λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, ποια προετοιμασία θα πρέπει να έχει προηγηθεί τόσο από την πλευρά του δασκάλου όσο και των μαθητών; Ποια η απαιτούμενη εργαστηριακή υποδομή για τη διεξαγωγή μια τέτοιας διδασκαλίας; Σε ποιο βαθμό γνώσεις που λαμβάνονται από συμβατική διδασκαλία (ο διδάσκων αναπτύσσει ένα θέμα και οι μαθητές παρακολουθούν) μπορούν να μεταφερθούν σε άλλες παρεμφερείς καταστάσεις για την επίλυση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων; Η μάθηση που επικοδομείται μ' αυτή τη διδακτική μέθοδο είναι πιο γόνιμη σε σχέση με άλλες; Ποιες έννοιες σε σχέση με βασικές φυσικές ιδιότητες της αέριας κατάστασης, τη μικροσκοπική δομή της αέριας κατάστασης, την πίεση που ασκεί αέριο στην επιφάνεια υγρού και την ατμοσφαιρική πίεση παραμένουν δυσνόητες για τους φοιτητές και μετά τη διδασκαλία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ Ι

#### Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΗ ΜΑΘΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

##### 2.1 Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης των φαινομένων στην επιστήμη

Όταν οι χημικοί και οι φυσικοί σκέπτονται σχετικά με χημικές και φυσικές διεργασίες έχουν την τάση να χρησιμοποιούν τρία ανεξάρτητα αλλά διακριτά απεικονιστικά επίπεδα: το μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό (Johnstone, 1991). Η απεικόνιση ή αναπαράσταση σε μακροσκοπικό επίπεδο περιλαμβάνει παρατηρήσεις που γίνονται με την βοήθεια των αισθήσεων, όπως αλλαγή χρώματος, αλλαγή καταστάσεων, σχηματισμός φυσαλίδων ή ιζημάτων, μεταβολές θερμοκρασίας κ.ά. Η μακροσκοπική κατάσταση ενός συστήματος, που βρίσκεται σε ισορροπία, είναι ανεξάρτητη από το χρόνο, και μπορεί να περιγραφεί με ορισμένες μακροσκοπικές παραμέτρους, δηλαδή παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες του συστήματος σε μεγάλη κλίμακα και μετρούνται με εργαστηριακές διαδικασίες.

Οι αναπαραστάσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο περιγράφουν ατομικές, μοριακές και ιοντικές δομές και διαδικασίες αλληλεπίδρασης μεταξύ των «δομικών λίθων» που συγκροτούν τα υλικά (διαμοριακές δυνάμεις), καθώς και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους δομικών συστατικών που συγκροτούν τους δομικούς λίθους (ενδομοριακές δυνάμεις). Η μικροσκοπική μελέτη ενός συστήματος περιλαμβάνει ποσότητες που περιγράφουν τα άτομα και τα μόρια που αποτελούν το σύστημα, τις ταχύτητες τους, τις ενέργειες, τις μάζες, τις στροφορμές τους, τη συμπεριφορά τους στη διάρκεια των κρούσεων κ.λ.π. Οι ποσότητες αυτές, ή μαθηματικές διατυπώσεις βασισμένες σ' αυτές αποτελούν τη βάση για την επιστήμη της κβαντικής και στατιστικής μηχανικής. Οι μικροσκοπικές ιδιότητες δεν συνδέονται άμεσα με τις αντιλήψεις των αισθήσεών μας. Για οποιοδήποτε σύστημα οι μακροσκοπικές και οι μικροσκοπικές ποσότητες πρέπει να συνδέονται γιατί είναι απλώς διαφορετικοί τρόποι περιγραφής της ίδια κατάστασης. Η συνύφαση της μικροσκοπικής και μακροσκοπικής θεώρησης είναι χαρακτηριστικό σύγχρονης επιστήμης.

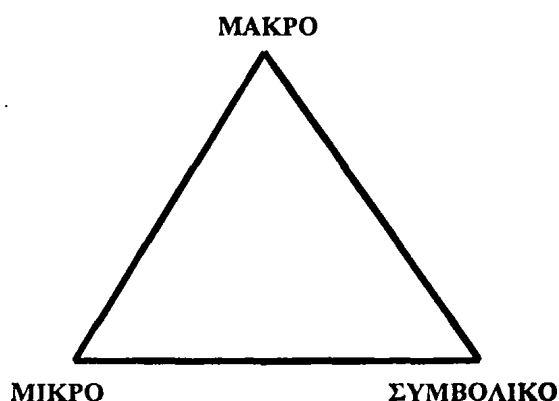


Οι συμβολικές αναπαραστάσεις περιλαμβάνουν τη χρησιμοποίηση συμβόλων και διαγραμμάτων που αντιπροσωπεύουν φυσικά μεγέθη και κυρίως τρόπους μεταβολής των φυσικών και χημικών μεγεθών. Παραδείγματα συμβολικών αναπαραστάσεων στη χημεία συμπεριλαμβάνουν χημικά σύμβολα, χημικές εξισώσεις, μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν μεταβολές χημικών μεγεθών, και διαγράμματα που απεικονίζουν δεδομένα από μετρήσεις.

Ο Johnstone υποστηρίζει ότι οι ειδικοί στη χημεία κινούνται με άνεση δια μέσου των τριών παραπάνω επιπέδων, όμως για τους μαθητές τα επίπεδα αυτά συχνά λειτουργούν ως αιτία σύγχυσης εξαιτίας, των περιορισμών της εργαζόμενης μνήμης. Οι δυσκολίες που οι παραπάνω μεταβάσεις θέτουν επισημαίνει ο Johnstone, θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν στους μαθητές για να μπορέσουν να σχηματίσουν καθαρές συνδέσεις δια μέσου των επιπέδων όπου αυτό είναι απαραίτητο. Από την έρευνα που είναι σήμερα διαθέσιμη (Nakhleh, 1992, Herron, 1978, Gabel και Sherwood, 1980, Kampourakis και Tsapralis, 2001) φαίνεται ότι οι μαθητές έχουν μεγαλύτερη δυσκολία να κινούνται σε μικροσκοπικό επίπεδο, επειδή η μικροσκοπική δομή της ύλης είναι έξω από τις εμπειρίες τους και μπορεί να προσεγγιστεί από τους μαθητές μόνο με την χρήση των μοντέλων ή με προσομοιώσεις με τη βοήθεια υπο-λογιστών.

Οι περισσότερες παραδοσιακές σειρές μαθημάτων στη φυσική και χημεία εστιάζονται στο συμβολικό επίπεδο: λύση προβλημάτων στοιχειομετρίας με την βοήθεια χημικών εξισώσεων, προβλήματα χημικής ισορροπίας, αναλύσεις και προβλήματα με τη βοήθεια διαγραμμάτων.

Από την άλλη πλευρά, παραδοσιακές εργαστηριακές σειρές, εστιάζονται επίσης πάνω σε συμβολικές αναπαραστάσεις με την έννοια ότι στοχεύουν στην εύρεση σχέσεων μεταξύ μεγεθών, και σε μακροσκοπικές αναπαραστάσεις αφού συλλέγουν μετρήσεις και παρατηρήσεις. Αυτές οι σειρές μαθημάτων έχουν την τάση να αγνοούν μικροσκοπικές αναπαραστάσεις, πιθανώς τα προγράμματα αυτά να στηρίζονται στην υπόθεση ότι μαθήματα που απευθύνονται στο μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο θα αναπτύξουν τις ικανότητες των μαθητών να σκέπτονται και σε μικροσκοπικό επίπεδο. Δυστυχώς, η έρευνα της διδακτικής έχει δείξει ότι ενώ πολλοί μαθητές με διαφορετικές ικανότητες μπορούν επιτυχώς να λύνουν ποσοτικά προβλήματα με τη χρησιμοποίηση μαθηματικών υπολογισμών, υψηλά ποσοστά μαθητών δεν έχουν μάθει να σχετίζουν χημικές έννοιες σε μικροσκοπικό επίπεδο από παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις που επικεντρώνονται σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο.



*Διάγραμμα 2.1 Οι τρεις τρόποι αναπαράστασης της επιστημονικής γνώσης κατά τον A. H. Johnstone (Journal of Computer assisted learning, 1991, 7).*

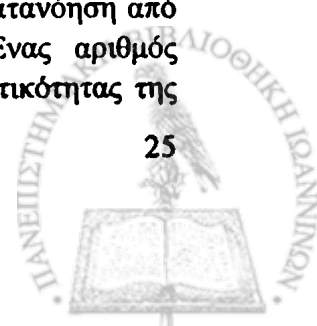


Στη διδασκαλία της χημείας η χρήση αναπαραστάσεων της μικροσκοπικής δομής της ύλης συχνά θέτει ένα πρόβλημα επειδή οι μαθητές δεν μπορούν άμεσα να δουν ή να έχουν κάποια αίσθηση ατόμων ή μορίων. Πολλοί δάσκαλοι στηρίζονται στη χρησιμοποίηση του μοντέλου σφαιρίδια - ράβδους (ball-and-stick model), στατικές εικόνες με κινωλία στον πίνακα ή κιναισθητικές ασκήσεις όπου οι μαθητές κινούνται σαν μόρια ή άτομα για να διδάξουν χημεία σε μικροσκοπικό επίπεδο. Ο στόχος των περισσότερων απ' αυτές τις μεθόδους είναι να κάνουν τις αφηρημένες κινήσεις των ατόμων και των μορίων πιο συγκεκριμένες (Hepton, 1978, Nuttenbepn, 2001). Το πρόβλημα με τα παραπάνω μοντέλα είναι ότι οι μοριακές και ατομικές κινήσεις μπορούν μόνο να υπονοούνται. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο τέτοιες διδακτικές μέθοδοι πράγματι αναπαριστούν πάντοτε χημικώς σωστά τις μοριακές κινήσεις. Τέτοιες αναπαραστάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες ιδέες (misconceptions), επειδή οι μαθητές δεν είναι ικανοί να συλλάβουν την αφηρημένη φύση των ατομικών και μοριακών κινήσεων. Τεχνικές απεικόνισης των κινήσεων και των αλληλεπιδράσεων των ατόμων με τη βοήθεια υπολογιστών (computer animation) καθώς και συσκευές προσομοίωσης της συμπεριφοράς κυρίως των αερίων, όπως η συσκευή με τα δονούμενα σφαιρίδια (vibrating ball type) που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία για την κίνηση των μορίων αερίου μπορεί να είναι ισχυρά εργαλεία για τη διδασκαλία και τη δυναμική φύση της χημείας σε μικροσκοπικό επίπεδο.

## 2.2 Μάθηση και εργαστήριο. Στόχοι - μορφές - αξιολόγηση της εργαστηριακής εργασίας - διδασκαλία που βασίζεται στη λύση προβλημάτων

Η εκπαίδευση και η επιστημονική έρευνα αποτελούν κοινωνικές δραστηριότητες και συνεπώς επηρεάζονται άμεσα από τις κοινωνικές αλλαγές που χαρακτηρίζουν κάθε ιστορική φάση. Η «Λευκή βίβλος για την εκπαίδευση» (C. E. C., 1995a, b), που δημοσίευσε η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υποδηλώνει ότι «ήδη διαμορφώνεται μια «κοινωνία της γνώσης», στην οποία η ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να αντιλαμβάνονται, να κατανοούν το νόημα γεγονότων, να είναι σε θέση να κρίνουν και να αξιολογούν, γίνεται ζήτημα επιβίωσης σε σχέση με την προσαρμογή τους στις μελλοντικές αλλαγές στην οικονομία και την αγορά εργασίας. Με λίγα λόγια η ικανότητα των μαθητών να μαθαίνουν θα έχει μια αυξανόμενη σπουδαιότητα και θα επηρεάζει τη ζωή τους, γιατί η «κοινωνία της γνώσης» είναι συγχρόνως και η «κοινωνία της μάθησης».

Στην παρούσα φάση η εργαστηριακή εργασία και οι άλλοι τύποι πρακτικής εργασίας έχουν κερδίσει σε αποδοχή, αλλά δεν έχουν γίνει αποδεκτοί ως ένα από τα πιο σημαντικά και ουσιώδη στοιχεία στη διδασκαλία και τη μάθηση της επιστήμης (Johnstone & Al-Shuaili, 2001). Οι διδάσκοντες φυσικές επιστήμες ενδιαφέρονται και είναι πεπεισμένοι για την αξία της εργαστηριακής διδασκαλίας, συγχρόνως όμως εκφράζουν αμφιβολία για την αποτελεσματικότητά της ως μέσο για την κατανόηση από τους μαθητές / φοιτητές των διαφόρων πλευρών της επιστήμης. Ένας αριθμός ερευνητικών ευρημάτων δείχνουν μια «ανησυχητική έλλειψη αποτελεσματικότητας της



εργαστηριακής εργασίας» (Novak, 1988), αν και αυτή διευκολύνει τους μαθητές να εποικοδομήσουν την επιστημονική γνώση και να αποκτήσουν δεξιότητες επιστημονικής πειραματικής εργασίας. Ο προσδιορισμός των βέλτιστων τύπων εργαστηριακής εργασίας για κάθε συγκεκριμένη πλευρά κατανόησης της επιστήμης και ο τρόπος με τον οποίο τα αποτελέσματά τους μπορούν να αξιολογηθούν, αποτελεί ένα ζήτημα του οποίου πολλές πλευρές πρέπει να διερευνηθούν (Lazarowitz & Tamir, 1995).

Στο εποικοδομητικό πλαίσιο μάθησης, κατανόηση των φυσικών επιστημών δε σημαίνει μόνο κατανόηση του περιεχομένου τους αλλά και των επιστημονικών διαδικασιών και πρακτικών τους (Gott & Duggan, 1996). Στο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα για την εργαστηριακή εργασία στο λύκειο και το πανεπιστήμιο (LSE-Εργαστηριακή Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών) η αποδεκτή υπόθεση είναι ότι: «όταν οι μαθητευόμενοι εκτελούν πειραματική εργασία, η γνώση των εννοιών και των μοντέλων της επιστήμης διαπλέκεται και χρησιμοποιείται ταυτόχρονα με τη γνώση των διαδικασιών της επιστήμης» (Sere et al., 1998).

Τρία θεμελιώδη ερωτήματα συνδέονται με την εργαστηριακή εργασία:

A) Ποιοι είναι οι σκοποί και οι στόχοι της διδασκαλίας στα εργαστήρια.

B) Ποιες στρατηγικές είναι διαθέσιμες για διδασκαλία.

Γ) Πως μπορούμε να εκτιμήσουμε τα αποτελέσματα της εργαστηριακής καθοδήγησης.

Μια επιφανειακή απάντηση στο πρώτο ερώτημα θα μπορούσε να ήταν ότι «η χημεία είναι ένα πρακτικό αντικείμενο, και έτσι πρέπει να κάνουμε εργαστηριακή εργασία». Επιπλέον, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι σκοπός της εργαστηριακής διδασκαλίας είναι να διδάξει επιδεξιότητες χειρισμών οργάνων και συσκευών και να κάνει πιο κατανοητή τη θεωρία. Οι παραπάνω λόγοι είναι επαρκείς; Αν κοιτάξουμε την ποικιλία των διαθέσιμων στρατηγικών για την εργαστηριακή εργασία, οι σκοποί του εργαστηρίου θα πρέπει να γίνουν πιο σαφείς, ώστε να γνωρίζουμε ποιες από αυτές τις στρατηγικές μας οδηγούν σε καλύτερη επίτευξη των σκοπών μας. Ομοίως, αν προσπαθήσουμε να συσχετίσουμε την αξιολόγηση με τα αποτελέσματα, θα πρέπει να είμαστε ξεκάθαροι όσον αφορά τα αποτελέσματα που επιθυμούμε να δούμε στους μαθητές μας. Αν τα επιθυμητά αποτελέσματα δεν είναι καλώς καθορισμένα, πώς θα μπορούσε οποιοδήποτε είδος αξιολόγησης να εφαρμόζεται από τους δασκάλους και να κατανοείται από τους μαθητές;

Οι όροι «στόχος» και «σκοπός» στη βιβλιογραφία συχνά χρησιμοποιούνται ως συνώνυμοι, για να δώσουν μια γενική περιγραφή των προθέσεων της εργαστηριακής εργασίας. Ο Sutton (1985) όρισε τους στόχους ως γενικές δηλώσεις του τι ο δάσκαλος προτίθεται να επιτύχει, ενώ ως σκοπούς τις ιδιαίτερες δηλώσεις του τι οι σπουδαστές θα πρέπει να είναι ικανοί να επιτύχουν ως αποτέλεσμα όσων διδάχθηκαν στο εργαστήριο. Κατά τη διάρκεια μιας εργαστηριακής περιόδου (εξαμήνου), οι φοιτητές μπορούν να θέτουν ερωτήσεις όπως: τι πρέπει να εξετάσουμε, τι μας λένε τα αποτελέσματα κ.ά. Συνεπώς το να είσαι ενήμερος του στόχου είναι σημαντικό καθώς αυτός βοηθάει τους μαθητές να αντιληφθούν τι αυτοί κάνουν, ενώ το να είσαι ενήμερος του σκοπού μπορεί να τους ενθαρρύνει να ψάξουν για συνδέσεις μεταξύ μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας και της υπόλοιπης εργαστηριακής και θεωρητικής εργασίας.



Η Kerr (1963) διεξήγαγε μια συστηματική μελέτη της εργαστηριακής εργασίας από το 1961 στην Αγγλία και Ουαλία, ρωτώντας δασκάλους φυσικών επιστημών, που δίδασκαν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, να δώσουν πληροφορίες για τη φύση, τους σκοπούς, την αξιολόγηση και τις απόψεις τους σχετικά με την εργαστηριακή εργασία που αυτοί είχαν αντιμετωπίσει στα σχολεία. Ως αποτέλεσμα απ' αυτή τη μελέτη ήταν η σύνταξη μιας κατάστασης από δέκα στόχους. Αυτοί ήταν:

1. Να ενθαρρύνει ακριβείς μετρήσεις και προσεχτική καταγραφή.
2. Να προωθήσει απλές, κοινής αίσθησης, επιστημονικές μεθόδους σκέψης.
3. Να αναπτύσσει επιδεξιότητες χειρισμού συσκευών και οργάνων.
4. Να εξασκεί τους μαθητές στη λύση προβλημάτων.
5. Να προσαρμόζει τους μαθητές στις απαιτήσεις της πρακτικής εξέτασης.
6. Να διασαφηνίζει τη θεωρία για να βοηθήσει τους μαθητές να την κατανοήσουν.
7. Να επαληθεύσει γεγονότα και αρχές που ήδη διδάχθηκαν.
8. Να δείχνει τη σχέση μεταξύ των μετρήσεων που πάρθηκαν και του τρόπου που εξετάζονται για να καταλήξουμε σε νόμους και αρχές.
9. Να διεγείρουν και να διατηρήσουν το ενδιαφέρον σ' ένα αντικείμενο.
10. Να κάνουν τα φαινόμενα πιο ρεαλιστικά μέσα από την ενεργή εμπειρία.

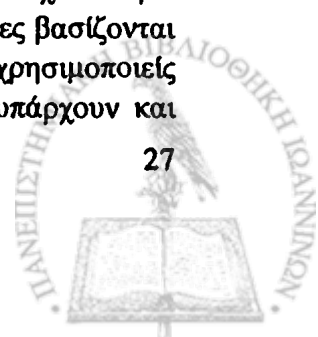
Αρκετές μετέπειτα προσπάθειες έχουν γίνει για να διαρθρωθούν οι στόχοι της εργαστηριακής εργασίας (Swain, 1974, Kempa & Ward, 1988, Johnstone & Wood, 1977, Lynch & Ndyetabura, 1983, Boyer & Tiberghien, 1989, Gunstone, 1991, Wellington, 1998). Τα αποτελέσματα των ερευνητών αυτών βρίσκονται σε ουσιαστική συμφωνία με την καταγραφή της Kerr και αυτό μπορεί να δείχνει ότι η ερευνητική κοινότητα της διδακτικής ως προς το θέμα αυτό έφτασε σε ένα βαθμό συναίνεσης.

Οι παραπάνω αναφερόμενοι στόχοι αναφέρονται κυρίως για σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, μπορούν όμως εξίσου καλά να εφαρμοστούν και στη τριτοβάθμια. Ειδικότερα για την τριτοβάθμια εκπαίδευση οι Buckley και Kempa (1971) συνόψισαν ότι βασικοί στόχοι της εργαστηριακής εργασίας θα πρέπει να είναι η ενθάρρυνση των φοιτητών να αποκτήσουν:

1. Επιδεξιότητες χειρισμών.
2. Επιδεξιότητες παρατήρησης.
3. Ικανότητα να ερμηνεύουν πειραματικά δεδομένα.
4. Ικανότητα στο να σχεδιάζουν πειράματα.
5. Να αναπτύσσουν το ενδιαφέρον για ένα γνωστικό αντικείμενο.
6. Να απολαμβάνουν τη γνώση ενός γνωστικού αντικειμένου.
7. Να δημιουργούν μια αίσθηση της πραγματικότητας του φαινομένου που συζητήθηκε στη σχετική θεωρία.

### 2.3 Επιδεξιότητες χειρισμού

Είναι αλήθεια ότι το εργαστήριο είναι από τους λίγους χώρους στο σχολείο για την ανάπτυξη χειρωνακτικών δεξιοτήτων. Πολλές απ' αυτές τις επιδεξιότητες βασίζονται στο ιδιαίτερο τμήμα του διαθέσιμου εξοπλισμού. Μεταξύ της μάθησης να χρησιμοποιείς ένα τύπο μηχανικής ζυγαριάς με βραχίονες και μιας ηλεκτρονικής δεν υπάρχουν και



πολλά κοινά σημεία. Συσκευές που είναι πολύπλοκες και απαιτούν ένα σύνθετο χειρισμό μπορούν να παρεμποδίσουν την ανάπτυξη στο εργαστήριο άλλων επιθυμητών δεξιοτήτων. Ένας μαθητής που αγωνίζεται για να λειτουργήσει ένα μέρος του εξοπλισμού, σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, που διατίθεται για το εργαστήριο, μπορεί να αποτύχει στο να κάνει ακριβείς παρατηρήσεις και έτσι να καταγράψει φτωχά δεδομένα. Είναι ουσιώδες, αν οι συσκευές δεν είναι απλές στο χειρισμό τους, οι μαθητές / φοιτητές πριν ξεκινήσουν ένα πείραμα, να έχουν σ' ένα ικανοποιητικό βαθμό εδραιωμένες τις επιδεξιότητες χειρισμού της συγκεκριμένης συσκευής, ώστε απερίσπαστοι να επιδοθούν σε παρατηρήσεις και στη λήψη μετρήσεων.

Σε πειραματικές εργασίες που απευθύνονται σε μαθητές δημοτικού και γυμνασίου οι συσκευές θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερες και να χρησιμοποιούνται υλικά που να προέρχονται από την καθημερινή ζωή. Η πληροφοριακή υπερφόρτωση και οι εντυπωσιακές συσκευές στις μικρές ηλικίες είναι σχεδόν σίγουρο ότι μπορούν να στρέψουν την προσοχή των μαθητών σε παρατηρήσεις και στόχους πέραν των επιδιωκόμενων.

«Οι νέες τεχνολογίες στην εκπαίδευση δημιουργούν την ανάγκη ανάπτυξης νέων δεξιοτήτων χειρισμού των επιστημονικών διαδικασιών. Στα πειράματα π.χ. που βασίζονται σε μικροϋπολογιστές (MBL), ορισμένες δεξιότητες χειρισμού οργάνων πρόκειται να αντικατασταθούν από υπολογιστές με δυνατότητες συγχρονικής λήψης δεδομένων, ενώ η ανάκληση πληροφοριών από αποθηκευμένα δεδομένα μπορεί να επηρεάσει τη φύση των προαπαιτούμενων γνώσεων από τους μαθητές. Το παράδειγμα αυτό, το οποίο αφορά την ενσωμάτωση των υπολογιστικών τεχνολογιών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, είναι ενδεικτικό των πολύπλοκων θεμάτων τα οποία προκύπτουν και των αντίστοιχων καινοτομικών διδακτικών πρακτικών οι οποίες χρειάζεται να διαμορφωθούν» (Ψύλλος, 1998).

#### 2.4 Επιδεξιότητες παρατήρησης

Η παρατήρηση είναι μια γνωστική λειτουργία και αυτή γίνεται επιστημονική, όταν αυτή έχει σκοπό και σχετίζεται με μια θεωρία. Ο Young (1979) έκανε καθαρό ότι υπάρχει μια διαφορά μεταξύ του «βλέπω» και του «παρατηρώ», όταν αυτός δήλωσε ότι οι μαθητές «βλέπουν» αρκετά πράγματα, αλλά αυτοί πάντοτε δεν τα παρατηρούν. Οι Kempa και Ward (1988) ανέφεραν ότι η «ικανότητα παρατήρησης» είναι μια σχέση που συνδέει τη φύση και την ένταση ενός ερεθίσματος με τα αντιληπτικά χαρακτηριστικά του παρατηρητή. Ένα ερέθισμα για να είναι παρατηρήσιμο πρέπει να φτάνει σ' ένα ορισμένο επίπεδο, κάτω από το οποίο η παρατήρηση δε θα μπορεί να λάβει χώρα-ένα κατώφλι παρατήρησης. Επίσης οι παραπάνω ερευνητές έδειξαν ότι καθώς η ένταση ενός ερεθίσματος που πρέπει να παρατηρηθεί ελαττώνεται, αυτό γίνεται πιο δύσκολο να ανιχνευτεί. Επιπλέον, όταν υπάρχουν πολλαπλά ερεθίσματα, η ικανότητα ανίχνευσης ενός από τα ερεθίσματα μπορεί σοβαρά να επηρεαστεί από την παρουσία ενός άλλου. Το κυρίαρχο ερέθισμα μπορεί να επισκιάσει ή να συγκαλύψει τα λιγότερα κυρίαρχα.

Ο παραπάνω ψυχολογικός παράγοντας επηρεάζει τους μαθητές. Δεν είναι αρκετό να πούμε στους μαθητές να παρατηρούν. Πρέπει να τους δείξουμε πως. Οι δάσκαλοι

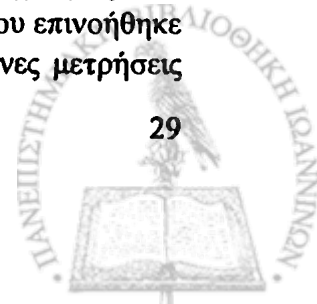


πρέπει να εξασφαλίσουν ότι τα «σήματα» που προσφέρονται στους μαθητές θα πρέπει να έχουν ένταση, ώστε να είναι πάνω από το «κατώφλι παρατήρησης». Το κύριο ερέθισμα ίσως πρέπει να υποτιμηθεί, αν αυτό καλύπτει άλλες σημαντικές παρατηρήσεις. Αυτό δεν υπονοεί ότι ο δάσκαλος θα πρέπει να δώσει όλες τις απαντήσεις πριν το εργαστήριο, αλλά μάλλον να προετοιμάσει τις δυνατότητες παρατήρησης για το τι πρόκειται να αντιμετωπίσουν.

Το πείραμα επίδειξης μπορεί να είναι πιο πρόσφορη διαδικασία όταν υπάρχει κίνδυνος οι σημαντικές παρατηρήσεις σε ένα φαινόμενο να είναι «αόρατες» από ένα ισχυρό αλλά λιγότερο σημαντικό ερέθισμα. Στην επίδειξη ο δάσκαλος έχει τον έλεγχο και μπορεί να εστιάσει την προσοχή των μαθητών πάνω στις προέχουσες παρατηρήσεις. Ο Al-Shuaili (2000) με τη χρήση αλληλεπιδραστικών τεχνικών έδειξε ότι ορατές αλλαγές που μπορούν να περνούν απαρατήρητες σε ένα παραδοσιακό εργαστήριο, θα μπορούσαν να φανούν καλά πάνω από το κατώφλι της παρατήρησης-ανίχνευσης. Συνεπώς, κατά την παρουσίαση μιας ιδιαίτερης εργασίας, ο καθοδηγητής μπορεί να φωτίσει εκείνα τα σημεία που ο μαθητής θα πρέπει να ερευνήσει με σκοπό να εκπληρώσει το στόχο της εργασίας του.

Παρ' όλα αυτά, όταν κάτι «βλέπεται» και προσδοκάται να γίνει παρατήρηση, καταγράφεται και ερμηνεύεται υπό το φως της προηγούμενης γνώσης. Με την έννοια αυτή είναι πολύ σημαντικό να έχεις κάνει κάποια προετοιμασία τόσο για το θεωρητικό πλαίσιο όσο και για το τεχνικό, που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο εργαστήριο, πριν το ξεκινήσεις. Η συλλογή δεδομένων από παρατήρηση μπορεί να λάβει χώρα μόνο μέσα σε ένα συγκεκριμένο θεωρητικό πλαίσιο. «Εκείνο που είναι σημαντικό στην επιστήμη είναι οι ιδέες που έχει κάποιος σε σχέση με τα δεδομένα, παρά τα δεδομένα καθ' αυτά» (Johnston & Al-Shuaili, 2001). Η επιστημονική παρατήρηση συχνά απορρίπτει αισθητηριακά δεδομένα στηριζόμενη σε μια θεωρητική βάση. Η Γη δεν είναι επίπεδη, μια ράβδος που είναι εν μέρει εμβαπτισμένη στο νερό δεν είναι λυγισμένη, τα άτομα του νατρίου δεν είναι μαλακά και αργυρόλευκα, επειδή ένα κομμάτι νατρίου έχει αυτές τις φυσικές ιδιότητες. Όταν η θεωρία και η παρατήρηση έρχονται σε αντίθεση, δεν σημαίνει απαραίτητως ότι η θεωρία θα πρέπει να απορρίπτεται. Η απόρριψη ενός ισχυρισμού που στηρίζεται σε δεδομένα είναι ένα κρίσιμο μέρος της επιστημονικής έρευνας. Οι μαθητές / φοιτητές που δεν έχουν το απαιτούμενο θεωρητικό υπόβαθρο δεν γνωρίζουν πού να κοιτάξουν ή πώς να κοιτάξουν, με σκοπό να κάνουν τις κατάλληλες παρατηρήσεις σε μια εργασία που διαχειρίζονται και επιπλέον δεν ξέρουν πώς να ερμηνεύσουν τι αυτοί βλέπουν. Συνεπώς, το μεγαλύτερο μέρος της εργαστηριακής δραστηριότητας θα πρέπει να είναι μη παραγωγικό. Ο Hodson (1986) επισήμανε ότι: «γνωρίζοντας τι να παρατηρήσουμε, γνωρίζουμε πώς να το παρατηρήσουμε. Οι παρατηρήσεις και οι περιγραφές των παρατηρήσεων είναι όλες εξαρτώμενες από τη θεωρία και υπόκεινται σε σφάλματα και προκαταλήψεις».

Στην εργαστηριακή εργασία, μια παραπέρα περιπλοκή στην παρατήρηση είναι ότι οι συσκευές συχνά αποκρύπτουν ένα φαινόμενο. Η μέτρηση της ταχύτητας και επιτάχυνσης ενός σώματος με τη βοήθεια του ηλεκτρικού χρονομετρητή, που επινοήθηκε στο πρόγραμμα της διδασκαλίας του προγράμματος PSSC, απαιτεί επίπονες μετρήσεις





των αποστάσεων μεταξύ των κουκίδων και στη συνέχεια αρκετές πράξεις. Η όλη διαδικασία εξαντλείται σε μετρήσεις και πράξεις. Ο Frost (1995) σημείωσε ότι «το μέγεθος και ο θόρυβος της γεννήτριας Van der Graaf συχνά αποκρύπτει τη σπουδαιότητα του σπινθήρα που παράγει». Εξ' αιτίας αυτής της παρατήρησης αξίζει κανείς να διαθέσει κάποιο χρόνο για να εξηγήσει ένα μέρος των συσκευών, με σκοπό να τις κάνει οικείες στην τάξη, ώστε να εστιάσει την προσοχή της πάνω στο καθ' αυτό φαινόμενο που πρόκειται να μελετηθεί.

Σε καθημερινές καταστάσεις η σύνδεση μεταξύ παρατήρησης και θεωρίας ή πεποίθησης είναι συχνά πολύ λεπτή. Τα άτομα που υποστηρίζουν μια ποδοσφαιρική ομάδα ή ένα πολιτικό κόμμα στις περισσότερες των περιπτώσεων υπερασπίζονται ή αμύνονται της ανωτερότητας της ομάδας τους ή της ορθότητας των πολιτικών θέσεων του κόμματος τους παρά τα κοινωνικά ή οικονομικά μεγέθη και γεγονότα που καταγράφονται. Στο χώρο της επιστήμης ανάλογα φαινόμενα σε προηγούμενες ιστορικές φάσεις είναι χαρακτηριστικά. Πριν το Lavoisier, η καύση πάντοτε σχετιζόταν με απώλεια μάζας μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων. Ακόμη και όταν αποδείχθηκε ότι κατά την οξείδωση του σιδήρου στον αέρα υπάρχει μια αύξηση στη μάζα, οι οπαδοί της θεωρίας του φλογιστό δεν κατάφεραν να το αποδεχθούν (Leicester, 1956, κεφ. XIII).

## 2.5 Τύποι εργαστηριακής εργασίας

Η ποικιλία των στόχων της εργαστηριακής εργασίας συνδέεται άμεσα με διαφορετικούς τύπους καθοδήγησης, σχεδιασμού και μαθησιακού περιβάλλοντος στον εργαστηριακό χώρο. Ο Domin (1999) πρόσφατα, στηριζόμενος σε στοιχεία από τα πανεπιστήμια του Ηνωμένου Βασιλείου, κατέγραψε τέσσερις ευδιάκριτους τύπους εργαστηριακής καθοδήγησης. Εργαστήρια που επεξηγούν τη θεωρία (expository - verification laboratory), εργαστήρια που μαθαίνουμε κατόπιν έρευνας-εξερεύνησης (inquiry laboratory), εργαστήρια ανακάλυψης (discovery laboratory) και τα πιο πρόσφατα εργαστήρια που βασίζονται στη λύση προβλημάτων (problem-based laboratory).

Τρία περιγραφικά στοιχεία μπορούν να διαφοροποιούν αυτούς τους τύπους: αποτέλεσμα, προσέγγιση και διαδικασία (Πίνακας 2.1). Το αποτέλεσμα της κάθε εργαστηριακής δραστηριότητας είναι προκαθορισμένο ή μη προκαθορισμένο; Οι δραστηριότητες σε εργαστήρια επαλήθευσης, ανακάλυψης και αυτά που βασίζονται στη λύση προβλημάτων έχουν προκαθορισμένα συμπεράσματα. Για πειράματα επαλήθευσης, οι σπουδαστές και ο δάσκαλος είναι ενήμεροι των αναμενόμενων συμπερασμάτων. Για πειράματα ανακάλυψης και λύσης προβλημάτων συνήθως μόνο ο δάσκαλος γνωρίζει το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Οι δραστηριότητες σε πειράματα επαλήθευσης και λύσης προβλημάτων ακολουθούν μια παραγωγική-απαγωγική (deductive) προσέγγιση. Οι μαθητές εφαρμόζουν μια γενική αρχή για να κατανοήσουν ένα ιδιαίτερο φαινόμενο, δηλαδή μια μετάβαση από το γενικό στα ειδικό.

Οι δραστηριότητες ανακάλυψης και μάθησης με διερεύνηση είναι επαγωγικές (inductive). Παρατηρώντας ιδιαίτερες περιπτώσεις οι μαθητές προσπαθούν να εξηγήσουν μια γενική αρχή, δηλαδή μια μετάβαση από τα επιμέρους στο γενικό. Αυτή η διαδικασία μπορεί να τεθεί σε κριτική με την έννοια ότι οι μαθητές / φοιτητές είναι απίθανο να



ανακαλύψουν στον περιορισμένο χρόνο ενός εργαστηρίου ότι χαρισματικοί επιστήμονες χρειάστηκαν πολλά χρόνια για να το βρουν.

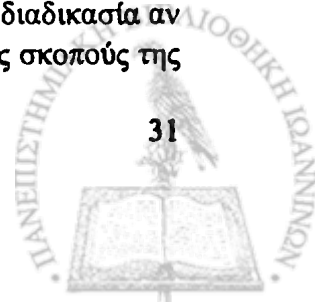
Πίνακας 2.1 Περιγραφικά στοιχεία των τύπων των εκπαιδευτικών εργαστηρίων.

Τύπος εργαστηρίου	Περιγραφικά στοιχεία		
	Αποτέλεσμα	Προσέγγιση	Διαδικασία
Επεξήγησης-επαλήθευσης	Προκαθορισμένο	Απαγωγική ή παραγωγική	Δοσμένη
Εξερεύνησης	Μη-προκαθορισμένο	Επαγωγική	Παράγεται από το μαθητή
Ανακάλυψης	Προκαθορισμένο	Επαγωγική	Δοσμένη
Λύση προβλημάτων	Προκαθορισμένο	Απαγωγική ή παραγωγική	Παράγεται από το μαθητή

Τέλος σε οποιοδήποτε εργαστηριακό τύπο η διαδικασία που πρέπει να ακολουθείται είναι είτε σχεδιασμένη από τους μαθητές είτε παρεχόμενη σ' αυτούς από μια εξωτερική πηγή (το δάσκαλο, τον εργαστηριακό οδηγό ή ένα εγχειρίδιο). Οι μέθοδοι μάθησης μετά από διερεύνηση και αυτές που βασίζονται στη λύση προβλημάτων απαιτούν ο μαθητής να αναπτύξει τις δικές του διαδικασίες. Στην περίπτωση της επαλήθευσης και στις περισσότερες δραστηριότητες ανακάλυψης η διαδικασία είναι δοσμένη για τους μαθητές. Παραθέτουμε περιγραφικά στοιχεία των τύπων των εκπαιδευτικών εργαστηρίων.

## 2.6 Το εργαστήριο επαλήθευσης

Η εκπαίδευση με πείραμα επαλήθευσης είναι ο πιο κοινός τύπος που χρησιμοποιείται. Μέσα σ' αυτό το μαθησιακό περιβάλλον ο δάσκαλος ορίζει, κατευθύνει τη δραστηριότητα των μαθητών και τη συσχετίζει με προηγούμενη εργασία τους. Ο ρόλος του μαθητή εδώ είναι μόνο να ακολουθήσει τις οδηγίες του δασκάλου ή του εργαστηριακού οδηγού, που παρουσιάζονται με λεπτομέρειες. Το συμπέρασμα είναι προκαθορισμένο από το δάσκαλο και πιθανώς να έχει γνωστοποιηθεί στο μαθητή. Ο Pickering (1987) έχει παρατηρήσει ότι «ποτέ δε ζητείται οι μαθητές να συμβιβάσουν το αποτέλεσμα που βρίσκουν, καθώς αυτό τυπικώς χρησιμοποιείται μόνο για σύγκριση σε σχέση με το αναμενόμενο αποτέλεσμα και όχι σε αντιπαράθεση με μια πρόκληση του τι μπορεί να προβλεφθεί πρωτογενώς». Ο Lagowski (1990) έχει επισημάνει ότι «στο σχεδιασμό του εργαστηρίου επαλήθευσης οι δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα από ένα μεγάλο αριθμό μαθητών με πολύ μικρή εμπλοκή από το διδάσκοντα, με χαμηλό κόστος και μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα 2-3 ωρών. Αυτός ο τύπος εργαστηρίου έχει κυρίαρχη θέση από την ανάγκη να ελαχιστοποιηθούν οι δαπάνες, ο χρόνος, οι χώροι, ο εξοπλισμός και το προσωπικό». Παρ' όλα αυτά, αυτή η διαδικασία αν και είναι διαχειριστικώς αποτελεσματική, μπορεί να διαψεύσει τους κύριους σκοπούς της



εργαστηριακής εργασίας, αφήνοντας τους μαθητές ανεκπαιδευτους σ' αυτό το χώρο της μάθησης. Μια πιο διεισδυτική κριτική των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του εργαστηρίου επαλήθευσης έγινε από τους Montes και Rockey (2000), τα περισσότερα σημεία της οποίας παραθέτουμε στις ενότητες «αντιλήψεις των δασκάλων σε σχέση με την επιλογή του τύπου πειραματικής εργασίας, πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης» (σ. 41-47).

Οι Johnston και Al-Shuaili (2001) αναγνωρίζουν τα μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, αλλά ταυτόχρονα σημειώνουν ότι αυτά είναι ριζωμένα στη διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων. Προτείνουν μικρές τροποποιήσεις των πειραμάτων αυτών, ώστε να μπορούν να προσφέρουν κάποιες από τις επιθυμητές εμπειρίες στους μαθητές. Για παράδειγμα, ένα εργαστήριο επαλήθευσης στο οποίο πρόκειται να συντεθεί και να χαρακτηριστεί ένα σύμπλοκο άλας χαλκού, μπορεί να πάρει μια νέα μορφή, αν η εργασία παρουσιαστεί με άλλο τρόπο. Δοθέντων των ομοιοτήτων στη συμπεριφορά των μετάλλων στην πρώτη σειρά των στοιχείων μετάπτωσης, οι φοιτητές μπορούν να εργαστούν σε ομάδες και κάθε ομάδα να συνθέσει ένα διαφορετικό σύμπλοκο, χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό μεταλλικό ιόν με την ίδια μέθοδο. Στη συνέχεια να συγκρίνουν τα σύμπλοκα φασματοσκοπικά καθώς και άλλα τους χαρακτηριστικά. Αυτό δίνει στους φοιτητές μια ελευθερία να επιμερίσουν τις εργασίες, να σχηματιστεί ένα αίσθημα συμμετοχής και να δοθεί μια αίσθηση υπευθυνότητας στην ομάδα. Με τρόπο ανάλογο θα μπορούσαν και άλλα πειράματα να μετασχηματιστούν και έτσι να επεκταθούν οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν.

Οι διδάσκοντες πρέπει να συνυπολογίζουν τη δημιουργία κινήτρων για την πρόκληση ενδιαφέροντος και ευχαρίστησης, όταν αναθέτουν μια εργαστηριακή εργασία στους μαθητές / φοιτητές. Ο Hodson (1986) δηλώνει ότι «το κίνητρο δεν είναι εξασφαλισμένο με το να κάνεις εργαστηριακή εργασία. Χρειάζεται να παρέχουμε ενδιαφέροντα και συναρπαστικά πειράματα, να αφήνουμε στους μαθητές ένα μέρος της έρευνας να κατευθύνεται από τους ίδιους». Επίσης προσθέτει ότι οι μαθητές χρειάζονται να αναπτύξουν ενδιαφέρον και μια δέσμευση με τις εργασίες μάθησης κάτι που η συμβατική εργαστηριακή εργασία συχνά δεν τους παρέχει. Η δέσμευση κατά το Hodson προέρχεται από την προσωποποίηση της εμπειρίας, με το να συγκεντρώνεσαι σε εννοιολογικές πλευρές του πειράματος, με το να ταυτίζεις τον εαυτό του με το πρόβλημα που σε ενδιαφέρει και αξίζει να ερευνηθεί ή με το να εκπονεείς τη διαδικασία που πρέπει να υιοθετηθεί.

## 2.7 Εργαστήριο εξερεύνησης

Αυτός ο τύπος εργαστηριακής δραστηριότητας απαιτεί οι μαθητές να παράγουν τις δικές τους διαδικασίες. Οι δραστηριότητες έχουν επαγωγικό χαρακτήρα και είναι περισσότερο επικεντρωμένες στο μαθητή. Περιέχουν λιγότερη καθοδήγηση από το διδάσκοντα και αφήνονται περισσότερες δυνατότητες στο μαθητή να κάνει επιλογές. Τέτοιες δραστηριότητες απαιτούν ο μαθητής κατ' αρχή να σχηματοποιήσει το πρόβλημα, να συσχετίσει την εργασία του με προηγούμενες, να δηλώσει τους σκοπούς της, να προβλέψει το αποτέλεσμα, να προσδιορίσει τη διαδικασία και να εκτελέσει την έρευνα.



Το εργαστήριο εξερεύνησης μπορεί να βοηθήσει το μαθητή / φοιτητή να δομήσει διαδικασίες σκέψης, οι οποίες, αν γίνουν κανονικά, θα δώσουν στο μαθητή την ευκαιρία να ασχοληθεί με αυθεντικές ερευνητικές διαδικασίες. Ο Raths κ.ά. (1986) κατέγραψαν τις παρακάτω υψηλής τάξεως γνωστικές διαδικασίες ως συνιστώσες της μάθησης μέσω του εργαστηρίου εξερεύνησης. Να κάνεις υποθέσεις, να δίνεις εξηγήσεις, να θέτεις σε κριτική, να αναλύεις, να κρίνεις αποδείξεις, να εφευρίσκεις και να αξιολογείς επιχειρήματα.

Αυτός ο τύπος εργαστηριακής εργασίας θα μπορούσε να δεχτεί κριτική, επειδή δίνει αρκετή έμφαση στην επιστημονική διαδικασία και λιγότερη στο επιστημονικό περιεχόμενο. Η δραστηριότητα αυτή δημιουργεί ένα περιβάλλον στο οποίο πολλοί από τους στόχους του εργαστηρίου μπορούν να καλλιεργηθούν, αλλά είναι χρονοβόρα. Επίσης έχει την τάση να είναι δαπανηρή και αρκετά απαιτητική σε σχέση μ' αυτά που πρέπει να οργανωθούν σε μεγάλες εργαστηριακές τάξεις. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ισχυροί λόγοι να χρησιμοποιείται κατά διαστήματα και με κατάλληλες προσαρμογές σ' όλες τις βαθμίδες. Οι Johnstone και Al-Shuaili (2001) σημειώνουν ότι δεν υπάρχουν λόγοι που να αποκλείουν μια μικρή ερευνητική εργασία προς το τέλος της διδασκαλίας ενός κεφαλαίου. Π.χ. ένα εργαστήριο που επεξηγεί την ύλη πάνω στα οξέα και τις βάσεις θα μπορούσε να ακολουθείται από μια ποικιλία μικρών ερευνητικών εργασιών πάνω σε οξέα του εμπορίου, απορρυπαντικά μπάνιου, αντιόξινα και ούτω καθ' εξής, χρησιμοποιώντας τις δεξιότητες που κερδήθηκαν από προηγούμενο εργαστήριο επαλήθευσης. Τέτοια εργαστήρια που χρησιμοποιούν «χημικά της καθημερινής ζωής» δίνουν την ευκαιρία για προγραμματισμό, σχεδιασμό και ερμηνεία καθώς και κίνητρο για την κατοχή γνώσης και τη δημιουργία κλίματος ενθουσιασμού. Το είδος αυτό της προσέγγισης έχει ήδη κερδίσει σε αποδοχή αλλά δεν είναι ακόμη κοινά αποδεκτό.

Η μάθηση από έρευνα μπορεί να προέλθει μόνο μετά από ορισμένη γνώση δεδομένων, την κατανόηση της ύλης και πρακτικών που έχουν ήδη κερδηθεί. Οι μαθητές πρέπει πρώτα να μάθουν τη γλώσσα της χημείας, το συμβολισμό και την ονοματολογία, έτσι που αυτοί να μπορούν να κατανοήσουν το πρόβλημα, να σχεδιάσουν τη διαδικασία και να κάνουν γνωστές τις ανακαλύψεις τους. Μέρος της εκπαίδευσης της χημείας είναι η μάθηση τεχνικών χειρισμού των υλικών, αλλά περισσότερο απ' αυτό ένας μαθητής / φοιτητής πρέπει να μάθει ότι η έρευνα έχει ένα ορισμένο σχεδιασμό. Ο ερευνητής κινείται κατά μήκος μιας ιδιαίτερης γραμμής σκέψης και εξετάζει τη σχετική βιβλιογραφία με σκοπό όχι να ξαναγυρίσει στα βήματα κάποιων άλλων ερευνητών αλλά για να εμπλουτιστεί από τα ευρήματα και τις διαδικασίες που έχουν εφαρμόσει. Έτσι στην εκπαίδευση της χημείας χρειαζόμαστε κάποια μέθοδο η οποία να καλλιεργεί και να διδάσκει τα αναγνωρισμένα χαρακτηριστικά της επιστημονικής παρατήρησης, το σχηματισμό υπόθεσης για να εξηγήσει την παρατήρηση, τον πειραματισμό που δοκιμάζει την υπόθεση και την ανάπτυξη μιας θεωρίας που πιθανώς σχετίζει κάποιες από τις υποθέσεις. Ο Betty, κ.ά. (1999) δήλωσε κάποιους παράγοντες που συνεισφέρουν σε μια τέτοια νοητική εμπλοκή σε ένα εργαστήριο που μαθαίνεις ερευνώντας: εμπιστοσύνη στο γνωστικό περιεχόμενο, κατοχή γνώσης και σκοπός.

## 2.8 Εργαστήριο ανακάλυψης

Η ευρετική μέθοδος διδάχτηκε από τον Armstrong στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και θεωρείται ως η απαρχή της διδασκαλίας του εργαστηρίου ανακάλυψης, στο οποίο οι μαθητές / φοιτητές ζητείται να παράγουν τις δικές τους ερωτήσεις για την έρευνα (Brock, 1973). Κανένα εργαστηριακό εγχειρίδιο δεν χρησιμοποιείται, ο δάσκαλος παρέχει ελάχιστη καθοδήγηση και ο σπουδαστής τοποθετείται στο ρόλο του ερευνητή.

Το εργαστήριο ανακάλυψης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες στην καθοδηγούμενη ανακάλυψη και στην ελεύθερη (Ζαβλανός, 1987, σ. 76-77). Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται στην περίπτωση που ο δάσκαλος θέλει να αποκτήσουν οι μαθητές κάποια εμπειρία σχετικά με την πορεία και τη διαδικασία της ανακαλυπτικής μεθόδου. Στο μοντέλο αυτό ο δάσκαλος δίνει στους μαθητές τα ίδια μέσα και υλικά και τους ζητάει να πραγματοποιήσουν κάποιες δραστηριότητες. Στο τέλος ο δάσκαλος συγκεντρώνει όλα τα στοιχεία που οι μαθητές βρήκαν και τους βοηθάει να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα και να βγάλουν συμπεράσματα και προτάσεις.

Στη δεύτερη κατηγορία, η διαδικασία διεξάγεται όπως στην πρώτη με τη διαφορά ότι ο διδάσκων δεν δίνει καμιά πληροφορία για τη διαδικασία που θα ακολουθήσουν. Ο ρόλος του δασκάλου είναι ενθαρρυντικός και συμβουλευτικός. Στο τέλος οι ίδιοι οι μαθητές αναφέρουν τα αποτελέσματα και βγάζουν τα συμπεράσματά τους. Τέτοιοι τύποι εργαστηρίου απαιτούν ο μαθητής να έχει πολύ καλή γνώση του αντικειμένου και εμπειρία σχετικά με τις δραστηριότητες της καθοδηγούμενης και ελεύθερης ανακάλυψης. Επιπλέον ο μαθητής πρέπει να έχει κατανοήσει τα βήματα της επιστημονικής μεθόδου και να μπορεί να αξιολογεί τα συμπεράσματά του.

## 2.9 Λύση προβλημάτων που βασίζεται σε εργαστηριακή εργασία

Αυτός ο τύπος εργαστηρίου γίνεται τα τελευταία χρόνια δημοφιλής σε σχέση με τους άλλους τύπους εργαστηριακής διδασκαλίας, όχι μόνο σε μαθήματα γενικής χημείας αλλά και σε άλλες σειρές μαθημάτων (Wright, 1996). Ο δάσκαλος στη μάθηση που βασίζεται στη λύση προβλήματος θέτει ένα πρόβλημα στους μαθητές και στη συνέχεια υιοθετεί έναν ενθαρρυντικό και συμβουλευτικό ρόλο. Δίνει την ευκαιρία για συνεργασία των μαθητών σε ομάδες, τους παρέχει τα αναγκαία υλικά και παρωθεί τους μαθητές προς μια επιτυχή λύση του προβλήματος. Ο δάσκαλος είναι σε μεγάλο βαθμό διευκολυντής παρά ένας άμεσος προμηθευτής της μάθησης του μαθητή.

Σ' αυτό τον τύπο εργαστηρίου στους μαθητές παρουσιάζεται η εκφώνηση ενός προβλήματος στην οποία συχνά λείπει μια κρίσιμη πληροφορία. Οι μαθητές επαναδιατυπώνουν το πρόβλημα με δικά τους λόγια και προσπαθούν να επινοήσουν μια διαδικασία, για να βρουν την πληροφορία που λείπει. Συνήθως ο επαναπροσδιορισμός-επαναδιατύπωση του προβλήματος και η επινοήση μιας κατάλληλης πειραματικής διάταξης δεν είναι εύκολη υπόθεση. Ο δάσκαλος παρεμβαίνει με το να υποδεικνύει αδυναμίες και κρίσιμα σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η συνεισφορά της ομάδας στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης παίζει σημαντικό ρόλο. Τα μέλη της ομάδας ανταλλάσσουν απόψεις και θέτουν σε κρίση ιδέες και προτάσεις για την εύρεση λύσης. Εφ' όσον η φάση αυτή καταλήξει σε μια θετική συγκατάθεση του διδάσκοντα η ομάδα



συνεχίζει με την εκτέλεση του πειράματος το οποίο θα οδηγήσει σε μια λύση. Το πρόβλημα είναι «ανοιχτής εισόδου» (open-entry) που σημαίνει ότι οι μαθητές θέτουν ένα καθαρό στόχο, αλλά υπάρχουν μερικά βιώσιμα μονοπάτια προς την κατεύθυνση της λύσης. Ο Wright έδωσε έμφαση στο ότι τα προβλήματα πρέπει να σχεδιάζονται, ώστε να είναι εννοιολογικώς απλά, έτσι που οι μαθητές να συγκεντρώνονται πάνω στη μεθοδολογία, χωρίς να κατακλύζονται από την πολλαπλότητα και τη συνθετότητα των εννοιών. Οι μαθητές απαιτείται να επινοήσουν ένα μονοπάτι λύσης, να σκεφτούν σχετικά μ' αυτό, τι θα κάνουν, και γιατί επιλέγουν να κάνουν αυτό.

Όπως στις ανακαλυπτικές και εξερευνητικές διδασκαλίες αυτός ο τύπος εργαστηριακής εργασίας είναι χρονοβόρος και έχει μεγάλες απαιτήσεις από το δάσκαλο και το μαθητή απ' ό,τι στην παραδοσιακή διδασκαλία. Όμως μια τέτοια μεθοδολογία καλλιεργεί την ανάπτυξη υψηλής τάξεως γνωστικών δεξιοτήτων μέσα από την πραγματοποίηση και την εκτίμηση των διαδικασιών που παράγονται από το μαθητή. Μια τέτοια προσπάθεια, που είναι μια απαγωγική προσέγγιση, προϋποθέτει οι μαθητές να έχουν κάποια έκθεση σε έννοιες και αρχές που αφορούν το θέμα και να είναι εξοικειωμένοι με κάποιες πειραματικές τεχνικές, πριν επιδοθούν στο πείραμα (Domin 1999).

Οι Johnston και Al-Shuaili (2001), σε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της εργαστηριακής εργασίας, αναφέρουν ότι η μάθηση που βασίζεται στη λύση προβλημάτων χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στην εκπαίδευση φοιτητών ιατρικής στα πανεπιστήμια της Νότιας Αμερικής και τώρα κερδίζει αποδοχή σε κάποια Βρετανικά και άλλα Ευρωπαϊκά πανεπιστήμια. Αυτό απαιτεί να ξανασκεφτούμε ως δάσκαλοι και να επαναπροσδιορίσουμε τους ρόλους μας. Η αλλαγή από το να παρουσιάσεις και να επιδεικνύεις πειράματα στο να διαμεσολαβείς για να δομήσουν οι μαθητές πειραματικές διαδικασίες δεν είναι ένα εύκολο πέρασμα, αλλά αναφορές από έρευνες δείχνουν ότι μια τέτοια προσπάθεια αξίζει τον κόπο. Ενδιαφέρον γι' αυτό το είδος εργαστηριακής εργασίας στη χημεία ήδη αναπτύσσεται στη Βρετανία. Αυτό φυσικά δεν περιορίζεται στο εργαστήριο. Ολόκληρες σειρές μαθημάτων οικοδομούνται γύρω από την αρχή μάθησης που βασίζεται σε λύση προβλημάτων. Ένα πρώιμο παράδειγμα απ' αυτή την εφαρμογή στη χημεία ήταν το "Eaborh Degree" στο Πανεπιστήμιο του Sussex την δεκαετία του '70.

Ενώ αναγνωρίζεται ότι οι καταστάσεις λύσης προβλημάτων είναι πολύπλοκες και μεταβλητές και δεν αντιμετωπίζονται από μια απλή «επιστημονική μέθοδο». Οι διδακτικοί έχουν φτάσει σε μια αποδοχή ότι υπάρχουν ορισμένα βασικά βήματα που συνιστούν τη διαδικασία λύσης προβλημάτων, όπως:

- ✓ Ν' αναγνωρίζεις το πρόβλημα που τίθεται.
- ✓ Να δομείς μια δοκιμαστική υπόθεση.
- ✓ Να σχεδιάζεις ένα πείραμα για να δοκιμάσεις την υπόθεση.
- ✓ Να εκτελείς το πείραμα και να καταγράφεις τα αποτελέσματα με κατάλληλους τρόπους.
- ✓ Να ερμηνεύεις τα αποτελέσματα και να αξιολογείς τα συμπεράσματα με αναφορά στην υπόθεση, για να δοκιμαστούν.

Αυτά τα βήματα δεν προχωρούν με ένα γραμμικό τρόπο αλλά μάλλον με έναν κυκλικό. Η κατάληξη από μια έρευνα δεν είναι το τέλος της διαδικασίας λύσης ενός προβλήματος, αλλά εγείρει ένα νέο πρόβλημα που γίνεται το σημείο έναρξης για μια άλλη έρευνα. Παρ' όλα αυτά, αυτό το μοντέλο αναπαριστά μόνο ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαδικασίας. Η πραγματική κατάσταση λύση-προβλήματος είναι συνήθως περισσότερο πολύπλοκη, με συνδέσεις και αλληλεπιδράσεις κατά μήκος διαφορετικών φάσεων, όπως να συλλέγεις δεδομένα, να ανακαλείς γνώσεις για να προβλέψεις, να αξιολογήσεις το σχεδιασμό και να τον εφαρμόζεις υπό το φως των πληροφοριών που συλλέχτηκαν.

Πολλοί από τους διαθέσιμους εργαστηριακούς οδηγούς είναι σε μεγάλο βαθμό καθοδηγητικοί και δασκαλοκεντρικοί, προσφέροντας μικρή ευκαιρία στους μαθητές / φοιτητές να θέσουν προβλήματα και να σχηματίσουν υποθέσεις ή να σχεδιάσουν πειράματα και να εργαστούν σύμφωνα με το δικό τους σχεδιασμό. Οι μαθητές εφοδιάζονται με λεπτομερείς οδηγίες από το δάσκαλο ή τον εργαστηριακό οδηγό και το μόνο που αυτοί χρειάζονται να κάνουν είναι να ακολουθήσουν τη δοσμένη διαδικασία μηχανικά. Αυτό το είδος εργαστηρίου-συνταγή πρωταρχικά χρησιμοποιείται ως ένα μέσο για την επαλήθευση ή την παρουσίαση αρχών που περιγράφονται στα σχολικά βιβλία. Τέτοιου τύπου εργαστήρια αποτυγχάνουν να παρέχουν εμπειρία και εκπαίδευση στην ανάπτυξη δεξιοτήτων και στην κατανόηση της επιστημονικής διαδικασίας. Επιπλέον έχουν μικρή σχέση με τις απαιτήσεις της πραγματικότητας και αποτυγχάνουν να προωθήσουν στους μαθητές ένα αυθεντικό ενδιαφέρον και κίνητρο για εργαστηριακή εργασία.

## 2.10 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο καλύπτει ένα κενό στο αναλυτικό πρόγραμμα χημείας

Από πολλά χρόνια οι ασχολούμενοι με την εκπαίδευση έχουν επισημάνει ότι οι μαθητές προσέρχονται στην αίθουσα διδασκαλίας με διαφορετικά μαθησιακά στυλ και κίνητρα (Kemra, 1990). Στην αίθουσα διδασκαλίας οι μαθητές διδάσκονται ως εάν να είναι ομοιογενές δείγμα. Οι δάσκαλοι γνωρίζουν ότι κάθε μαθητής τους είναι μια διαφορετική προσωπικότητα, αλλά ζητήματα οργάνωσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας, κυρίως οικονομικής φύσης, τους οδηγούν να χρησιμοποιούν τις ίδιες μεθόδους για όλους.

Σε ποιο βαθμό οι παραπάνω διαφορές λαμβάνονται υπόψη όταν, σχεδιάζονται αναλυτικά προγράμματα ή σειρές μαθημάτων; Μερικά χρόνια μετά την εφαρμογή του προγράμματος Standard Grade Chemistry (Scottish Certification of Education, 1998) στα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη Σκωτία, για μαθητές 14-16 ετών, προέκυψε στους συγγραφείς ότι μια μερική λύση στο παραπάνω πρόβλημα θα ήταν να διασφαλίσουν στο πρόγραμμα διδασκαλίας της χημείας ένα μίγμα μεθοδολογιών, κάποιους συνδυασμούς οι οποίοι θα προσέλκυαν τον κάθε μαθητή.

Η παραδοσιακή διδακτική μεθοδολογία στη Σκωτία ήταν εν μέρει κατάλληλη για διδασκαλία μεγάλου αριθμού μαθητών και εν μέρει για εξατομικευμένη μάθηση. Περιελάμβανε εργαστηριακή εργασία, λύση προβλημάτων με χαρτί και μολύβι, υλικό για συζητήσεις σε θέματα βιομηχανικής χημείας και επίσης θέματα που αφορούσαν τη σχέση της χημείας με την οικονομία. Υπήρχε δε ένα δηλωμένο ενδιαφέρον στο να ενσωματωθεί



λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, αλλά δεν δινόταν καθαρός σχεδιασμός κατά πόσο αυτό θα μπορούσε να γίνει.

Για το σκοπό αυτό οργανώθηκε ένα ερευνητικό πρόγραμμα για να εκτιμήσει κατά πόσο μικρές εργαστηριακές ασκήσεις εξυπηρετούν επαρκώς το φάσμα των μαθησιακών στυλ και κινήτρων των μαθητών. Σχεδιάστηκαν μικρές εργαστηριακές ασκήσεις για να προκαλέσουν τη σκέψη και τη δημιουργικότητα των μαθητών και για να τους δώσουν τη δυνατότητα να λύνουν προβλήματα με κάποιες εργαστηριακές μεθόδους που να επιτρέπουν περισσότερες από μια «σωστές λύσεις».

Οι ψυχολογικοί παράγοντες που αναμένονταν να αλληλεπιδράσουν με τα εργαστηριακά προβλήματα θα μπορούσαν να σχετίζονται με τους διαφορετικούς βαθμούς εξάρτησης / ανεξαρτησίας πεδίου (field dependent / field independent), δηλαδή κατά πόσο μπορούν να κάνουν διαχωρισμό των σχετιζομένων από τις μη σχετιζόμενες πληροφορίες σε μια κατάσταση που αντιμετωπίζουν. Επιπλέον ποια η αλληλεπίδραση των εργαστηριακών έργων με διαφορές των μαθητών σε συγκλίνουσα και αποκλίνουσα σκέψη (convergent and divergent thinking), διαφορετικά μαθησιακά στυλ, διαφορετικά κοινωνικά κίνητρα, που περιλαμβάνουν ανάμεσα σε άλλα περιέργεια, συνέπεια, κ.ά.

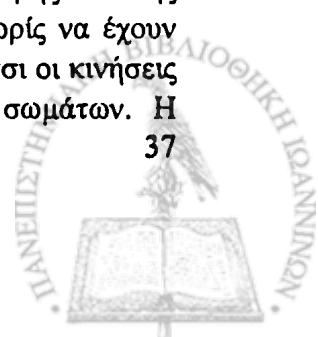
Ένα άτομο, σύμφωνα με την ψυχολογία θεωρείται ότι έχει αποκλίνουσα σκέψη όταν παράγει ασυνήθεις, πολλαπλές ή περίπλοκες απαντήσεις σ' ένα πρόβλημα ή σε ένα τεστ (Lee, κ.ά., 1987, σ. 190).

Θα ήταν λογικό να αναμένεται ότι οι μαθητές οι οποίοι ήταν ανεξάρτητοι πεδίου, αποκλίνοντες και περίεργοι θα ήταν εκείνοι που θα ευχαριστιόνταν τα εργαστηριακά προβλήματα και θα είχαν καλή επίδοση σ' αυτά. Τέτοιες ανοιχτές καταστάσεις θα ευνοούσαν μαθητές που θα μπορούσαν να πάρουν αποφάσεις βασισμένες σε μια ανοιχτή προσέγγιση σ' ένα πρόβλημα, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να ζυγίζουν επιλογές, να έχουν μειωμένη απόσπαση προσοχής και η νοητική τους κατάσταση θα τους επέτρεπε να απολαύσουν μια τέτοια πρόκληση.

## 2.11 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο διαφέρει από τη λύση προβλημάτων με χαρτί και μολύβι

Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια διαφορετική εμπειρία από τη λύση προβλημάτων με χαρτί και μολύβι, με την έννοια ότι η εργαστηριακή κατάσταση εφ' όσον επιτευχθεί «δίνει απάντηση». Στο χαρτί, μπορεί να αραδιάξεις γραμμές συλλογιστικής που ακόμη και αν είναι ασυμβίβαστες με την πραγματικότητα να προκύπτει μια λύση η οποία φαίνεται να είναι λογική. Από την άλλη πλευρά, σε μια εργαστηριακή κατάσταση, οι λάθος γραμμές συλλογιστικής φαίνονται να απαιτούν μια αλλαγή χειρισμού. Αν η συλλογιστική στην εργαστηριακή εργασία προβλέπει μια αποδεκτή λύση και μια μη αποδεκτή εμφανιστεί αντί αυτής, ο λύτης του προβλήματος πρέπει να σκεφτεί ξανά (Johnstone & Al-Naeme, 1995).

Από τη διδακτική μου εμπειρία μπορώ να αναφέρω τη χαρακτηριστική περίπτωση λύσης προβλημάτων με χαρτί και μολύβι στην περίπτωση της ελεύθερης πτώσης σωμάτων από μικρό ύψος από το έδαφος, όπου οι μαθητές τα λύνουν χωρίς να έχουν συνειδητοποιήσει ότι οι σχετικοί τύποι ισχύουν για κινήσεις στο κενό και έτσι οι κινήσεις είναι ανεξάρτητες της μάζας, του σχήματος και του μεγέθους των σωμάτων. Η





αντιμετώπιση αντίστοιχων προβλημάτων στο εργαστήριο θα έθετε το παραπάνω ζήτημα, το οποίο ο μαθητής δεν θα μπορούσε να προσπεράσει, αλλά έπρεπε να βρει τρόπους να το αντιμετωπίσει.

Οι Johnstone & Newman (1977) αναφερόμενοι σε μια εργασία τους, έθεσαν ένα «πρόβλημα τεσσάρων άγνωστων ουσιών» στο μισό μιας τάξης να το λύσει σε χαρτί και στο άλλο μισό στο εργαστήριο. Στη συνέχεια σε ένα άλλο «πρόβλημα τεσσάρων άγνωστων ουσιών» ζητήθηκε να ακολουθήσουν την αντίστροφη διαδικασία. Γενικά οι ομάδες που δούλεψαν στο εργαστήριο είχαν μεγαλύτερη επιτυχία από τις ομάδες που δούλεψαν με χαρτί, αλλά μια σύγκριση που έγινε στις επιδόσεις των ατόμων στις δύο καταστάσεις βρήκε ότι τρεις ομάδες εμφανίστηκαν: αυτοί που είχαν σημαντικά πολύ καλύτερη επίδοση στο χαρτί παρά στο εργαστήριο, αυτοί που είχαν πολύ καλύτερη στο εργαστήριο παρά στο χαρτί και εκείνοι που δεν είχαν σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις τους και στα δύο. Αυτό ήταν μια ένδειξη ότι αυτές οι καταστάσεις λύσης προβλημάτων μπορούν να προσελκύουν διαφορετικά μαθησιακά στυλ μαθητών.

## 2.12 Η ανάγκη για προ-εργαστηριακή προετοιμασία

Ανεξάρτητα από τον τύπο της εργαστηριακής εργασίας κάποιο είδος προ-εργαστηριακής εργασίας είναι ολοφάνερα προφανές. Ένας μαθητής / φοιτητής που εισάγεται σε ένα εργαστήριο χωρίς κάποια προετοιμασία είναι πιθανόν να ξοδέψει ώρες σε άκαρπους χειρισμούς ρουτίνας χωρίς κάποια μάθηση. Καθώς τα εργαστήρια είναι αρκετά δαπανηρά, στο πλαίσιο των ιδιαίτερων χώρων στέγασης, σε αναλώσιμα και σε προσωπικό (Garratt, 1997), αν αυτά δεν χρησιμοποιηθούν για τη δυναμική των δυνατοτήτων τους και ο χρόνος ξοδεύεται αντιπαραγωγικά, αυτό είναι μια συνολική απώλεια πόρων.

Η προ-εργαστηριακή προετοιμασία δεν μπορεί να είναι απλώς «διάβασμα του οδηγού πριν μπει στο εργαστήριο». Πολλοί μαθητές / φοιτητές αυτό φαίνεται να το αγνοούν, επειδή γνωρίζουν ότι μπορούν να διεκπεραιώσουν το εργαστήριο χωρίς να το έχουν προετοιμάσει. Το συμβατικό εργαστήριο μπορεί να μη θέτει σε κίνηση τη σκέψη των μαθητών / φοιτητών, απλώς τους βοηθάει να εξασκούν την ικανότητα να διαβάζουν και να ακολουθούν οδηγίες. Το είδος της προ-εργαστηριακής εργασίας, που πολλοί ερευνητές προτείνουν, πρέπει να είναι αρκετά προσεχτικά σχεδιασμένη. Αυτή μπορεί να πάρει πολλές μορφές, όμως κύριος στόχος θα πρέπει να είναι να προετοιμάσει το μαθητή να είναι ένας ενεργός συμμετέχων στο εργαστήριο. Αυτό το θέμα έχει απασχολήσει ένα αριθμό δημοσιεύσεων από δασκάλους τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (Gamduff & Reid, 2001, Nicholls, 1999), που έχουν γράψει και προτείνουν μια συλλογή προ-εργαστηριακών ασκήσεων.

## 2.13 Αξιολόγηση της εργαστηριακής εργασίας

Αν οι μαθητές / φοιτητές σοβαρά ασχοληθούν με την εργαστηριακή εργασία, αυτοί πρέπει να τύχουν κάποιας ανταμοιβής για την προσπάθειά τους. Η αξιολόγηση της εργαστηριακής εργασίας είναι ένα θέμα για το οποίο δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα.



Οι Buckley και Kempa (1971) έθεσαν τέσσερις κατηγορίες επιθυμητών αποτελεσμάτων που με βάση αυτά μπορούμε να εκτιμήσουμε μια εργασία

- Δεξιότητες κατάλληλων χειρισμών
- Ικανότητα παρατήρησης
- Ικανότητα να ερμηνεύεις παρατηρήσεις και αποτελέσματα
- Ικανότητα να σχεδιάζεις πειράματα

Τα συμβατικά εργαστήρια μπορούν να δώσουν κάποιο είδος μέτρησης της δεύτερης και τρίτης κατηγορίας αλλά αυτά δε σχεδιάστηκαν για την πρώτη και κυρίως για τη δεύτερη κατηγορία. Βέβαια, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων είναι μια ένδειξη των δεξιοτήτων χειρισμού του μαθητή, αλλά είναι πιθανόν ο σπουδαστής να πάρει «καλά αποτελέσματα», ενώ δεν είναι σίγουρο ότι κατέχει καλά το χειρισμό των συσκευών. Είναι επίσης πιθανόν να πάρει ικανοποιητικά αποτελέσματα αρκεί να έχει καλούς φίλους! Για να εκτιμηθούν οι δεξιότητες χειρισμού, ο σπουδαστής θα πρέπει να τους παρουσιάσει σε ένα αξιολογητή. Η παρουσίαση του πειράματος από την ομάδα που το εκτέλεσε στις υπόλοιπες ομάδες, μπροστά στο διδάσκοντα, είναι ένα καλός τρόπος για να αξιολογηθούν οι χειρισμοί.

Ο σχεδιασμός των πειραμάτων από τους μαθητές / φοιτητές είναι όπως αναφέρθηκε μια επιθυμητή δεξιότητα, αλλά πώς αυτή μπορεί να αξιολογηθεί; Στις περισσότερες περιπτώσεις φαίνεται να υπάρχει ένα κατ' αρχήν χάσμα ανάμεσα στο σχεδιασμό ενός πειράματος από τον διδάσκοντα και το μαθητή. Ο μαθητής ζητάει συνήθως σύνθετες και πολύπλοκες συσκευές και νομίζει ότι ο σχεδιασμός είναι θέμα σύνδεσης πολλών συσκευών. Απλές συσκευές και λιτός σχεδιασμός, στο πλαίσιο του εξοπλισμού που διαθέτει ένα κοινό εργαστήριο, πρέπει να είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του καλού σχεδιασμού, κάτι που δεν είναι εύκολο, και εδώ η διαμεσολάβηση του δασκάλου είναι καθοριστική.

#### 2.14 Το μοντέλο της πειραματικής μάθησης των Kolb και Fry

Οι Kolb και Fry (1975) έχουν προτείνει ένα ιδιαίτερο μοντέλο μάθησης, «το μοντέλο της πειραματικής μάθησης». Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η μάθηση περιγράφεται ως μια κυκλική διαδικασία τεσσάρων σταδίων (δεξιόστροφη διαδικασία στο διάγραμμα 2.2) που το καθένα απαιτεί και μια ικανότητα.

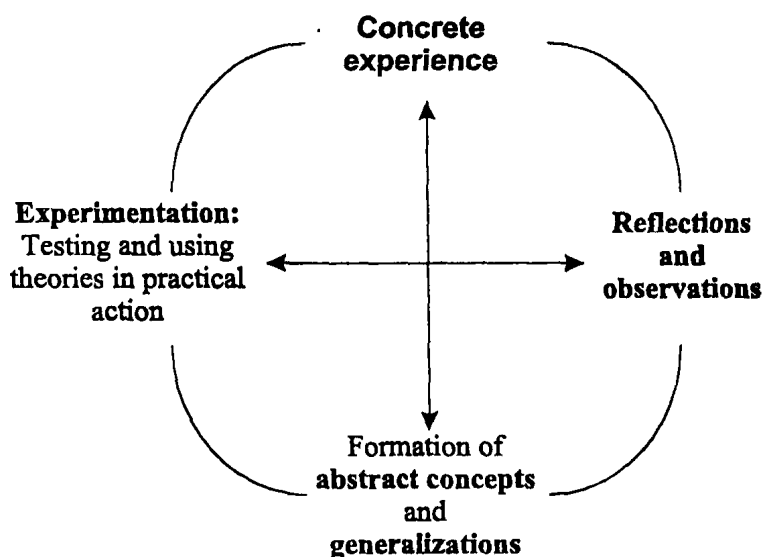
Στο πρώτο στάδιο ο «ιδανικός μαθητής» πρέπει να είναι ικανός να εμπλέκει τον εαυτό του πλήρως, ανοιχτά και χωρίς προκατάληψη σε νέες εμπειρίες (συγκεκριμένη εμπειρία). Στο δεύτερο στάδιο πρέπει να είναι ικανός να παρατηρεί και να διαλογίζεται αυτές τις εμπειρίες από πολλές πλευρές (παρατήρηση και διαλογισμός). Στο τρίτο πρέπει να είναι ικανός να ανακαλεί και να συσχετίζει έννοιες που ενοποιούν αυτές τις παρατηρήσεις στο πλαίσιο θεμελιωμένων θεωριών (σχηματισμός αφηρημένων εννοιών και γενικεύσεις) και τέλος στο τέταρτο στάδιο να είναι ικανός να χρησιμοποιεί αυτές τις θεωρίες για να παίρνει αποφάσεις και να λύνει προβλήματα (πειραματισμός). Έτσι ο μαθητής χρειάζεται να έχει αναπτύξει και τις τέσσερις ικανότητες, αλλά δεν μπορεί να τις έχει στον ίδιο βαθμό.



Τα τέσσερα στάδια, όπως φαίνονται στο διάγραμμα είναι οργανωμένα σε δύο διαστάσεις (κατακόρυφα και οριζόντια). Η συγκεκριμένη εμπειρία σε σχέση με την ικανότητα σχηματισμού αφηρημένων εννοιών στον κατακόρυφο άξονα και ο διαλογισμός σε σχέση με τον πειραματισμό στον οριζόντιο άξονα. Αυτές οι δύο ανεξάρτητες κλίμακες μαθησιακού στυλ, συγκρίνονται με την ικανότητα ανεξαρτησίας / εξάρτησης πεδίου (field-dependent / independent) (Witkin, κ.ά. 1971, Bostock, 2002) και περιγράφονται ως «μια καταγραφή του μαθησιακού στυλ».

Με τον όρο, άτομο ανεξάρτητο πεδίου η ψυχολογία ορίζει το άτομο που επηρεάζεται λιγότερο σε σχέση με το άτομο εξαρτημένο πεδίου, από περιφερειακά χαρακτηριστικά της δομής μιας κατάστασης. Εξετάζει τις συνιστώσες μιας κατάστασης ξεχωριστά από το οργανωμένο περιβάλλον της και εστιάζεται στις ιδιαίτερες συνιστώσες μιας κατάστασης, πράγμα που του επιτρέπει να είναι ικανός λύτης προβλημάτων.

Τα άτομα όταν τους ζητείται να περιγράψουν τα δικά τους μαθησιακά στυλ χρησιμοποιούν λέξεις όπως «επιδεκτικός» και «αντιληπτικός» σε αντίθεση με λέξεις όπως «ορθολογικός» και «αναλυτικός». Αυτό μπορεί να τους τοποθετεί σε οποιαδήποτε θέση στην κατακόρυφη κλίμακα μεταξύ συγκεκριμένης εμπειρίας και αφηρημένης εννοιολόγησης. Παρόμοιες αναφορές με άλλες λέξεις δίνουν μια θέση στην οριζόντια κλίμακα μεταξύ πειραματισμού και διαλογισμού. Υπάρχει με τον τρόπο αυτό ένα πλέγμα τεσσάρων τύπων μαθησιακών στυλ των μαθητών και όλοι οι συνδυασμοί μεταξύ τους.



**Διάγραμμα 2.2** Ο κύκλος της πειραματικής μάθησης των Kolb και Fry (1975). Από το "Theories of Group Processes", Wiley, London.

Έχουν ερευνηθεί συνδέσεις μαθησιακών στυλ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, όπως επαγγελματικές επιλογές, κοινωνικοποίηση και προτίμηση σε διδακτικά στυλ. Επιπλέον, διαφορετικά μαθησιακά στυλ είναι κατάλληλα σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

## 2.15 Αντιλήψεις των δασκάλων σε σχέση με την επιλογή του τύπου πειραματικής εργασίας

Ένας μεγάλος αριθμός άρθρων έχει δημοσιευτεί σε σχέση με τις μεθόδους και τα οφέλη των ανακαλυπτικών πειραμάτων (inquiry experiments) (Richardson & Renner, 1970, Spencer, 1999, Pushkin, 1997, Domin, 1999). Παρ'όλα αυτά, έχουμε μια περιορισμένη επίδραση και υιοθέτηση αυτής της πειραματικής προσέγγισης. Το 1997 ο Abraham και οι συνεργάτες του ανέφεραν ότι λιγότερο από το 10% των μαθημάτων γενικής χημείας που γίνονταν σε πανεπιστήμια και κολέγια στις ΗΠΑ προσέφεραν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι που να βασίζονται σε μεθόδους ανακαλυπτικές (Abraham, et al., 1997).

Οι Montes και Rockley (2002) είχαν διεξάγει στις ΗΠΑ επί τέσσερα χρόνια θερινά σεμινάρια επιμόρφωσης σε δασκάλους που διδάσκουν φυσικές επιστήμες στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και ενδιαφέρονταν να μάθουν σχετικά με πειραματικές δραστηριότητες που χρησιμοποιούν ανακαλυπτικές μεθόδους. Από τη διερεύνηση των δασκάλων που συμμετείχαν σ' αυτά τα σεμινάρια-εργαστήρια, βρήκαν ότι λιγότερο από το 15% των δασκάλων, στις τάξεις 8-12 (έκτη δημοτικού έως και α' λυκείου, στις ΗΠΑ το δημοτικό έχει 8 τάξεις) σε κάποιο βαθμό είχαν χρησιμοποιήσει ή προσπάθησαν να χρησιμοποιήσουν ανακαλυπτικά πειράματα με τους μαθητές τους και μόνο το 5% των δασκάλων ισχυρίστηκαν ότι χρησιμοποίησαν εργαστήρια που βασίζονται στην ανακαλυπτικότητα περισσότερο από μια φορά το εξάμηνο. Οι δάσκαλοι που συμμετείχαν στα εργαστήρια-σεμινάρια ανέφεραν ότι η πλειονότητα των πειραμάτων στις τάξεις τους ακολουθούσε τα πειράματα επαλήθευσης (verification experiments). Πειράματα που βασίζονται σε μια ανακαλυπτική προσέγγιση παρά τα αναφερθέντα πλεονεκτήματά τους σπάνια χρησιμοποιούνται στα πανεπιστήμια και στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Ο Lawson και οι συνάδελφοί του αναγνώρισαν αυτό το πρόβλημα και κατέληξαν να θέσουν το ερώτημα: «γιατί είναι τόσο δύσκολο και χρειάζεται τόσο χρόνο οι δάσκαλοι να αντικαταστήσουν τα πειράματα επαλήθευσης με τα ιδιαίτερης σημασίας για τους μαθητές ή τους φοιτητές ανακαλυπτικά πειράματα. Αν πρόκειται να απασχολήσουμε τους μαθητές με ανακαλυπτικά πειράματα, είναι ανάγκη κατ' αρχήν να κατανοήσουμε τους λόγους που τα πειράματα επαλήθευσης έχουν κυριαρχήσει» (Lawson et al., 1999).

Οι Montes και Rockley (2002) συζήτησαν με τους δασκάλους, που συμμετείχαν σε επιμόρφωση, το ρόλο του εργαστηρίου στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Στη συνέχεια η συζήτηση εστιάστηκε στο να δοθεί μια εξήγηση γιατί τα πειράματα επαλήθευσης παραμένουν επικρατούντα στο επίπεδο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και παραπέρα η συζήτηση στράφηκε στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τύπων των εργαστηρίων με τα οποία αυτοί πρόσφατα ασχολήθηκαν στις τάξεις τους. Στο τελευταίο μέρος της συζήτησης ζητήθηκε οι δάσκαλοι να καταγράψουν τα πλεονεκτήματα που οι δάσκαλοι συσχετίζουν με τα πειράματα επαλήθευσης. Η καταγραφή αυτή αποτέλεσε ένα κατάλογο 17 σημείων με τα οποία δικαιολογούσαν τη χρήση πειραμάτων επαλήθευσης στις τάξεις τους. Ο κατάλογος με τα πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης παρατίθεται (Πίνακας 2.2).



Στη συνέχεια, ζητήθηκε από τους δασκάλους να καταγράψουν τα μειονεκτήματα που αυτοί συνδέουν με τα πειράματα επαλήθευσης. Αρχικά οι δάσκαλοι ένοιωθαν ικανοποιημένοι, γιατί φαίνονταν τα πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης να είναι περισσότερα από τα μειονεκτήματα. Καθώς όμως οι δάσκαλοι επεξεργάζονταν τους δύο καταλόγους, γρήγορα αντιλήφθηκαν ότι η πλειονότητα των πλεονεκτημάτων των πειραμάτων επαλήθευσης σχετίζονταν πρωταρχικώς με «οφέλη» του δασκάλου παρά του μαθητή. Ενώ στον πίνακα των μειονεκτημάτων αυτά επηρεάζουν μόνο το μαθητή (Πίνακας 2.3). Αυτό φαίνεται από τις επιλογές που έκαναν οι δάσκαλοι στη στήλη «μαθητής» και στη στήλη «δάσκαλος» σε κάθε πίνακα.

Προς το τέλος του σεμιναρίου έγινε φανερό στους δασκάλους ότι τα ανακαλυπτικά εργαστήρια μπορούν να παρέχουν πολλά από τα οφέλη που σχετίζονται με τους δασκάλους, όπως στην περίπτωση των πειραμάτων επαλήθευσης, ενώ επίσης παρέχουν πλεονεκτήματα που δεν είναι παρόντα για τους μαθητές στην προσέγγιση των πειραμάτων επαλήθευσης.

**Πίνακας 2. 2** Κατάλογος με τα πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, όπως καταγράφηκαν από τους διδάσκοντες σε σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Montes και Rockley, 2002).

	Χαρακτηριστικό	Βασικός επιδρά στο	
		Μαθητή	Δάσκαλο
1	Εύκολα από πλευράς χρόνου		✓
2	Εύκολα σε προετοιμασία		✓
3	Εύκολα σε βαθμολόγηση		✓
4	Εύκολα για τάξεις με πολλούς μαθητές		✓
5	Οι μαθητές μαθαίνουν τεχνικές	✓	
6	Οι μαθητές μαθαίνουν να ακολουθούν οδηγίες	✓	
7	Οι μαθητές μαθαίνουν να χρησιμοποιούν εργαστηριακό εξοπλισμό	✓	
8	Σχετίζονται με τη θεωρία που διδάχθηκε	✓	
9	Είναι εύκολα σε επίβλεψη		✓
10	Είναι δομημένα		✓
11	Στο εργαστήριο επικρατεί ησυχία		✓
12	Είναι λιγότερο αμφιλεγόμενα		✓
13	Όλοι κάνουν τα ίδια		✓
14	Υπάρχουν υψηλές πιθανότητες επιτυχίας		✓
15	Ο διδάσκων γνωρίζει το αποτέλεσμα		✓
16	Βοηθούν τους μαθητές που αντιμετωπίζουν προβλήματα		✓
17	Ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των μαθητών		✓



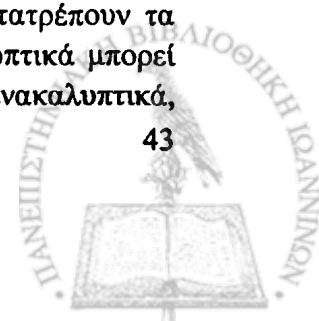
**Πίνακας 2.3** Κατάλογος με τα μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, όπως καταγράφηκαν από τους διδάσκοντες σε σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Montes και Rockley, 2002).

Χαρακτηριστικό	Βασικώς επιδρά στο	
	Μαθητή	Δάσκαλο
Είναι βαρετά	✓	
Δεν είναι ευπροσάρμοστα	✓	
Δεν είναι εξατομικευμένα	✓	
Οι μαθητές είναι νοητικώς παθητικοί	✓	
Οι μαθητές κάνουν μόνο ότι είναι αναγκαίο	✓	
Δεν αναπτύσσουν την ανακαλυπτικότητα	✓	
Όλες οι απόψεις είναι ίδιες	✓	
Είναι εύκολα στο να δίνουν δεδομένα	✓	
Είναι εύκολα στην αντιγραφή (μεταξύ των μαθητών)	✓	
Δεν απαιτούν δημιουργικότητα	✓	
Δεν διδάσκουν επιδεξιότητες λύσης προβλημάτων	✓	
Δεν εισάγουν τους μαθητές σε διαδικασίες διερεύνησης	✓	
Οι μαθητές δεν μαθαίνουν από μη αναμενόμενα αποτελέσματα	✓	

### 2.16 Πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης

Ένας από τους πρωταρχικούς λόγους που εξηγούν, γιατί η προσέγγιση των πειραμάτων επαλήθευσης έχει επικρατήσει στην εκπαίδευση, σχετίζεται με την αντίληψη ευκολίας αυτού του τύπου πειραμάτων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που με συνέπεια επικαλύπτονται στις καταγραφές των δασκάλων δείχνουν ότι έχουν να κάνουν με την ευκολία των πειραμάτων επαλήθευσης. Οι δάσκαλοι εκτιμούν το γεγονός ότι μπορούν να προσαρμόσουν κάθε πείραμα σ' ένα ορισμένο χρονικό διάστημα στο πλαίσιο καταμερισμού του διδακτικού χρόνου. Επιπλέον οι δάσκαλοι εκτιμούν την προσαρμοστικότητα των πειραμάτων. Αυτό σημαίνει ότι τα πειράματα επαλήθευσης εύκολα ρυθμίζονται για να προσαρμοστούν σε μικρές ή μεγάλες τάξεις. Ο Lagowski (1979) υποστηρίζει ότι ο τύπος των πειραμάτων επαλήθευσης σ' ένα εισαγωγικό επίπεδο χημείας είχε αναπτυχθεί για τους ίδιους λόγους, δηλαδή για να ελαχιστοποιήσει τις απαιτήσεις σε χρόνο, χώρο, εξοπλισμό και προσωπικό. Μια τέτοια επιλογή στηρίζεται σε οικονομικούς κυρίως υπολογισμούς παρά σε παιδαγωγικούς και διδακτικούς λόγους.

Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, τα περισσότερα σχολεία έχουν 40-45 λεπτά για μια διδακτική ώρα. Έτσι είναι σημαντικό ότι ένα πείραμα προσαρμόζεται σ' αυτό το χρονικό διάστημα και μπορεί να ολοκληρωθεί σ' αυτό. Εφ' όσον αυτά τα πειράματα είναι οικεία στους δασκάλους, αυτά απαιτούν για να γίνουν μικρό σχεδιασμό και προγραμματισμό. Ο παράγοντας του περιορισμένου χρόνου των δασκάλων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ανάπτυξη μιας νέας ομάδας πειραμάτων που να μετατρέπουν τα παραδοσιακά πειράματα επαλήθευσης σε πειράματα διερεύνησης-ανακαλυπτικά μπορεί να δώσει μια ώθηση στη μετατόπιση των εργαστηρίων επαλήθευσης σε ανακαλυπτικά,



στο χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και όχι μόνο σ' αυτή. Έτσι, μετά τον αρχικό χρόνο επένδυσης στο να αλλάξουν τα πειράματα επαλήθευσης σε ανακαλυπτικά, τα νέα πειράματα θα παρέχουν πολλά από τα ίδια πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την ευκολία της προετοιμασίας και διαχείρισής τους από τους δασκάλους (Olney, 1997, Plumsky, 1996, Allen et al., 1986).

Οι Montes και Rockley (2002) σημειώνουν ότι η ευκολία στη βαθμολόγηση που αναφέρουν ως πλεονέκτημα για τα πειράματα επαλήθευσης οι διδάσκοντες προέρχεται από την προσδοκία ότι οι σπουδαστές πρέπει να καταλήξουν σε μια ορισμένη πειραματική τιμή ή να αναπαράγουν μια δοσμένη μαθηματική σχέση. Σε πολλά τέτοια πειράματα η βαθμολόγησή τους βασίζεται πάνω στο πόσο καλά ένας μαθητής εκτελεί ένα πείραμα, αφού αυτά δεν σχεδιάστηκαν για να εκτιμήσουν άλλους ισοδύναμους πειραματικούς στόχους. Τέτοιοι στόχοι θα μπορούσαν να συμπεριλαμβάνουν τι κερδίζουν οι μαθητές από μη αναμενόμενες τιμές μετρήσεων, αν εκτίμησαν τους στόχους και τους ευρύτερους σκοπούς του πειράματος σε σχέση μ' ένα μεγαλύτερο σχήμα εργαστηριακής διερεύνησης.

Μια δεύτερη ομάδα πλεονεκτημάτων των πειραμάτων επαλήθευσης που καταγράφηκε από τους δασκάλους σχετίζεται μ' ένα μικρό αριθμό στόχων προσλαμβανόμενης μάθησης από την εργαστηριακή εμπειρία. Οι δάσκαλοι ισχυρίζονται ότι τα πειράματα επαλήθευσης μαθαίνουν τους μαθητές ν' ακολουθούν οδηγίες, πειραματικές τεχνικές, να αποκτήσουν επιδεξιότητα στη χρήση οργάνων και συσκευών και να ενισχύσουν τις έννοιες που διδάχτηκαν στην αίθουσα διδασκαλίας.

Μπορεί να είναι επιθυμητό οι μαθητές να γνωρίζουν πως να ακολουθούν οδηγίες αλλά αυτό δεν είναι ένας σημαντικός στόχος των εργαστηρίων, όπως αυτοί αναφέρονται στα standards του εθνικού προγράμματος για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες των ΗΠΑ (National Science Education Standards, National Research Council, Washington DC, 1996). Επιπλέον είναι αμφίβολο κατά πόσο τα πειράματα επαλήθευσης πράγματι διδάσκουν τους μαθητές / φοιτητές να ακολουθούν οδηγίες. Είναι πιθανό οι δάσκαλοι να συγχέουν την περίπτωση της μεθοδικότητας στην έρευνα με την ικανότητα να ακολουθεί κάποιος οδηγίες. Είναι βέβαιο ότι με το να διδάσκεις τους μαθητές να ακολουθούν οδηγίες δεν τους διδάσκεις πως να κάνουν επιστήμη.

Ο ισχυρισμός των δασκάλων ότι τα πειράματα επαλήθευσης καθιστούν τους μαθητές ικανούς να μάθουν εργαστηριακές τεχνικές και κατάλληλη χρήση οργάνων και συσκευών, πρέπει να κατανοηθεί μέσα στο γενικότερο πλαίσιο που αυτοί εννοούν τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου εργαστηρίου. Οι δάσκαλοι τονίζουν ότι στα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, σε πολλές τάξεις, διδάσκονται φυσικές επιστήμες χωρίς μια εργαστηριακή συνιστώσα. Αυτοί αντιλαμβάνονται ότι η απόκτηση εργαστηριακών τεχνικών και η σωστή χρήση του εξοπλισμού είναι πλεονέκτημα μόνο σε σχέση με μια θεωρητική μάθηση της επιστήμης. Αν δεχτούμε ότι τα πειράματα επαλήθευσης παρέχουν τα προαναφερθέντα οφέλη στους μαθητές, τότε και οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση που επιτρέπει στους μαθητές να εργάζονται με εργαστηριακό εξοπλισμό θα μπορούσε επίσης να παρέχει αυτά τα οφέλη. Μελέτες που αναφέρονται σε ανακαλυπτικά πειράματα δείχνουν ότι όχι μόνο ενισχύουν τις δεξιότητες που σχετίζονται με εργαστηριακό



εξοπλισμό, αλλά μπορούν να οδηγήσουν προς μια καλύτερη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που σχετίζονται με τη χρήση μιας ιδιαίτερης τεχνικής ή ένα μέρος του εξοπλισμού (Montes και Rockley, 2002).

Μια υπερβολική έμφαση πάνω σε τεχνικές και χειρισμό εξοπλισμού μπορεί σε μεγάλο βαθμό να είναι υπεύθυνη για την αντίληψη που επικρατεί σε πολλούς δασκάλους ότι η επιστήμη στο εργαστήριο μπορεί να διδάσκεται μόνο με συσκευές που έχουν μεγάλο κόστος και γενικά με όργανα που δίνουν μεγάλη ακρίβεια μετρήσεων. Αυτή η αντίληψη παραπέρα περιορίζει τα πειράματα που οι δάσκαλοι είναι πρόθυμοι να εφαρμόσουν στα σχολεία, εφόσον συχνά δουλεύουν κάτω από ένα περιορισμένο προϋπολογισμό για εξοπλισμό και προμήθειες.

Οι δάσκαλοι συχνά ισχυρίζονται ότι μια στενή σχέση μεταξύ της διδασκαλίας στην αίθουσα και ενός σχετικού πειράματος στο εργαστήριο είναι ένα πλεονέκτημα της προσέγγισης επαλήθευσης. Με τον τρόπο αυτό ο δάσκαλος εξασφαλίζει ότι η εργαστηριακή εμπειρία συμπληρώνει τη διδασκαλία-διάλεξη. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι ο τύπος της εργαστηριακής προσέγγισης καθ' εαυτής που παρέχει αυτό το πλεονέκτημα. Μάλλον, αυτό διευκολύνει το δάσκαλο που χρειάζεται χρόνο να αντικαταστήσει μια εργαστηριακή προσέγγιση επαλήθευσης με μια ανακαλυπτική. Αν προσέξουμε καλά τους στόχους μάθησης που καταγράφονται από τους δασκάλους ως πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια ένδειξη της διαφοράς μεταξύ των δύο τύπων εργαστηριακών προσεγγίσεων, εφόσον οι ίδιοι στόχοι μπορούν να εξυπηρετηθούν εξίσου καλά και με πειράματα που βασίζονται στην ανακαλυπτικότητα.

Μια τρίτη ομάδα πλεονεκτημάτων που καθορίζουν οι δάσκαλοι για πειράματα επαλήθευσης σχετίζεται με μια κατάσταση που επικρατεί στο εργαστήριο, όταν αυτά εκτελούνται. Τα πειράματα επαλήθευσης δηλώνουν οι δάσκαλοι ότι είναι εύκολο να τα επιβλέψεις, επειδή είναι δομημένα και στο εργαστήριο επικρατεί ησυχία. Από την άλλη οι δάσκαλοι σημειώνουν ότι αυτή η δομή των πειραμάτων μειονεκτεί. Η δομή που οι δάσκαλοι αναφέρουν σχετίζεται με τις καθορισμένες οδηγίες που παρέχονται στους μαθητές. Αυτή η μείωση του αριθμού δραστηριοτήτων που διεξάγονται από τους μαθητές σε κάθε εργαστηριακή ώρα ελαττώνει ένα μεγάλο μέρος τους χάνους στο εργαστήριο. Ως αποτέλεσμα, ο δάσκαλος είναι ικανός να διατηρεί περισσότερο έλεγχο στο εργαστήριο.

Ενώ οι δάσκαλοι εκτιμούν την ελεγχόμενη ατμόσφαιρα που συνδέεται με ένα ήσυχο εργαστήριο, το γεγονός ότι τα πειράματα επαλήθευσης είναι «ήσυχα» είναι μια ένδειξη ότι πολύ μικρή συζήτηση λαμβάνει χώρα μεταξύ των μαθητών. Σε ένα τέτοιο μαθησιακό κλίμα θα είναι πολύ δύσκολο να λάβει χώρα συνεργατική μάθηση. Σε ένα παρακινητικό μαθησιακό περιβάλλον οι σπουδαστές συζητούν και διαλέγονται σε σχέση με τις διαδικασίες και τα αποτελέσματά τους με τους άλλους. Αυτό πράγματι οδηγεί σε λίγο-πολύ θόρυβο κατά τη διάρκεια ενός πειράματος. Εντούτοις, όταν οι μαθητές με παρρησία πληροφορούν και υπερασπίζονται τις ιδέες τους με τους συμμαθητές τους, κερδίζουν εμπιστοσύνη στις ικανότητές τους και είναι συνήθως περισσότερο άνετοι στο να συζητούν και να εξηγούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους ενώπιον της τάξης.





Οι δάσκαλοι επίσης σημείωσαν ως πλεονέκτημα ότι όλοι οι μαθητές ακολουθούν την ίδια διαδικασία. Εφόσον οι δάσκαλοι γνωρίζουν ποιες διαδικασίες θα ακολουθηθούν και σε τι συμπέρασμα θα καταλήξουν, είναι ευκολότερο γι' αυτούς να βοηθήσουν μαθητές που αντιμετωπίζουν δυσκολίες. Στο πλαίσιο των πειραμάτων επαλήθευσης αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι δάσκαλοι μπορούν πιο εύκολα να δώσουν οδηγίες στους μαθητές που θα τους επιτρέψουν να πάνε προς τη «σωστή» κατεύθυνση. Αυτό είναι σε αντίθεση με έναν από τους κύριους στόχους των πειραμάτων, να καταστήσουν ικανούς τους μαθητές να διερευνούν και να λύνουν προβλήματα. Για τα πειράματα στα οποία υπάρχει μια σωστή απάντηση αυτό μπορεί να φαίνεται αναγκαίο για να βοηθήσει τους μαθητές, ώστε αυτοί να μην αποθαρρύνονται. Στα πειράματα διερεύνησης, η όποια καθοδήγηση παρέχεται από το δάσκαλο μπορεί να τοποθετείται ως ερώτηση που προκαλεί το μαθητή να σκεφτεί σχετικά με τις διαδικασίες και τα αποτελέσματα. Σε αντίθεση με τα πειράματα επαλήθευσης, στα ανακαλυπτικά πειράματα η βοήθεια συχνά θα είναι του τύπου επαναδιατύπωσης των κατευθύνσεων ή των διαδικασιών.

Ένα τελευταίο σημείο που καταγράφηκε ως πλεονέκτημα από τους δασκάλους είναι το γεγονός ότι τα πειράματα επαλήθευσης δεν είναι αμφιλεγόμενα. Υπάρχουν δύο τουλάχιστον πιθανοί λόγοι που οι δάσκαλοι αντιλαμβάνονται τα πειράματα επαλήθευσης να μην είναι αμφιλεγόμενα. Ο πρώτος λόγος είναι ότι οι περισσότεροι δάσκαλοι σπούδασαν χημεία ή μια άλλη φυσική επιστήμη εμπλεκόμενοι με πειράματα επαλήθευσης. Η προσέγγιση με πειράματα επαλήθευσης εξυπηρετεί τα πρωταρχικά μοντέλα τους για τη διδασκαλία της χημείας στο εργαστήριο. Μια μελέτη αναφέρει ότι πολλοί δάσκαλοι διδάσκουν χημεία, ενώ έχουν σπουδάσει διαφορετικά αντικείμενα ή έχουν αποκτήσει εναλλακτικά πτυχία και με αυτό το μοντέλο των πειραμάτων είναι επίσης εξοικειωμένοι (Duggan-Haas, 2000). Στη δική μας μέση εκπαίδευση τη χημεία διδάσκουν εκτός από τους χημικούς και φυσικοί, βιολόγοι, γεωλόγοι και φυσιογνώστες. Εφόσον η πλειονότητα των δασκάλων διδάχθηκε επιστήμη χρησιμοποιώντας την προσέγγιση επαλήθευσης, αυτή την προσέγγιση προτιμούν να χρησιμοποιούν και στις τάξεις τους.

Ένας δεύτερος λόγος που τα πειράματα επαλήθευσης φαίνονται να μην είναι αμφιλεγόμενα είναι ότι οι περισσότεροι διευθυντές και γονείς είναι εξοικειωμένοι μ' αυτή την προσέγγιση και συχνά βλέπουν αυτή να είναι στο «σωστό δρόμο», για να διδάξουν εργαστήριο σε μια τάξη. Πολύ συχνά, κάθε αλλαγή που οι δάσκαλοι επιθυμούν να κάνουν πρέπει να υποστηρίζεται τουλάχιστον από μια απ' αυτές τις ομάδες. Οι δάσκαλοι, για να μετατοπιστούν από τα πειράματα επαλήθευσης στα πειράματα ανακάλυψης, πρέπει να εφοδιαστούν με μια εμπειριστατωμένη επιμόρφωση και να έχουν πειστεί για τα πλεονεκτήματα, να έχουν ισχυρά επιχειρήματα για να τα υπερασπιστούν και να υπάρχει ένα πλαίσιο που να ορίζει και να ενθαρρύνει την εφαρμογή τους. Η προσωπική μου εμπειρία ενισχύει την παραπάνω άποψη. Όταν στην α' και β' λυκείου ένας αριθμός σχολείων εφάρμοσε τα σχολικά έτη 1991-92 έως 1993-94 πειραματικά το πρόγραμμα φυσικής PSSC-Physics (Physical Science Study Committee) ένα μέρος των γονέων αντέδρασε αρνητικά διότι πίστευε ότι το πρόγραμμα δεν ήταν κατάλληλο για να ανταποκριθούν οι μαθητές στα θέματα φυσικής που θα αντιμετώπιζαν στο τέλος της γ'



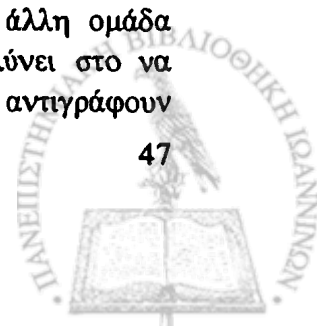
λυκείου για την εισαγωγή τους στις ανώτερες και ανώτατες σχολές. Επίσης οι διευθυντές των σχολείων εξέφραζαν φόβους ότι μπορεί οι μαθητές των σχολείων τους να μην είχαν καλά ποσοστά επιτυχίας στις εισαγωγικές εξετάσεις στις ανώτερες και ανώτατες σχολές. Οι διδάσκοντες δεν είχαν μόνο την επιβάρυνση εφαρμογής ενός νέου και απαιτητικού αναλυτικού προγράμματος φυσικής αλλά και την αντίδραση των γονέων και το σκεπτικισμό των διευθυντών τους.

### 2.17 Μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης, ένα από τα πρώτα που καταγράφηκαν από τους δασκάλους στην έρευνα που διεξήγαγαν οι Montes & Rockley (2002) είναι ότι τα πειράματα αυτά είναι βαρετά και μονότονα. Αυτό επίσης είναι και το σχόλιο που έγινε με μεγάλη συχνότητα από φοιτητές κολεγίου-σε επίπεδο γενικής χημείας, όταν ερωτήθηκαν τι αυτοί αντιπαθούν σε σχέση με τα πειράματα επαλήθευσης. Ένα μειονέκτημα που καταγράφηκε σε μικρότερο βαθμό από τους δασκάλους βοηθάει να εξηγηθεί γιατί τα πειράματα επαλήθευσης θεωρούνται μονότονα. Οι δάσκαλοι επίσης καταγράφουν ότι οι μαθητές είναι συχνά νοητικώς παθητικοί, κάνουν μόνο ό,τι είναι απαραίτητο και δεν γεύονται την εμπειρία της ανακάλυψης. Βέβαια, αυτή η επισήμανση δεν είναι προς έκπληξη, αφού οι μαθητές ακολουθούν μια συνταγή οδηγιών, και εκτελούν τις απαιτούμενες αναλύσεις με σκοπό να καταλήξουν στο αναμενόμενο αποτέλεσμα. Αν οι μαθητές αναμένεται να σκεφτούν σχετικά με το πείραμα, αυτό μπορεί να συμβεί μόνο με ερωτήσεις, πριν την έναρξη του εργαστηρίου ή στην έκθεσή τους μετά την εκτέλεση του εργαστηρίου. Η παρακίνηση από τέτοιου τύπου εργαστήρια μπορεί να προέλθει μόνο από «ιδιαιτέρες εντυπώσεις», όπως ήχοι ή χρώματα παρά από τις ανακαλύψεις που αυτοί κάνουν.

Μια δεύτερη ομάδα των μειονεκτημάτων των πειραμάτων επαλήθευσης που καταγράφηκε από τους δασκάλους περιλαμβάνει την άκαμπτη δομή των πειραμάτων επαλήθευσης. Τα πειράματα επαλήθευσης δεν είναι εξατομικευμένα και όλοι οι μαθητές τα βλέπουν σχεδόν από την ίδια οπτική γωνία και αναμένεται να αποκτήσουν παρόμοια αποτελέσματα. Ενώ οι δάσκαλοι εκτιμούν αυτή τη δομή για την ευκολία στην εφαρμογή της, αυτοί επίσης μας πληροφορούν ότι ορισμένες πλευρές απ'αυτή μπορούν να εμποδίζουν τη μάθηση των μαθητών. Οι δάσκαλοι αναγνωρίζουν ότι τα πειράματα επαλήθευσης είναι χρήσιμα, για να επιβεβαιώνουν την αναπαραγωγίσιμη φύση της επιστήμης, ταυτόχρονα όμως τα ίδια πειράματα δίνουν την εντύπωση ότι η επιστήμη είναι μια συλλογή γεγονότων. Η ακαμψία στον τρόπο προσέγγισης των πειραμάτων επαλήθευσης μετατοπίζει το εργαστήριο από χώρο έρευνας και ανακάλυψης σε χώρο απόκτησης δεξιοτήτων και μάθησης τεχνικών για τη χρήση γυάλινων συσκευών. Αν ένας σπουδαστής δεν αποκτήσει τα επιθυμητά αποτελέσματα, αυτό δίνει την εντύπωση ότι υπάρχει μια ανεπάρκεια σε σχέση μ'αυτόν. Αυτό παραπέρα ενθαρρύνει την εντύπωση ότι υπάρχει μόνο ένας τρόπος για να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα.

Η άκαμπτη δομή των πειραμάτων επαλήθευσης οδηγεί σε μια άλλη ομάδα μειονεκτημάτων που καταγράφηκε από τους δασκάλους. Αυτή διευκολύνει στο να κατασκευάζουν ή να «μαγειρεύουν» οι μαθητές μετρήσεις και επίσης να αντιγράφουν



αποτελέσματα από άλλους μαθητές. Όταν η έμφαση τοποθετείται στην τελική πειραματική τιμή ή στο να «συμπληρώσουν στο πλαίσιο την απάντηση» οι μαθητές μπορούν εύκολα να την υπολογίσουν, εργαζόμενοι από το τέλος προς την αρχή, με το να τοποθετούν αναμενόμενες τιμές με σκοπό τεχνητώς να παράγουν αποδεκτά πειραματικά δεδομένα. Τα πειράματα επαλήθευσης, που εστιάζονται εξ' αρχής στην απόκτηση μιας προσδιορισμένης τιμής, μπορούν αθέλητα να ενθαρρύνουν αυτή τη συμπεριφορά.

Οι δάσκαλοι επίσης σημειώνουν ότι τα πειράματα επαλήθευσης δεν απαιτούν δημιουργικότητα και δεν διδάσκουν επιδεξιότητες-λύσεις προβλημάτων, δεν αφήνουν περιθώρια να ερευνηθούν οι μαθητές και δεν τους καθιστούν ικανούς να μάθουν από μη αναμενόμενα αποτελέσματα. Ενώ οι μαθητές αποτυγχάνουν να εκτιμήσουν τη δημιουργική φύση της επιστήμης, οι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι στις έρευνές τους συμπεριλαμβάνεται ένας σημαντικός βαθμός δημιουργικότητας. Με άλλα λόγια η έρευνα στο εργαστήριο παρουσιάζει ευκαιρίες να αναπτυχθούν νέες ιδέες από τη σύνθεση δύο ή περισσότερων εννοιών, ή να εφαρμόσουν μια πειραματική τεχνική για ένα πρόβλημα μ' έναν καινούργιο τρόπο. Στο εργαστήριο επαλήθευσης ο δάσκαλος επιλέγει τις ερωτήσεις που πρέπει να ερευνηθούν και η προσέγγιση που χρησιμοποιείται αφήνει πολύ λίγες επιλογές για το τι θα κάνουν οι μαθητές. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει λίγος χώρος για λύση προβλημάτων και εξερεύνηση για το μαθητή. Αν ο στόχος είναι να υπολογιστεί μια πειραματική τιμή ή να παρατηρηθούν κάποια φαινόμενα, δεν υπάρχουν περιθώρια για το μαθητή για ελεύθερη διερεύνηση των μεταβλητών που μπορούν να επηρεάσουν την πειραματική τιμή που πρέπει να προσδιοριστεί. Ως αποτέλεσμα, τα πειράματα επαλήθευσης δεν επιτρέπουν στους μαθητές να αναπτύξουν πλήρως τις δεξιότητες λύσης προβλημάτων.

Οι Montes και Rockley (2000) συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα των πειραμάτων επαλήθευσης που οι δάσκαλοι κατέγραψαν βρήκαν ότι αυτά εμπίπτουν σε δύο κυρίως κατηγορίες. Η πρώτη σχετίζεται με την επάρκεια και την οικειότητα που έχουν με την παραπάνω πειραματική προσέγγιση. Όταν εξετάζονται πιο εμπεριστατωμένα τα πλεονεκτήματα που αναφέρονται από τους δασκάλους, αυτά φαίνεται να ωφελούν περισσότερο το δάσκαλο παρά το μαθητή και δεν εξυπηρετούν παιδαγωγικούς λόγους. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνα τα πλεονεκτήματα που οι δάσκαλοι αντιλαμβάνονται ως διδακτικά πλεονεκτήματα του στυλ του παραδοσιακού εργαστηρίου. Τα περισσότερα πλεονεκτήματα στην κατηγορία αυτή είναι οφέλη που σχετίζονται με τη διδασκαλία της χημείας στην τάξη, χωρίς να προσφέρουν εργαστηριακή εμπειρία.

Ένας αριθμός άρθρων έχει λεπτομέρειες για τη μέθοδο και τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης που βασίζεται στα ανακαλυπτικά πειράματα και η προσέγγιση αυτή σήμερα είναι μια ολοκληρωμένη συνιστώσα στο πρόγραμμα που ορίζει το «Εθνικό επίπεδο γνώσεων διδασκαλίας της επιστήμης – National science education standard» στις ΗΠΑ (Center for Science, Mathematics, and Engineering Education, 2000). Πολλές απ' αυτές τις ιδέες δεν έχουν ακόμη εισχωρήσει σ' όσους διδάσκουν μαθήματα επιστήμης στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Αν θέλουμε να έχουμε μαθητές που να αποκτούν μάθηση με σημασία πρέπει η επικοινωνία μεταξύ ερευνητών της διδακτικής και δασκάλων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης να γίνει στενή.

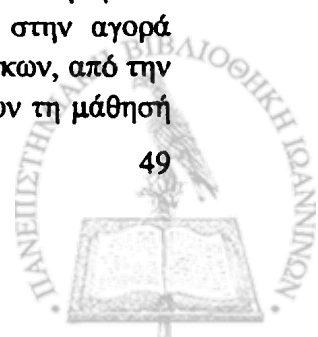


Υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη διάδοση των πειραμάτων που βασίζονται στην ανακαλυπτική προσέγγιση. Καθώς οι διδάσκοντες θα κερδίζουν σε εμπειρία με την ανακαλυπτική προσέγγιση θα κατανοούν τα παιδαγωγικά πλεονεκτήματα που ο τύπος αυτός εργαστηρίου παρέχει. Παραπέρα για να αυξηθούν τα οφέλη που σχετίζονται με τα πειράματα ανακάλυψης είναι ανάγκη να αυξηθεί ο αριθμός και οι δυνατότητες διάθεσής τους στους εκπαιδευτικούς. Καθώς οι δάσκαλοι θα κερδίζουν οικειότητα με τα πειράματα ανακάλυψης και η διαθεσιμότητά τους θα αυξάνεται, οι δάσκαλοι θα αισθάνονται μεγαλύτερη διάθεση να διαλέξουν μια εργαστηριακή προσέγγιση που έχει πλεονεκτήματα βασισμένα στην παιδαγωγική και θα τους είναι προσιτά. Οι διδάσκοντες όσο θα εμπλέκονται σε μια ανακαλυπτική εργαστηριακή προσέγγιση θα αντιλαμβάνονται ότι το εργαστήριο μπορεί να είναι ένα πλουσιότερο μαθησιακό περιβάλλον για τους μαθητές, όπου οι μαθητές μαθαίνουν τι πραγματικά σημαίνει να κάνεις επιστήμη.

## 2.18 Ενσωματώνοντας πολλαπλές διδακτικές μεθόδους για να διδάξεις μια ενότητα στις φυσικές επιστήμες

Μια άλλη ερευνητική κατεύθυνση της διδακτικής των φυσικών επιστημών διερευνά την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας που ενσωματώνει πολλαπλές διδακτικές μεθόδους, προκειμένου η μάθηση μιας ενότητας να είναι γόνιμη και αποδοτική. Κοινός τόπος στη διδασκαλία της χημείας και των άλλων φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη χώρα μας είναι η διάλεξη. Οι Monte και Rockey (2002) επίσης υποστηρίζουν ότι σε πολλές τάξεις φοιτητών γενικής χημείας η διάλεξη είναι η κύρια διδακτική μέθοδος. Όπως αναλυτικά αναφέρουμε στο κεφάλαιο «Θεωρητικό πλαίσιο III» (Δασκαλοκεντρική ή μονολογική διδασκαλία, κεφ. 4, 4.2) αυτή χαρακτηρίζεται απ' τον διδάσκοντα που μιλά και γράφει μπροστά στον πίνακα της τάξης, ενώ οι μαθητές κάθονται στα θρανία τους, παρακολουθούν και κρατούν σημειώσεις. Αυτός ο τρόπος διδασκαλίας είναι επικεντρωμένος στο δάσκαλο και έχει το πλεονέκτημα να τον κάνει ικανό να καλύπτει εκτεταμένη ύλη, αλλά η μέθοδος αυτή δεν εξασφαλίζει τη μάθηση και την κατανόηση της ύλης από τους μαθητές (Duit, 1991). Οι μελέτες των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών έχουν ρίξει αρκετό φως στους τρόπους που αυτοί μαθαίνουν ένα γνωστικό αντικείμενο (Nakhleh, 1992). Επίσης κλάδοι της ψυχολογίας, όπως η ψυχολογία κινήτρων, η γνωσιακή ψυχολογία και η ψυχολογία ατομικών διαφορών έχουν οδηγήσει να προταθούν διαφορετικοί τρόποι διδασκαλίας που να απευθύνονται στην διαφορετικότητα των μαθητών μιας τάξης, συμπεριλαμβάνοντας συνεργατική μάθηση (Lazarowitz, et al. 1988), συζήτηση στην τάξη (Deutch, 1995), εννοιολογικούς χάρτες (Lawless, 1994, Horton, 1993, Heinze-Fry & Novak, 1990, Jonassen & Marra, 1994), κ.ά.

Ένας αριθμός μελετών έχει δείξει ότι οι προσδοκίες των πανεπιστημιακών σχολών και των φοιτητών τους δεν είναι σε συμφωνία. Ένας αριθμός φοιτητών δεν αισθάνονται την ευθύνη της δικής τους μάθησης. Εναποθέτουν την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου που σπουδάζουν και μετέπειτα τη θέση τους στην αγορά εργασίας στα χέρια των διδασκόντων (Carter & Brickhouse, 1989). Ο διδάσκων, από την άλλη πλευρά, πιστεύει ότι οι μαθητές και οι φοιτητές θα πρέπει να ελέγχουν τη μάθησή



τους και ότι οποιοσδήποτε τύπος διδασκαλίας ακολουθούν είναι τόσο καλός όσο οποιοσδήποτε άλλος. Παρ'όλα αυτά, η έρευνα έχει δείξει ότι οι μαθητές μαθαίνουν με διαφορετικές μεθόδους (Willemsen, 1995, Leneham, 1994), οι οποίες πρέπει όλες να απευθύνονται στους μαθητές για να είναι η μάθηση γόνιμη και επιτυχής.

Ο τύπος της παραδοσιακής διάλεξης αγνοεί εκπαιδευτικές θεωρίες που δείχνουν τα πλεονεκτήματα της ενεργού συμμετοχής των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία και την ανάγκη για διαφορετικά μέσα και κατηγορίες επίτευξης διδακτικών στόχων (Champagne & Bunce, 1991, Roth, 1990). Ο τύπος της διάλεξης μπορεί να έχει χρήσιμους σκοπούς, και κάποιοι μαθητές μπορεί ενεργά να συμμετέχουν. Παρ'όλα αυτά, όπως συχνά συμβαίνει στην πράξη, η μέθοδος της διάλεξης χάνει την ευκαιρία για πο άμεση συμμετοχή των μαθητών στη μάθηση της ύλης, κατά τη διάρκεια του μαθήματος, και προσπερνά την ευκαιρία να δείξει στους μαθητές πως να εμπλακούν με τη χημεία.

Εναλλακτικές μέθοδοι διδασκαλίας έχουν εφαρμοστεί για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών με επιτυχή αποτελέσματα, που μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνουν βελτίωση της κατανόησης της διδασκόμενης ύλης από το μαθητή. Πολύ λίγες μελέτες, εντούτοις, έχουν αποπειραθεί να ενσωματώσουν περισσότερες από μια διδακτικές μεθόδους σε μια σειρά μαθημάτων (Gaston, 2000). Οι Francisco, Nicoll και Trautmann (1998) διερευνώντας τη βιβλιογραφία σημειώνουν ότι δε βρήκαν καμιά δημοσιευμένη αναφορά που να περιγράφει εφαρμογή πολλαπλών διδακτικών τρόπων σε σειρά μαθημάτων γενικής χημείας, σε επίπεδο κολεγίου.

Οι παραπάνω ερευνητές (Francisco, Nicoll και Trautmann) χρησιμοποίησαν τέσσερις διαφορετικές μεθόδους διδασκαλίας σε μια σειρά μαθημάτων γενικής χημείας, για πρωτοετείς φοιτητές (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.4 Ενσωμάτωση διδακτικών μεθόδων κατά τη διδασκαλία γενικής χημείας.

Μάθημα	Διδακτική μέθοδος	Θέμα που διδάχτηκε
1	Διάλεξη	Εισαγωγή. Χημική ισορροπία
2	Διάλεξη	Χημική ισορροπία, Ιοντική ισορροπία διαλυμάτων οξέων - βάσεων
3	Συνεργατική μάθηση	Ισχυρά οξέα και βάσεις
4	Συζήτηση στην τάξη	Έννοιες ασθενών οξέων και βάσεων
5	Διάλεξη, Συνεργατική μάθηση	Ισορροπία διάλυσης
6	Εννοιολογικοί χάρτες	Ισορροπία συμπλοκών ιόντων
7	Εξέταση	--
8	Συζήτηση στην τάξη	Εφαρμογές της ισορροπίας διάλυσης
9	Διάλεξη	Θερμοδυναμική
10	Συνεργατική μάθηση	Θερμοδυναμική
11	Διάλεξη	1 <sup>ος</sup> και 2 <sup>ος</sup> νόμος της θερμοδυναμικής
12	Συζήτηση στην τάξη	3 <sup>ος</sup> νόμος της θερμοδυναμικής και ελεύθερη ενέργεια
13	Εννοιολογικοί χάρτες	Ελεύθερη ενέργεια και σταθερά ισορροπίας
14	Εξέταση	--



Συνεργατική μάθηση, συζήτηση στην τάξη, εννοιολογικοί χάρτες και διάλεξη ενσωματώθηκαν σε μια σειρά μαθημάτων χημείας, για να συγκριθούν τα επίπεδα συμμετοχής των σπουδαστών. Η μελέτη τους συμπεριλάμβανε 94 πρωτοετείς στο β' εξάμηνο της σειράς γενικής χημείας στο Wayne State University, στο Detroit της πολιτείας Michigan. Η τάξη διδασκόταν το μάθημα τρεις φορές την εβδομάδα για 50 λεπτά της ώρας. Κάθε φοιτητής εκτέθηκε σε όλες τις διδακτικές στρατηγικές στον ίδιο χρόνο. Η τάξη αποτελείτο κατά 69% από αγόρια, 31% κορίτσια, το δε 18% των φοιτητών ήταν Αφρο-αμερικάνοι. Σε όλο το εξάμηνο και οι τέσσερις διδακτικοί τύποι χρησιμοποιήθηκαν για να ελαχιστοποιήσουν κάθε επίδραση για δύο κεφάλαια χημείας που διδάχτηκαν. Ο πίνακας 2.5 παρουσιάζει τον τρόπο ενσωμάτωσης των διδακτικών μεθόδων κατά τη διδασκαλία των δύο κεφαλαίων γενικής χημείας.

Η συζήτηση στην τάξη επέτρεπε στο διδάσκοντα να ερωτά τους φοιτητές με τρόπους που τους βοηθούσε να διερευνούν την κατανόησή τους πάνω στη διδασκόμενη ύλη και αυτό απαιτούσε τη χρήση υψηλού επιπέδου γνωστικών λειτουργιών. Αυτό είναι μια διακριτή διαφορά από τη διδακτική μέθοδο της παραδοσιακής διάλεξης, διότι οι φοιτητές συμμετέχουν ενεργά. Στον τύπο της διάλεξης, απλά προβλήματα παρουσιάστηκαν και λύθηκαν για να δείχτει πως οι έννοιες εφαρμόζονται, πως τα αποτελέσματα εκτιμούνται και τι αυτά σημαίνουν. Υπάρχει εντούτοις μια διαφορά μεταξύ του πως ο διδάσκων λύνει ένα πρόβλημα και πως οι φοιτητές λύνουν τα ίδια προβλήματα.

Στη συζήτηση με την τάξη, ο διδάσκων χρησιμοποιούσε καθοδηγητικές ερωτήσεις, όχι μόνο για να συμμετέχουν οι φοιτητές, αλλά και για να καθοδηγήσει τη σκέψη τους σε ευρύτερες σχέσεις και διασυνδέσεις εννοιών στη χημεία. Η συζήτηση στην τάξη συσχέτιζε την ύλη με άλλα θέματα χημείας, δημιουργούσε μοντέλα περισσότερο ενοποιημένα και τρόπους που να διερευνούν τη διδασκόμενη ύλη οι φοιτητές και να προωθείται η ενεργός συμμετοχή τους. Ο διάλογος μεταξύ φοιτητών και διδάσκοντα παρουσίαζε και άλλα πλεονεκτήματα. Αυτός επέτρεπε στους φοιτητές να σκεφτούν πάνω σε έννοιες και να συνειδητοποιήσουν την ύλη. Ο διδάσκων ξεκινούσε με μια εισαγωγική συζήτηση που επικεντρωνόταν στο πως οι φοιτητές αντιλαμβάνονταν την ύλη που θα διδαχθούν και ποια είναι τα υπάρχοντα μοντέλα στη σκέψη τους. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η δόμηση μιας έννοιας που είχε νόημα για τους φοιτητές και στη συνέχεια όλη η τάξη ασχολήθηκε με τη δόμηση της έννοιας αυτής.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα, από τη διδασκαλία του κεφαλαίου της θερμοδυναμικής, για το πως ο διδάσκων στο πλαίσιο της συζήτησης ενέπλεκε τους φοιτητές με τις σχετικές έννοιες. Μετά την κάλυψη των νόμων της θερμοδυναμικής, παρουσιάστηκαν οι θεμελιώδεις σχέσεις με τις οποίες αυτοί εκφράζονται, και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της διάλεξης παρουσιάστηκαν και λύθηκαν απλά προβλήματα. Στο επόμενο μάθημα ο διδάσκων έθεσε προς συζήτηση την παρακάτω ερώτηση: Είναι μια πολύ ζεστή μέρα και το air-condition στο σπίτι σας έχει χαλάσει. Ένα μέλος της οικογένειας προτείνει ν' ανοίξεις το ψυγείο για να δροσίσει το σπίτι. Συμφωνείς με το άτομο της οικογένειας σου ή όχι; Θα μπορούσε αυτό να δουλέψει; Ο διδάσκων στη συνέχεια κατηύθυνε τη συζήτηση με το να αφήσει τους φοιτητές να σκεφτούν πάνω



στους νόμους της θερμοδυναμικής. Κατά τη διάρκεια της συζήτησης, ο διδάσκων προκάλεσε τη σκέψη των φοιτητών, κατευθύνοντας την να ελέγξουν τις ασυνέπειες στους συλλογισμούς τους. Αυτό τους βοήθησε να εκτιμήσουν και να βελτιώσουν τις γνωστικές τους δομές.

Η δεύτερη μέθοδος, η συνεργατική μάθηση, ενέπλεκε τους σπουδαστές στη λύση προβλημάτων. Κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής ώρας, οι φοιτητές χωρίστηκαν σε ομάδες που συνίσταντο από 5-6 άτομα. Κάθε φορά ένας φοιτητής έπαιζε το ρόλο του διδάσκοντα στην ομάδα και δίδασκε τους άλλους πως να αντιμετωπίζουν προβλήματα. Οι περισσότεροι φοιτητές μπορούσαν να αναπαράγουν ένα παρόμοιο υπολογισμό, που εφαρμόστηκε σε μια προηγούμενη διάλεξη, αρκεί το νέο πρόβλημα ξεκάθαρα να χρησιμοποιούσε την ίδια έννοια και τους τύπους.

Προβλήματα πιο απαιτητικά, ζητούσαν οι φοιτητές να αποσφηνώσουν πληροφορίες από το πρόβλημα. Αυτά τα προβλήματα χρησιμοποίησαν έννοιες και τύπους από τη διάλεξη, αλλά παρουσιάστηκαν με νέους τρόπους που δεν ήταν προφανώς αλγοριθμικοί. Οι φοιτητές ενθαρρύνθηκαν να συμπληρώσουν, να διορθώσουν ή να επεκτείνουν την εργασία των συμμαθητών τους, με το να προσφέρουν εναλλακτικές προτάσεις. Οι φοιτητές εργαζόμενοι ενεργά σε ομάδες με προβλήματα αντιλήφθηκαν ότι μπορούσαν να κάνουν πιο σύνθετους συλλογισμούς, να υπολογίζουν λύσεις και να αναπτύσσουν αυτοπεποίθηση, που θα τους επιτρέψει ν' αναλάβουν μεγαλύτερη υπευθυνότητα για την εκπαίδευσή τους. Το παρακάτω είναι ένα τυπικό πρόβλημα που τέθηκε στους φοιτητές για να δουλέψουν σε ομάδες. Αυτό απαιτεί εφαρμογή χημικών αρχών που αναφέρονται στην ηλεκτρολυτική διάσπαση ασθενών οξέων- βάσεων, στην υδρόλυση αλάτων καθώς και επιδεξιότητες στη λύση προβλημάτων.

Ο επικεφαλής χημικός της Trautmann Chemical Works, Ltd. πήρε συνέντευξη από δύο μεταπτυχιακούς φοιτητές, προκειμένου να τους προσλάβει για εργασία. Ο επικεφαλής χημικός έθεσε το ερώτημα: Ο ποιοτικός έλεγχος απαιτεί το pH ενός διαλύματος KCN να διατηρείται στην τιμή 11,2. Η τιμή  $pK_a=9,40$  (ο αντίθετος δεκαδικός λογάριθμος της σταθεράς ιονισμού οξέος). Στη συνέχεια ρώτησε τους δύο φοιτητές τι πρέπει να γίνει για να βεβαιωθούν ότι η εταιρεία ανταποκρίνεται σ' αυτή την προϋπόθεση. Ο ένας απάντησε: Θα πρόσθετα 0,10 moles από το KCN σε 1L νερό και χρησιμοποιώντας ένα πεχάμετρο θα προσδιόριζα το pH με  $\pm 0,01$  μονάδες pH και θα το συνέδεα με ένα IBM computer για να τυπώσει το pH ψηφιακά. Ο άλλος φοιτητής απάντησε: Θα τιτλοδοτούσα το KCN με ένα διάλυμα HCl, 0,10 M και θα χρησιμοποιούσα φαινολοφθαλεΐνη για να ανιχνεύσω το ισοδύναμο σημείο. Ποιον φοιτητή ο επικεφαλής της χημικής βιομηχανίας προσέλαβε και γιατί;

Ο τρίτος διδακτικός τύπος, οι εννοιολογικοί χάρτες, τράβηξε την προσοχή των σπουδαστών προς την ιεραρχική φύση των εννοιών της χημείας και την ανάγκη να διασυνδέσουν στοιχεία της ύλης που διδάχθηκαν με στοιχεία από άλλα κεφάλαια και προηγούμενες σειρές διαλέξεων. Τα μαθήματα με εννοιολογικό χάρτη βοήθησαν ως μαθήματα επανάληψης πριν τις εξετάσεις. Κατά τη διάρκεια αυτών των επαναληπτικών μαθημάτων, από τους φοιτητές ζητήθηκε να αναγνωρίσουν σχέσεις, να συγκρίνουν και να αντιπαραβάλουν θέματα, και να ενοποιήσουν πληροφορίες σε μεγαλύτερους



εννοιολογικούς χάρτες. Αυτό βοήθησε τους φοιτητές να δουν πως τα θέματα σχετίζονται ή πως εξελίσσονται το ένα από το άλλο, για να παράγουν την αθροιστική φύση των εννοιών της χημείας.

Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ενός μαθήματος πάνω στη χημική ισορροπία, οι φοιτητές στην αρχή δόμησαν ένα χάρτη χρησιμοποιώντας κάποιες βασικές έννοιες της χημικής ισορροπίας, όπως τον ορισμό, την έκφραση της ισορροπίας, τη σταθερά ισορροπίας και την ετερογενή και ομογενή ισορροπία. Στη συνέχεια, ένας εννοιολογικός χάρτης δομήθηκε με τη διάσταση οξέων – βάσεων και συνδέθηκε με τον αρχικό εννοιολογικό χάρτη των βασικών αρχών της χημικής ισορροπίας. Χρησιμοποιώντας αυτή τη δομική διαδικασία, οι σπουδαστές δόμησαν ένα μεγάλο εννοιολογικό χάρτη, με το να προσαρτούν στα ήδη υπάρχοντα μέρη και άλλα. Προς το τέλος του εξαμήνου ο χάρτης έδειχνε την αλληλοσύνδεση ανάμεσα στα θέματα.

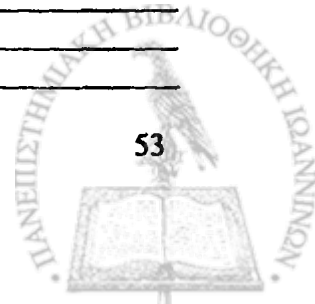
Προς το τέλος του εξαμήνου ζητήθηκε από τους σπουδαστές ν' αναφέρουν λεπτομερώς σε ποιο βαθμό συμμετείχαν σε κάθε περίπτωση διδακτικής μεθόδου. Αυτό έγινε για να εκτιμηθεί η αντίληψή τους για το πως αυτοί προσέλαβαν τη συμμετοχή τους στις διαφορετικές διδακτικές στρατηγικές. Για να είναι μια διδακτική στρατηγική αποτελεσματική, κατ'αρχήν πρέπει οι φοιτητές να την αποδεχτούν. Παραπέρα, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί τι οι φοιτητές προσέλαβαν ως χρησιμότητα της στρατηγικής. Αυτό μπορεί να καταλήγει σε δύο συνιστώσες: πόσο αναμεμιγμένοι οι φοιτητές ένιωθαν τους εαυτούς τους να είναι στη στρατηγική, και τι αυτοί αντιλήφθηκαν ως λειτουργίες κάθε μεθόδου. Αν η εμπλοκή των φοιτητών ή οι λειτουργίες που αντιλαμβάνονται είναι οι ίδιες για όλες τις διδακτικές στρατηγικές, τότε η αποτελεσματικότητα αυτών των στρατηγικών θα ήταν εξαιρετικά αμφίβολη.

Μια κλίμακα Likert, 7 σημείων, διαμορφώθηκε για να εκτιμήσει την εμπλοκή των φοιτητών. Στο σημείο 1 δεν αντιστοιχούσε καμιά απολύτως εμπλοκή και στο σημείο 7 αντιστοιχούσε εξαιρετική εμπλοκή. Τα μέσα επίπεδα συμμετοχής τους σε κάθε τύπο διδασκαλίας έδωσαν τις παρακάτω τιμές (Πίνακας 2.5).

Τα μέσα επίπεδα συμμετοχής των φοιτητών για κάθε διδακτική μέθοδο στη συνέχεια συγκρίθηκαν, χρησιμοποιώντας τη στατιστική μέθοδο ANOVA για να προσδιοριστεί, αν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στο επίπεδο συμμετοχής των μεθόδων. Οι φοιτητές ανέφεραν στατιστικά σημαντικώς υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής σε καθένα από τους τρεις τύπους διδασκαλίας (εννοιολογικοί χάρτες, συζήτηση στην τάξη, συνεργατική μάθηση) σε σχέση με τον τύπο της παραδοσιακής διάλεξης.

**Πίνακας 2.5** Μέσα επίπεδα συμμετοχής των φοιτητών σε κάθε μέθοδο διδασκαλίας.

Μέθοδος διδασκαλίας	Επίπεδο συμμετοχής (Μέγιστη τιμή 7, ελάχιστη 1)
Διάλεξη	2,5
Εννοιολογικοί χάρτες	3,3
Συζήτηση στην τάξη	4,1
Συνεργατική μάθηση	3,3





Επίσης η στατιστική ανάλυση έδειξε μια μη σημαντική διαφορά των επιπέδων συμμετοχής, μεταξύ των μη παραδοσιακών διδακτικών μεθόδων. Απ' αυτά τα δεδομένα προέκυψε ότι η μέθοδος που ενεθάρρυνε τη μεγαλύτερη συμμετοχή της τάξης ήταν η συζήτηση.

Από τους φοιτητές επίσης ζητήθηκε να εκτιμήσουν ποιες λειτουργίες εξυπηρετούσε γι' αυτούς κάθε διδακτικός τύπος. Από την καταγραφή αυτή βρέθηκε ότι κάθε διδακτικός τύπος εξυπηρετούσε γι' αυτούς ένα διαφορετικό σκοπό. Οι αντιλήψεις των φοιτητών για τις πρωταρχικές λειτουργίες των διδακτικών μεθόδων περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα 2.6. Από τη μελέτη των λειτουργιών που καταγράφηκαν φαίνεται ότι τον τύπο ανακεφαλαίωσης μιας ενότητας με τη βοήθεια του εννοιολογικού χάρτη οι φοιτητές τον βρήκαν αρκετά χρήσιμο στην προετοιμασία των εξετάσεων.

**Πίνακας 2.6** Οι αντιλήψεις των φοιτητών για τις πρωταρχικές λειτουργίες των διδακτικών μεθόδων (οι λειτουργίες καταγράφονται χωρίς αξιολογική σειρά).

Διδακτική μέθοδος	Λειτουργία
Εννοιολογικοί χάρτες	Παροχή νέων πληροφοριών
	Προετοιμασία για το επόμενο θέμα
	Προετοιμασία για την επόμενη εξέταση
Συζήτηση στην τάξη	Οργανώνεται η ύλη με τρόπους που δίνουν νόημα
	Αναγνωρίζεται η έλλειψη κατανόησης
	Δίνονται απαντήσεις σε ερωτήσεις σχετικές με την ύλη
	Οργανώνεται η ύλη με τρόπους που της δίνουν νόημα
Συνεργατική μάθηση	Η ύλη γίνεται πιο ενδιαφέρουσα
	Επαναλαμβάνεις τις έννοιες
Διάλεξη	Κάνει την ύλη πιο ενδιαφέρουσα
	Διασαφηνίζει τις έννοιες
	Ταξινομούνται δύσκολα ή σημαντικά σημεία
	Οργανώνεται η ύλη με τρόπους που δίνουν νόημα
	Μοντελοποιούνται τρόποι για να μελετάς την ύλη
	Επαναλαμβάνεις τις έννοιες

Κατά περίεργο τρόπο, εντούτοις, η ανακεφαλαίωση του εννοιολογικού χάρτη ήταν επίσης χρήσιμη για να παρέχει σ' αυτούς νέες πληροφορίες. Αυτό το στοιχείο αποδεικνύει ότι οι φοιτητές δεν είναι αναγκαίο να μαθαίνουν πληροφορίες στην αρχή ενός κεφαλαίου και ότι οι πολλαπλές διαφορετικές παρουσιάσεις είναι αναγκαίες, πριν αυτοί αρχίσουν να σχηματίζουν τις δικές τους περισσότερο ενοποιημένες γνωστικές δομές. Ο τύπος της διάλεξης, από την άλλη πλευρά, ήταν χρήσιμος στους φοιτητές στο να επισημαίνουν σημαντικές έννοιες. Κατά τη διάρκεια της συζήτησης στην τάξη οι φοιτητές αναγνώρισαν την έλλειψη κατανόησης συγκεκριμένων σημείων στην ύλη που διδάσκονταν. Η συνεργατική μάθηση τους βοήθησε να διευκρινίσουν σημαντικά σημεία.

Από τις απαντήσεις που έδωσαν οι φοιτητές για τις διδακτικές μεθόδους σε σχέση με τις λειτουργίες τους προέκυψαν τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με το κατά πόσο



αυτές 1) βοηθούσαν σε μεταγνωστικές διαδικασίες 2) δημιουργούσαν ενδιαφέρον 3) παρουσίαζαν δεδομένα. Για να προσδιοριστεί αν υπήρχε κάποια διαφορά μεταξύ των τεσσάρων διδακτικών μεθόδων και των τριών παραπάνω κατηγοριών, έγινε στατιστική σύγκριση με εφαρμογή του κριτηρίου  $\chi^2$  (Chi-square). Συγκρίνοντας κάθε μια μέθοδο σε σχέση με μεταγνωστικές διαδικασίες ή την παρουσίαση δεδομένων, δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ( $\chi^2=0,50$ ,  $p> 0,05$ ). Όμως συγκρινόμενη η παραδοσιακή διάλεξη με τις άλλες τρεις διδακτικές μεθόδους βρέθηκε να είναι περισσότερο αποτελεσματική στο να βοηθάει σε μεταγνωσιακές διαδικασίες παρά στο να παρουσιάζει δεδομένα ( $\chi^2=9,25$ ,  $p<0,001$ ). Αυτά τα δεδομένα συστήνουν ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας δεν εμποδίζουν τους φοιτητές να μαθαίνουν, καθώς όλες οι μέθοδοι είχαν παρόμοια αποτελέσματα στο να παρέχουν πληροφορίες.

Καθώς όλα αυτά είναι μόνο μέσα, οι αριθμοί δεν δηλώνουν σε ποιο βαθμό ο κάθε μαθητής προτίμησε μια μέθοδο σε σχέση με άλλη ή κατά πόσο οι φοιτητές στο σύνολό τους συνδέθηκαν με τις διδακτικές μεθόδους. Αυτό όμως μπορεί να δείχνει ότι, το να παρουσιάζεις ένα ποικίλο μαθησιακό περιβάλλον στην τάξη, βοηθάς τη συνολική μάθηση των φοιτητών, ειδικότερα δε στο να τους παρέχεις μεταγνωσιακές διαδικασίες. Επιπλέον, όλες οι διδακτικές μέθοδοι δεν εξυπηρετούν τις ίδιες μαθησιακές λειτουργίες. Τα δεδομένα απ' αυτή την εργασία συστήνουν ότι η διδακτική χρήση μόνο ενός τρόπου παρουσίασης στην αίθουσα μπορεί να περιορίζει τους σπουδαστές με το να βάζει όρια στην έκθεσή τους σε διαφορετικές μαθησιακές καταστάσεις, που θα μπορούσαν να τους βοηθούσαν να αναγνωρίσουν θέματα που αυτοί δεν κατανόησαν. Ο Bodner (1992) έχει υπογραμμίσει ότι πρέπει να διερευνηθεί σε μεγαλύτερη έκταση ο ρόλος που παίζουν οι δάσκαλοι στη μάθηση της χημείας. Ο διδάσκων θα πρέπει να χρησιμοποιεί ή να εισάγει αλληλεπιδραστικές μεθόδους που να παρέχουν γνωστική ισορροπία στους μαθητές.

Η εργασία των Francisco, Nicoll και Trautmann δείχνει ότι η ενοποίηση πολλαπλών μεθόδων διδασκαλίας μπορεί να επαυξήσει τη συμμετοχή των φοιτητών, να τους βοηθήσει να αναπτύξουν μεταγνωσιακές δεξιότητες, αναγκαίες για την κατανόηση της χημείας. Η παρουσίαση μιας ύλης με διαφορετικούς τρόπους ενισχύει το εννοιολογικό υπόβαθρο και βοηθάει τους φοιτητές να κατέχουν την ύλη σε μεγαλύτερο βαθμό. Η χρήση πολλαπλών διδακτικών στρατηγικών στην αίθουσα βελτιώνει τις ευκαιρίες του διδάσκοντα να αξιοποιήσει τις γνωστικές ικανότητες ενός διαφοροποιημένου μαθητικού/ φοιτητικού πληθυσμού. Οι μαθητές / φοιτητές σήμερα σε μια αίθουσα διδασκαλίας αποτελούν ένα αρκετά διαφοροποιημένο χώρο και ως εκ τούτου υπάρχει διαφορετικότητα στις γνωστικές δεξιότητες που μεταφέρουν σ' αυτή. Η μονότροπη μέθοδος διδασκαλίας είναι ανεπαρκής, για να συναντήσει όλες τις μαθησιακές ανάγκες των φοιτητών, καθώς αυτοί προσπαθούν να κατακτήσουν μια συγκεκριμένη ύλη. Τα παραπάνω είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα των Birk και Foster (1993), οι οποίοι βρήκαν ότι δεν λαμβάνει χώρα ουσιαστική μάθηση της χημείας με τη μέθοδο της διάλεξης. Αν και οι σπουδαστές στην έρευνα των Francisco, Nicoll & Trautmann δήλωσαν ότι ο τύπος της διάλεξης ήταν χρήσιμος για μεταφορά κάποιων πληροφοριών, αυτός δεν ήταν ο προτιμότερος τρόπος για μάθηση.

## 2.19 Σύγκριση της αποτελεσματικότητας τριών διδακτικών μεθόδων για διδασκαλία γενικής χημείας – Παραδοσιακό εργαστήριο - Κύκλος μάθησης – Προσομοιώσεις με υπολογιστή

Οι Jackman, Moellenberg και Barabson (1987) σχεδίασαν και εφάρμοσαν τρεις διδακτικές μεθόδους προκειμένου να διδάξουν στο εργαστήριο φασματοφωτομετρία σε φοιτητές β' εξαμήνου στο πανεπιστήμιο του New Mexico, στο πλαίσιο του μαθήματος γενικής χημείας. Στη συνέχεια προσδιόρισαν τη σχετική αποτελεσματικότητα των τριών μεθόδων. Οι ερευνητές αρχικά αναφέρουν ότι πολύ λίγες απόπειρες έχουν γίνει για να εκτιμηθεί με ένα επιστημονικό τρόπο η αποτελεσματικότητα διαφορετικών διδακτικών μεθόδων και για το λόγο αυτό η σχετική βιβλιογραφία στο θέμα αυτό είναι φτωχή.

Πιο ειδικά σε μια ομάδα 95 φοιτητών δίδαξαν στο εργαστήριο φασματοφωτομετρία με την παραδοσιακή μέθοδο. Η παραδοσιακή προσέγγιση (traditional approach) περιελάμβανε εργαστήρια (ασκήσεις ή πειράματα) δομημένα από τους διδάσκοντες. Κάθε πείραμα σχεδιάστηκε για να παρουσιάσει ορισμένες ιδιότητες των ατόμων και των μορίων ή μερικές φορές απλές εργαστηριακές τεχνικές. Κάθε βήμα μιας διαδικασίας είχε προσεχτικά σχεδιαστεί και οι φοιτητές αναμενόταν να ακολουθήσουν τη διαδικασία επακριβώς. Συνήθως ένα μικρό περιθώριο αφήνεται για σκέψη και εφευρετικότητα των φοιτητών. Αυτό το είδος της αυστηρά δομημένης εργαστηριακής άσκησης συχνά ονομάζεται και πείραμα επαλήθευσης.

Το παραδοσιακό πείραμα φασματοφωτομετρίας περιγράφεται στον εργαστηριακό οδηγό και διαμορφώθηκε ελαφρά για να προσαρμοστεί στο διδακτικό τύπο που χρησιμοποιήθηκε. Το πείραμα ήταν μια εργαστηριακή άσκηση επαλήθευσης. Οι φοιτητές γνώριζαν, πριν ξεκινήσουν το πείραμα, κάποιες φασματομετρικές αρχές και στη συνέχεια προετοίμασαν μια τυπική καμπύλη, για να τη χρησιμοποιήσουν στη συνέχεια για τον ποσοτικό προσδιορισμό μιας άγνωστης ουσίας.

Σε μια δεύτερη ομάδα 98 φοιτητών δίδαξαν το ίδιο αντικείμενο εφαρμόζοντας τον κύκλο μάθησης (learning cycle). Ο κύκλος μάθησης είναι μια διδακτική προσέγγιση που χρησιμοποιεί ανακάλυψη (discovery) ή καθοδηγούμενη έρευνα (guided inquiry), όπως εν συντομία περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Οι φοιτητές στην περίπτωση αυτή μελετούν περιγραφές, εικονικές ή πειραματικές, διερευνούν δεδομένα, σχεδιάζουν πειράματα και προσπαθούν να ξανα-ανακαλύψουν ή να δομήσουν ιδιότητες ή σχέσεις. Η ανακαλυπτική προσέγγιση με την ευρύτερη έννοια εμπεριέχεται στο κύκλο μάθησης για τη διδασκαλία της χημείας όπως περιγράφεται από τους Ward & Herron (1980), Kaprius (1977), Lawson & Renner (1975, 1973).

Οι τρεις φάσεις του κύκλου μάθησης, 1) διερεύνηση (exploration) 2) εφεύρεση ή επινόηση (invention) και 3) ανακάλυψη ή εφαρμογή της έννοιας (discovery-applications) είναι σχεδιασμένες για να αναδείξουν έννοιες, σχέσεις ή αρχές και να επιτύχουν μια καλή γνωστική καλλιέργεια και ανάπτυξη. Ενώ κάποιες περιγραφές του κύκλου μάθησης στη διδασκαλία της χημείας έχουν εμφανιστεί, πολύ λίγες μελέτες έχουν αποπειραθεί να εκτιμήσουν την αποτελεσματικότητά του. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ενδείξεις ότι ο κύκλος μάθησης είναι μια αποτελεσματική μέθοδος στο εργαστήριο χημείας (Pavelich & Abraham, 1979, Fix & Renner, 1979) και μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για φοιτητές



που αγωνίζονται με αφηρημένες ή τυπικές έννοιες. Ο Τσαπαρλής (1989, σ. 50) αναφέρει ότι «ο κύκλος μάθησης είναι μια δύσκολη στην υλοποίησή της διδακτική μέθοδος. Οι δυσκολίες του έγκεινται τόσο στην απαιτούμενη εργαστηριακή υποδομή, όσο και στην επινόηση κύκλου μάθησης για κάθε θέμα της διδακτέας ύλης».

Στην περίπτωση της φασματοφωτομετρίας στη διερευνητική φάση οι φοιτητές παρατήρησαν έγχρωμα διαλύματα διαφορετικών εντάσεων και στη συνέχεια τα διάταξαν κατά σειρά χρωματικής έντασης. Κατά τη διάρκεια της επινόησης έψαξαν για σχέσεις μεταξύ χρώματος και άλλων μεταβλητών. Ο σκοπός ήταν να δείξουν οι φοιτητές πειραματικώς ότι η ένταση του χρώματος σχετίζεται με τη συγκέντρωση των μορίων που απορροφούν ή ακριβέστερα η απορρόφηση είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση. Κατά τη φάση της ανακάλυψης οι φοιτητές χρησιμοποίησαν τις δικές τους πρόσφατες σχέσεις που επινόησαν για να προσδιορίσουν τις συγκεντρώσεις των άγνωστων διαλυμάτων που είχαν διατάξει κατά σειρά χρωματικής έντασης.

Στην τρίτη ομάδα 95 φοιτητές διδάχθηκαν επίσης το ίδιο εργαστηριακό αντικείμενο, με τη βοήθεια προσομοίωσης με υπολογιστή. Στο εργαστήριο οι υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν το λιγότερο με τρεις γενικούς τρόπους: να υποστηρίξουν τη διδασκαλία (computer-assisted instruction, CAI), τη μάθηση (computer-assisted learning, CML) και τη διαχείριση της διδασκαλίας (computer-managed instruction, CMI). Αυτές οι διδακτικές εφαρμογές έχουν συζητηθεί με αρκετές λεπτομέρειες σε περιοδικά της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Moore & Collins, 1979, Moore et al. 1980, Moore, Moore & Lagowski, 1984). Οι Jackman και Moellenberg (1987) σημειώνουν ότι υπάρχει ένα κενό στη βιβλιογραφία της διδακτικής όσον αφορά την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της διδασκαλίας της χημείας με τη βοήθεια υπολογιστή. Οι περισσότερες από τις μελέτες έχουν ερευνήσει το πρόγραμμα PLATO (Smith, 1983, 1981, Smith & Sherwood, 1976), οι οποίες όμως δεν παρέχουν σαφείς και αναμφισβήτητες ενδείξεις ότι το πρόγραμμα αυτό παρέχει αποτελεσματικές προσομοιώσεις και ότι οι φοιτητές ευχαριστιούνται να τις χρησιμοποιούν.

Η προσομοίωση με υπολογιστή γράφτηκε για να παράσχει μια αλληλεπιδραστική άσκηση στους φοιτητές. Αυτή σχεδιάστηκε για να καλύπτει δύο-τρεις ώρες πειραματική εργασία, και αναφερόταν σε στοιχειώδεις πλευρές της φασματοφωτομετρίας. Το πρόγραμμα προσομοίωσης περιείχε μια εισαγωγική σειρά που έδινε πληροφορίες σχετικά με το πώς να χρησιμοποιούν το πρόγραμμα ή να επιλέγουν για να κινούνται στο menu προσομοίωσης. Η ενότητα 1 ήταν σχεδιασμένη για να παράσχει στοιχειώδεις φασματοφωτομετρικές αρχές. Οι χρήστες στην ενότητα αυτή πρέπει να απαντούν σε κάποιες ερωτήσεις που εμφανίζονται. Αν η απάντηση δεν είναι ορθή, ο υπολογιστής παρέχει κάποιο βοηθητικό σχόλιο που κατευθύνει το χρήστη σ' ένα κατάλληλο σημείο για επανεξέταση. Η ενότητα 2 έδινε προσομοιώσεις για προετοιμασία τυπικών καμπυλών απορρόφησης με ένα αλληλεπιδραστικό τρόπο και τους αναγκαίους υπολογισμούς για την κατασκευή μια τυπικής καμπύλης απορρόφησης. Η ενότητα 3 σχεδίαζε την τυπική καμπύλη απορρόφησης και έδινε έναν αριθμό πρακτικών προβλημάτων για το πώς η τυπική καμπύλη χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των μορίων σε ένα δείγμα άγνωστης συγκέντρωσης. Τέλος η ενότητα 4 σχεδιάζει τυπικές καμπύλες από



πραγματικά ή επινοημένα δεδομένα. Οι φοιτητές εισάγουν τα δεδομένα για να χαρακτηριστεί η καμπύλη απορρόφησης από το σύνολο των δεδομένων απορρόφηση-συγκέντρωση. Ο υπολογιστής σχεδιάζει την καμπύλη απορρόφησης.

Ο χρήστης επίσης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει οποιαδήποτε ενότητα για μελέτη και την ευκαιρία για ανακεφαλαίωση κάποιων σημείων. Πολλές αρχές της συμπεριφορικής θεωρίας της μάθησης (behavioristic learning) είχαν ενσωματωθεί στην προσομοίωση. Γενικά η όλη ακολουθία μάθησης ήταν σχεδιασμένη, ώστε να εξελίσσεται προοδευτικά και να δίνει άμεση ενίσχυση σε κάθε τύπο απαντήσεων που δεν ήταν ικανοποιητικές.

Τα τρία επίπεδα για την ανεξάρτητη μεταβλητή-διδασκτική μέθοδος, ήταν το παραδοσιακό εργαστηριακό πείραμα, ο κύκλος μάθησης και η προσομοίωση με υπολογιστή. Η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν η επίδοση στη φασματοφωτομετρία, όπως αυτή μετρήθηκε από την επίδοση κάθε δείγματος σε τεστ (μετά-τεστ) που δόθηκε μετά την ολοκλήρωση των εργαστηρίων. Το τεστ περιελάμβανε στοιχειώδεις έννοιες και τεχνικές που σχετίζονται με ένα εισαγωγικό μάθημα φασματοφωτομετρίας στο πλαίσιο διδασκαλίας γενικής χημείας.

Αρχικά για να ελεγχθεί κατά πόσο σημαντική ήταν η μάθηση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου, ανεξάρτητα από τη διδασκτική μέθοδο, έγινε ένα τεστ-*t* (προ-τεστ) για να συγκρίνει τη συνολική μέση επίδοση (9,31 μονάδες) του προ-τεστ με τη συνολική μέση επίδοση (13,76 μονάδες) στο μετα-τεστ. Η συνολική μέση τιμή στο προ-τεστ ήταν μια ένδειξη ότι τα υποκείμενα, πριν προσέλθουν στο εργαστήριο, είχαν κάποια προϋπάρχουσα γνώση φασματοφωτομετρίας και γνώριζαν κάποιες τεχνικές ή επιδεξιότητες (π.χ. να κάνουν διαγράμματα). Το τεστ-*t* έδειξε ότι η διαφορά των μέσων τιμών επίδοσης ήταν στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 5%.

Η επίδραση των διδασκτικών εργαστηριακών μεθόδων πάνω στην επίδοση του μετα-τεστ μετρήθηκε με εφαρμογή της ανάλυσης συνδιακύμανσης (covariance). Το αποτέλεσμα της ανάλυσης έδειξε μια στατιστικώς σημαντική διαφορά στις τρεις διδασκτικές μεθόδους. Η μέση επίδοση για τα υποκείμενα που διδάχθηκαν με προσομοίωση ήταν στατιστικώς σημαντική σε σχέση με εκείνα που διδάχθηκαν με τη παραδοσιακή μέθοδο καθώς και με τον κύκλο μάθησης. Η μέση επίδοση των υποκειμένων που διδάχθηκαν με τον κύκλο μάθησης δεν διέφερε σημαντικώς από την επίδοση όσων διδάχθηκαν με την παραδοσιακή μέθοδο. Έτσι, η διδασκτική μέθοδος επηρέασε την επίδοση στο εργαστήριο. Φοιτητές που διδάχθηκαν με προσομοίωση έφεραν υψηλότερη επίδοση από εκείνους που διδάχθηκαν με τις άλλες δύο μεθόδους. Η προσομοίωση με υπολογιστή ήταν περισσότερο αποτελεσματική από τις άλλες δύο μεθόδους. Προφανώς, μια προσεχτικά σχεδιασμένη προσομοίωση μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό εκπαιδευτικό εργαλείο. Οι Ward & Hutton (1980) σε έρευνά τους βρήκαν ότι η προσέγγιση με κύκλο μάθησης στη διδασκαλία της σχετικής δραστηριότητας των μετάλλων ήταν περισσότερο αποτελεσματική από τη παραδοσιακή μέθοδο.

Βεβαίως μια προσπάθεια γενίκευσης των αποτελεσμάτων απαιτεί να συμπεριλάβει περισσότερα πειράματα. Ένα μειονέκτημα είναι ότι το να σχεδιάζεις και να προγραμματίζεις μια καλή προσομοίωση είναι μια πολύ χρονοβόρος διαδικασία.



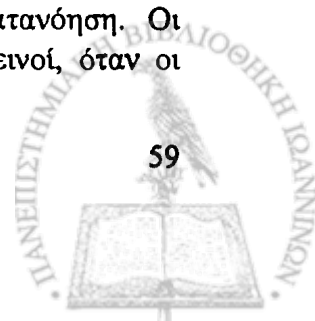
Εντούτοις, μια μεγάλης κλίμακας μελέτη θα έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία και μπορεί να παρέχει μεγαλύτερο κίνητρο στις πανεπιστημιακές σχολές για σχεδιασμό περισσότερων προγραμμάτων με προσομοιώσεις. Τα παραπάνω θα μπορούσαν να δώσουν επανατροφοδότηση στην εφαρμογή διαφορετικών διδακτικών μεθόδων. Επιπλέον η στάση των φοιτητών θα μπορούσε εν μέρει να χρησιμοποιηθεί ως υποστηρικτική στο να ενισχύσει ή να ανασκευάσει το συμπέρασμα κατά πόσο μια διδακτική μέθοδος είναι αποτελεσματική σε σχέση με άλλες. Τυπικά σχόλια στην παραπάνω περιγραφείσα έρευνα έδειξαν ότι οι φοιτητές γενικά ευχαριστούνται να εργάζονται με προσομοίωση σε υπολογιστή.

### 2.20 Οι απόψεις του J. D. Herron για τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη λύση προβλημάτων

Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας της διδακτικής των φυσικών επιστημών αφορά λύση προβλημάτων. Ο Herron υπογραμμίζει ότι «όλη η μάθηση καταλήγει στη λύση προβλημάτων και καθώς υπάρχουν πάρα πολύ τρόποι για να πάμε σε λάθος μάθηση υπάρχουν πολλοί μαθητές που ο καθένας απ' αυτούς πηγαίνει με διαφορετικούς εσφαλμένους τρόπους σε διαφορετικές στιγμές σε λάθος λύσεις» (Cardellini, 2002).

Δύο γενικές κατηγορίες καλύπτουν την πλειονότητα αποτυχιών στη λύση προβλημάτων. Η μια απ' αυτές έχει να κάνει περισσότερο με τους δασκάλους παρά με τους μαθητές. Εμείς μεταδίδουμε την αντίληψη ότι υπάρχει μόνο ένας τρόπος για να λυθεί ένα πρόβλημα και ότι το μονοπάτι για τη λύση πρέπει να είναι ξεκάθαρο. Κατά συνέπεια, οι μαθητές, όταν εξετάζουν ένα πρόβλημα και αντιλαμβάνονται ότι αυτοί δεν γνωρίζουν πώς να το λύσουν, γρήγορα τα παρατούν. Δεν βλέπω βασική διαφορά στο τι πρέπει να συμβαίνει, όταν οι νέοι αντιμετωπίζουν ένα «καινούργιο» πρόβλημα και τι συμβαίνει όταν τα παιδιά προσχολικής ηλικίας μαθαίνουν να προσαρμόζουν ξύλινα σχήματα μέσα στις αντίστοιχές τους κοιλότητες. Τα παιδιά προσχολικής ηλικίας δαπανούν αρκετό χρόνο ασχολούμενα με τη μέθοδο της δοκιμής-λάθους, προσπαθώντας να πέσουν τα στρογγυλά κομμάτια μέσα σε τετράγωνα κοιλότητες, γυρίζοντας κομμάτια μισή περιστροφή με λάθος τρόπο για να τα προσαρμόσουν κ.ο.κ. Μ' αυτό τον τρόπο συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τα κομμάτια και τις κοιλότητες, μέχρις ότου τα παιδιά συντονίσουν αντίληψη και πράξη για να τοποθετούν χωρίς λάθος τα κομμάτια στις κατάλληλες κοιλότητες με την πρώτη προσπάθεια. Όλη η αλήθεια στη λύση προβλημάτων είναι παρόμοια και αυτό λαμβάνει χώρα στο να ανακαλύψουμε τι πληροφορίες αποθηκεύονται στον εγκέφαλό μας που μπορεί να είναι σχετικές για το πώς τα κομμάτια συναρμολογούνται. Οι διάφορες μεταγνωστικές στρατηγικές και ευρετικές μας διδάσκουν πώς να βελτιώσουμε την ικανότητά μας στη λύση προβλημάτων και είναι απλώς τεχνάσματα που μας βοηθούν στο να αποθηκεύουμε πληροφορίες και να βρίσκουμε σχέσεις.

Μια άλλη μεγάλη πηγή αποτυχίας στη λύση προβλημάτων, ιδιαιτέρως του τύπου που κοινώς απαντούμε στη χημεία, είναι η φτωχή εννοιολογική κατανόηση. Οι στοιχειομετρικοί υπολογισμοί, για παράδειγμα, είναι κατ' ανάγκη σκοτεινοί, όταν οι



σχέσεις μεταξύ σωματιδίων, μάζας και ποσότητας ουσίας εμπεριέχονται στην έννοια του πολε και δεν κατανοούνται.

Η εκπαίδευση συχνά ασχολείται με το να παίρνουμε σωστές απαντήσεις, με αποτέλεσμα οι μαθητές συχνά να μαθαίνουν αλγορίθμους για να παίρνουν σωστές απαντήσεις, χωρίς να εκτιμούν τι οι απαντήσεις σημαίνουν και γιατί οι αλγόριθμοι «δουλεύουν». Πάρτε για παράδειγμα την περίπτωση των ποσοστών. Σχεδόν κάθε ενήλικας γνωρίζει πως να υπολογίζει ένα ποσοστό με το να διαιρεί το μικρό αριθμό με το μεγάλο και να πολλαπλασιάζει με το 100. Αλλά πολλοί που εφαρμόζουν τον αλγόριθμο έχουν μικρή κατανόηση του τι τα αποτελέσματα υπαινίσσονται. Ενώ είναι ικανοί να εφαρμόζουν κανόνες, τρόπους υπολογισμού και να παράγουν σωστά αποτελέσματα, δεν κατανοούν τη σημασία τους, και αυτό αναπαριστά ένα πρωτογενές επίπεδο γνώσης. Το να είναι ικανοί να εφαρμόζουν κανόνες και να δίνουν απαντήσεις που κατανοούν αναπαριστά ένα δεύτερο και αναμφισβήτητα ένα υψηλότερο επίπεδο γνώσης.

Αλλά υπάρχει κατά τον Heppon και ένα τρίτο πιο σημαντικό επίπεδο. Αυτό συμβαίνει όταν κάποιος μπορεί όχι μόνο να εφαρμόζει κανόνες και να κατανοεί τα αποτελέσματα, αλλά να μπορεί να κατανοεί γιατί ο κανόνας δίνει ένα πρακτικό αποτέλεσμα. Επίσης ότι η κατανόηση μπορεί να πάρει μια ποικιλία μορφών και να ανακαλύπτει έναν αριθμό σχέσεων που μπορούν να εκφράζονται με παρόμοιους κανόνες. Ένα άτομο που κατανοεί ποσοστά σ' αυτό το «τρίτο επίπεδο γνώσης» για παράδειγμα θα μπορούσε εύκολα να βλέπει τη σχέση μεταξύ ποσοστού και μέρη ανά εκατομμύριο ή μέρη ανά δισεκατομμύριο και να αντιλαμβάνεται ότι οποιαδήποτε βάση 10, 12, 144 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει τη σχέση που ονομάζεται ποσοστό με βάση το δέκα (perdecca) ή το δώδεκα (perdozen) ή τις δώδεκα δωδεκάδες (pergross) με τις ίδιες ιδιότητες όπως τα κοινά ποσοστά. Για να επιτύχει αυτό το τρίτο επίπεδο γνώσης αξίζει τον κόπο να αγωνιστείς, αλλά αυτό μπορεί ποτέ να μην επιτευχθεί, όσο οι δάσκαλοι απλώς εστιάζονται πάνω στις σωστές απαντήσεις. Πολύ περισσότερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γιατί μια απάντηση είναι σωστή, τι η απάντηση σημαίνει και πως η λογική χρησιμοποιείται για να φτάσουμε σ' αυτή την απάντηση, μπορεί να χρησιμοποιείται για να απαντήσουμε σε άλλες ερωτήσεις που έχουν επιπλέον τεθεί;

## 2.21 Γιατί πιστεύουμε ότι η πειραματική λύση προβλημάτων βελτιώνει την ικανότητα λύσης προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες – απόψεις από τη γνωσιακή ψυχολογία

Υπάρχει συμφωνία μεταξύ των γνωσιακών ψυχολόγων ότι οι προσλαμβανόμενες πληροφορίες προκειμένου να γίνουν γνώσεις υφίστανται μια σειρά από μετασχηματισμούς και επεξεργασίες σε διάφορα στάδια ή φάσεις επεξεργασίας. Τα κυριότερα στάδια κατά τα οποία οι πληροφορίες συγκρατούνται είναι η αισθητηριακή συγκράτηση, η βραχυπρόθεσμη μνήμη και η μακροπρόθεσμη. Η διάρκεια συγκράτησης καθώς και η φύση επεξεργασίας των πληροφοριών σε κάθε στάδιο είναι διαφορετική, συνεπώς μπορούμε να δεχτούμε ότι και ο τρόπος αναπαράστασης τους θα πρέπει να είναι διαφορετικός. Η αναπαράσταση στα αρχικά στάδια (αισθητηριακή και βραχύχρονη μνήμη) βασίζεται περισσότερο σε αντιληπτικά χαρακτηριστικά και είναι δυνατόν οι



πληροφορίες να αναπαριστάνονται με κάποιο τρόπο που να μοιάζει με εικονική αναπαράσταση, γι' αυτό λέγεται και νοητική εικόνα (mental image). Στο προχωρημένο επίπεδο της μακρόχρονης μνήμης η αναπαράσταση είναι πιθανόν να στηρίζεται σε σημασιολογικά χαρακτηριστικά.

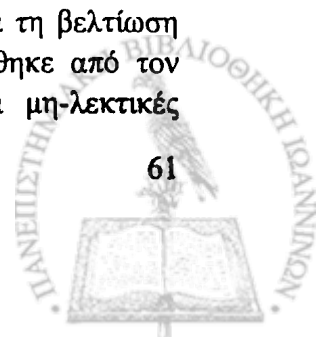
Μια νοητική εικόνα δεν είναι «μια εικόνα στον εγκέφαλο» αλλά αναπαράσταση ορισμένων στοιχείων των προσλαμβανομένων πληροφοριών. Στα δύο πρώτα στάδια συγκράτησης κυρίως αναπαρίστανται στοιχεία που αναφέρονται στο μέγεθος, τη θέση, το σχήμα ή το χρώμα των πληροφοριακών στοιχείων. Συνεπώς στις νοητικές εικόνες φαίνεται ότι κωδικοποιείται και αναπαριστάνεται κυρίως η δομή των πληροφοριών μέσα στο χώρο καθώς και η θέση και διαδοχή τους μέσα στη σειρά (Gagne, 1985, Anderson, 1985, Πόρποδας, 1993, σ. 234). Ο Anderson (1985) αναφέρει ότι τα γεωμετρικά σχήματα, αναπαριστάνονται στα δύο πρώτα στάδια σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της θέσης τους στο χώρο ενώ οι γραπτές λέξεις αναπαριστάνονται με βάση το στοιχείο της διαδοχής των γραμμάτων μέσα στο χώρο. Συνεπώς η νοητική εικόνα δεν περιέχει όλα τα στοιχεία του ερεθίσματος αλλά είναι μια αφηρημένη αναπαράσταση πληροφοριών που συγκροτείται από επιμέρους δομημένα στοιχεία.

Με δεδομένο το σχηματισμό των νοητικών εικόνων στα αρχικά στάδια αναπαράστασης και γνωσιακής επεξεργασίας των πληροφοριών το ερώτημα που τέθηκε είναι ποιοι είναι οι τύποι των νοητικών μετασχηματισμών που μπορούν να εφαρμοστούν στις νοητικές εικόνες. Συμπεράσματα από σχετικές έρευνες (Cooper & Shepard, 1973, Shepard & Feng, 1972) κατέληξαν ότι: α) τα άτομα εκτελούν νοητικούς μετασχηματισμούς και υπολογισμούς επί της νοητικής εικόνας που έχουν σχηματίσει. β) οι μετασχηματισμοί στους οποίους υποβάλλεται η νοητική εικόνα είναι σταδιακοί.

Οι προσλαμβανόμενες πληροφορίες για να γίνουν γνώσεις πρέπει να συγκρατηθούν και να υποστούν μια σειρά από επεξεργασίες σ' ένα γνωστικό σύστημα που θέτει διάφορους περιορισμούς (χώρου, χρόνου, κ.ά.). Βασικό χαρακτηριστικό των διαδοχικών επεξεργασιών και μετασχηματισμών είναι το στοιχείο της «οικονομίας», οι πληροφορίες να συγκρατούνται με τέτοιο τρόπο ώστε, κατά το δυνατόν, να μειώνεται το «βάρος» στη μνήμη. Έχοντας υπόψη αυτή τη βασική αρχή τα ερωτήματα που τίθενται είναι: α) αν η αναπαράσταση των πληροφοριών στη μακροπρόθεσμη μνήμη γίνεται με βάση τις νοητικές εικόνες και β) αν υπάρχει διαφορά στη συγκράτηση μεταξύ γλωσσικών και οπτικών πληροφοριών.

Μεταξύ των ερευνητών υπάρχει συμφωνία για το σχηματισμό νοητικών εικόνων στα αρχικά στάδια (αισθητηριακή συγκράτηση, βραχυπρόθεσμη μνήμη), υπάρχουν δύο κυρίως απόψεις σχετικά με το σχηματισμό ή τη διατήρηση των νοητικών εικόνων στη μακροπρόθεσμη μνήμη, η πρώτη άποψη είναι γνωστή ως «διττή κωδικοποίηση» (dual code) και η δεύτερη ως «κοινή κωδικοποίηση».

Η θεωρία της διπλής κωδικοποίησης (dual-coding theory – DCT) του Ραϊβίο (Paivio, 1971, Clark & Paivio, 1991) υπογραμμίζει την σημαντικότητα της παρουσίας οπτικών και λεκτικών πληροφοριών με τη μορφή εικόνων και λέξεων για τη βελτίωση της μάθησης των ατόμων. Η θεωρία της διπλής κωδικοποίησης προτάθηκε από τον Ραϊβίο ως μια προσπάθεια να δοθεί ίση βαρύτητα σε λεκτικές και μη-λεκτικές





διαδικασίας. Ο Paivio (1986) ισχυρίστηκε: «Η ανθρώπινη γνωστική ικανότητα είναι μοναδική γιατί μπορεί ταυτόχρονα να ασχολείται και να εξειδικεύεται τόσο με γλωσσικά όσο και με μη λεκτικά αντικείμενα και γεγονότα. Επιπλέον, το γλωσσικό σύστημα παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ότι μπορεί να ασχολείται άμεσα με γλωσσολογικά εισερχόμενα και εξερχόμενα (με τη μορφή ομιλίας και γραφής) ενώ την ίδια στιγμή επιδίδεται σε μια συμβολική λειτουργία σε σχέση με μη λεκτικά αντικείμενα, γεγονότα και συμπεριφορές. Οποιαδήποτε θεωρία αναπαράστασης πρέπει να εξυπηρετεί αυτή τη διπλή λειτουργικότητα». (Paivio, 1986, p. 53).

Η θεωρία υποθέτει ότι υπάρχουν δύο γνωστικά υποσυστήματα, ένα που ειδικεύεται σε επεξεργασία και αναπαράσταση μη λεκτικών αντικειμένων / γεγονότων (π.χ. εικόνες) και ένα άλλο που ειδικεύεται σε γλωσσικές επεξεργασίες. Ο Paivio επίσης διατυπώνει τη θέση για δύο τύπους αναπαραστασιακών μονάδων: οι εικονικές «imagens» για νοητικές εικόνες και οι λογογεννητικές «logogens» για λεκτικές οντότητες τις οποίες περιγράφει ως οντότητες παρόμοιες με τα «chunks» όπως αυτά περιγράφονται από τον Miller (Miller, 1986). Η λογογεννητική μονάδα οργανώνεται στο πλαίσιο συσχετίσεων και ιεραρχιών ενώ η εικονική οργανώνεται στο πλαίσιο σχέσεων μέρους-όλου (part-whole). Η θεωρία της διπλής κωδικοποίησης αναγνωρίζει τρεις τύπους διαδικασιών: 1) αναπαραστασιακή ή απεικονιστική (representational), την άμεση ενεργοποίηση των λεκτικών και μη λεκτικών αναπαραστάσεων, 2) την αναφορική ή παραπεμπτική (referential), την ενεργοποίηση του λεκτικού συστήματος από το μη λεκτικό και αντίστροφα, και 3) συσχετιστική διαδικασία (associative process), ενεργοποίηση των αναπαραστάσεων μέσα στο ίδιο το λεκτικό και μη λεκτικό σύστημα. Μια δεδομένη εργασία μπορεί να απαιτεί ένα ή και τα τρία είδη διαδικασιών.

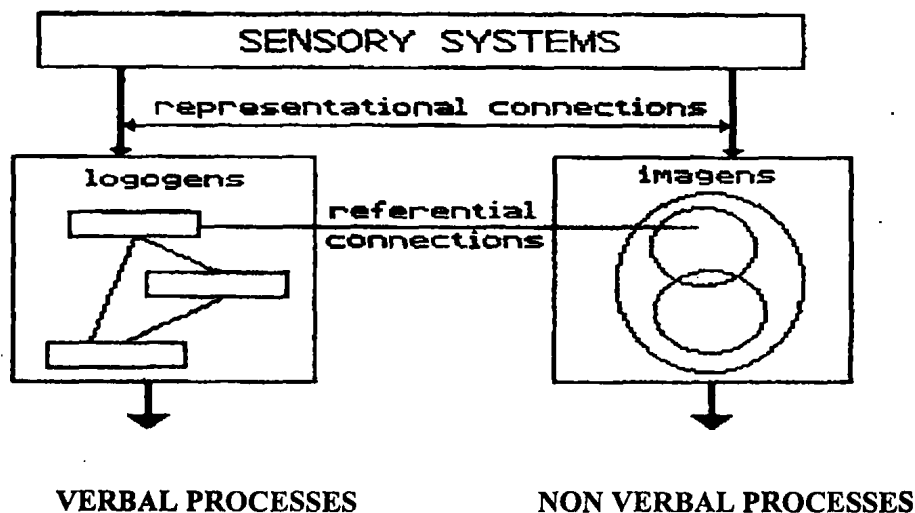
Η θεωρία του διπλού κώδικα έχει εφαρμοστεί σε πολλά γνωστικά φαινόμενα συμπεριλαμβάνοντας: ενίσχυση της ικανότητας απομνημόνευσης, λύση προβλημάτων, μάθηση εννοιών και γλώσσα.

Η θεωρία του διπλού κώδικα υποθέτει ότι τα άτομα αποθηκεύουν τις προσλαμβάνουσες πληροφορίες στην εργαζόμενη μνήμη (working memory) ως λεκτικές (verbal) ή ως οπτικές (visual) αναπαραστάσεις και τις συγκρατεί στη μακροπρόθεσμη μνήμη (long term memory) τόσο σε προφορική-αρθρωτική βάση όσο και σε βάση νοητικών εικόνων. Η εκπαιδευτική ανωτερότητα των εικόνων σε σχέση με τις λέξεις έγκειται στην υπόθεση ότι ενώ οι λέξεις κωδικοποιούνται λεκτικώς, οι εικόνες πιθανότατα κωδικοποιούνται οπτικώς και λεκτικώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται πολύ καλύτερη ανάκληση εικόνων επειδή αυτές είναι διπλά κωδικοποιημένες και αν η μια νοητική αναπαράσταση χαθεί, τότε η άλλη παραμένει διαθέσιμη.

Αν και η θεωρία του διπλού κώδικα προτάθηκε βασισμένη σε έρευνα που χρησιμοποιήθηκαν στατικές απεικονίσεις, αυτή έχει εφαρμοστεί και προσαρμόστηκε για να εξηγήσει την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας με τη χρησιμοποίηση προσομοιώσεων με υπολογιστές (Mayer & Anderson, 1992). Οι Williamson και Abraham (1995) ισχυρίστηκαν ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να θεωρηθούν ως δυναμικές εικόνες, και η χρησιμοποίησή τους στη διδασκαλία της χημείας μπορεί να πυροδοτήσει το



σηματισμό μιας βαθύτερης επανακωδικοποίησης και να βοηθήσει στην ανάπτυξη ενός πιο εκλεπτυσμένου μοντέλου των εννοιών.



Διάγραμμα 2.3 Το μοντέλο διττής κωδικοποίησης (dual code) πληροφοριών κατά τον Paivio.

Αρκετοί ερευνητές της διδακτικής έχουν δείξει ότι η διδασκαλία που συμπεριλαμβάνει απεικόνιση χημικών διαδικασιών με προσομοιώσεις σε μοριακό επίπεδο έχει βελτιώσει την κατανόηση των εννοιών σε μικροσκοπικό επίπεδο (Sanger κ.ά. 2001, Russell κ.ά. 1997, Sanger κ.ά. 2000).

Κατά τη δεύτερη άποψη, την «κοινή κωδικοποίηση» (Anderson & Bower, 1973) οι πληροφορίες συγκερατούνται στη μακροπρόθεσμη μνήμη μόνο υπό μια μορφή, τη μορφή των «προτασιακών μονάδων» (propositions).

Ο Πόρποδας (1993, σ. 235-239) για να δείξει τη μάθηση και συγκράτηση λέξεων και φράσεων στο πλαίσιο των δύο παραπάνω απόψεων αναφέρει το παρακάτω παράδειγμα. Έστω οι λέξεις και φράσεις:

- 1) Διαστημόπλοιο
- 2) Συνείδηση
- 3) Η πολυκή αρκούδα έχει χρώμα άσπρο.
- 4) Η ελευθερία είναι το πολυτιμότερο αγαθό.

Διαπιστώνεται ότι η λέξη (1) ανακαλείται ευκολότερα από τη (2) και η φράση (3) ευκολότερα από τη (4). Σύμφωνα με την άποψη της «διττής κωδικοποίησης» η λέξη (1) και η φράση (3), που αναφέρονται σε συγκεκριμένες έννοιες μπορούν να αναπαρασταθούν με δύο τρόπους στη μακροπρόθεσμη μνήμη, τόσο με βάση τη λεκτική-αρθρωτική φύση τους όσο και ως νοητικές εικόνες. Αντίθετα η λέξη (2) και η φράση (4), που αναφέρονται σε αφηρημένες έννοιες, ανακαλούνται δυσκολότερα διότι μπορούν να αναπαρασταθούν στη μνήμη μόνο με τη λεκτική-αρθρωτική φύση τους. Στην πρώτη

περίπτωση των (1) και (3) παραδειγμάτων η ανάκληση μπορεί να γίνει ακόμη και όταν απωλεσθεί το μνημονικό ίχνος της μιας αναπαράστασης. Στην περίπτωση όμως των παραδειγμάτων (2) και (4) η απώλεια του μνημονικού ίχνους συνεπάγεται αδυναμία μνημονικής ανάκλησης. Σύμφωνα με την άποψη της «κοινής κωδικοποίησης» οι περιπτώσεις (1) και (3) ανακαλούνται αποτελεσματικότερα διότι οι συγκεκριμένες έννοιες συντελούν στο σχηματισμό αρτιότερων «προτασιακών μονάδων» (propositions) απ' ότι οι αφηρημένες έννοιες των περιπτώσεων (2) και (4).

Η αξιοποίηση των νοητικών εικόνων για τη συγκράτηση στη μνήμη γλωσσικών πληροφοριών είναι μια δυνατότητα που δεν πρέπει να αποκλείεται, διότι η συγκράτηση της σειράς και διαδοχής των επιμέρους στοιχείων των πληροφοριών αυτών διευκολύνεται από το σχηματισμό νοητικών εικόνων οι οποίες συγκροτούνται από αυτά τα στοιχεία. Η συγκράτηση όμως των γλωσσικών πληροφοριών «κατά λέξη» θεωρείται ως μια μη φυσιολογική κατάσταση της μακροπρόθεσμης μνήμης. Σχετικές έρευνες έχουν διαπιστώσει ότι κατά τη διαδικασία κατανόησης ενός συνόλου πληροφοριών που προσλαμβάνονται δια του προφορικού ή γραπτού λόγου κατά κανόνα συγκρατείται η κύρια «έννοια» των πληροφοριών αυτών και όχι οι πληροφορίες αυτές «κατά λέξη».

Στην περίπτωση των οπτικώς προσφερόμενων πληροφοριών, πιστεύεται ότι και σ' αυτή την περίπτωση οι γνωσιακές λειτουργίες του ατόμου ενεργούν όπως και στην περίπτωση των γλωσσικών πληροφοριών. Κατά κανόνα αποσπάται και συγκρατείται η έννοια και όχι τα φυσικά χαρακτηριστικά της εικόνας. Επομένως, τόσο στις περιπτώσεις των γλωσσικών όσο και των οπτικών πληροφοριών τα άτομα συγκρατούν κυρίως την έννοια των πληροφοριών παρά τα φυσικά χαρακτηριστικά τους, αν και τα φυσικά στοιχεία των πληροφοριών κωδικοποιούνται πρώτα και ενωρίτερα από το σημασιολογικό περιεχόμενο των πληροφοριών.

Τα παραπάνω αναφερθέντα στοιχεία είναι ασφαλώς σημαντικά στη διδασκαλία και μάθηση. Οι φυσικές έννοιες είναι αφηρημένες και σε πολλές περιπτώσεις αντιδραστικές. Ο σχηματισμός νοητικών εικόνων προϋποθέτει την εμπλοκή του μαθητή σε εικονικές παραστάσεις και σε εικονικές αναλογίες μεταξύ αυτών που προτιθέμεθα να διδάξουμε και εμπειριών από την καθημερινή ζωή. Έτσι εξηγείται ότι ένα μεγάλο μέρος των διδακτικών βιβλίων περιλαμβάνει σχήματα και φωτογραφίες. Οι στατικές εικόνες και οι εικονικές αναπαραστάσεις οντοτήτων και διαδικασιών των χημικών και φυσικών φαινομένων αν και απέχουν πολύ από το να περιγράψουν μια εικονική πραγματικότητα είναι εικόνες επεξεργασμένες από το άτομο που τις σχεδιάζει και τονίζονται εκείνα τα στοιχεία τα οποία ο μαθητής θέλουμε να προσέξει. Στα πειράματα επίδειξης και γενικότερα στη πειραματική διδασκαλία οι συσκευές, τα υλικά και οι μεταβολές που παρατηρούνται κατά την εξέλιξη των πειραμάτων δημιουργούν αξιομνημόνευτες εικόνες και «επεισόδια».

Η αισθητηριακή συγκράτηση πιθανώς διευκολύνεται από το μέγεθος, το χρώμα, τη θέση τους στο χώρο και τη διαδοχή τους σε μια σειρά συναρμολογήσεων και ενεργειών. Στα πειράματα στο εργαστήριο εκτός από την όραση σε πολλές περιπτώσεις για την αισθητηριακή συγκράτηση πληροφοριών συμμετέχουν και άλλες αισθήσεις, όπως η αφή και η όσφρηση. Στις στατικές εικόνες και σε μεγάλο βαθμό στις προσομοιώσεις



έχουν αφαιρεθεί τα περιφερειακά στοιχεία που εισάγουν «θόρυβο» στο εικονικό πληροφοριακό υλικό, γεγονός που είναι πιθανόν να επιτρέπει πιο εύκολη επεξεργασία και μετασχηματισμό, ώστε να σχηματιστούν νοητικές εικόνες.

Οι πειραματικές εικόνες-πραγματικές εικόνες είναι σύνθετες και μαζί με τα στοιχεία που επιθυμούμε να προσληφθούν εισάγονται και στοιχεία από το περιβάλλον. Το κύριο μειονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι ένας αριθμός μαθητών εστιάζει την προσοχή του σε δευτερεύοντα περιφερειακά στοιχεία των εικόνων και όχι σ' αυτά που το πείραμα προτίθεται να τους δείξει.

Στο επίπεδο της λεκτικής επικοινωνίας κατά τη διδασκαλία, μια οργανωμένη διδασκαλία, πρέπει να αναφέρεται ακριβώς σ' αυτά που απαιτούνται για το συγκεκριμένο αντικείμενο που προτίθεται να διδάξει. Το επιπλέον, περιττό «λεκτικό φορτίο» είναι πιθανό να συμβάλει σε μια δυσλειτουργία επεξεργασίας και μετασχηματισμών των προσλαμβανόμενων λεκτικών πληροφοριών και να μη βοηθάει στο σχηματισμό νοητικών εικόνων και παραπέρα στο σχηματισμό εννοιών με ελλιπές σημασιολογικό περιεχόμενο. Στη διαλεκτική μέθοδος διδασκαλίας που εφαρμόσαμε στην παρούσα εργασία (Κεφ. 4, 4.4) πιστεύουμε ότι υπάρχει μια οικονομία «λεκτικού φορτίου» και επιπλέον ο ρυθμός με τον οποίο εισάγονται οι ερωτήσεις από τον διδάσκοντα και εκμαιεύονται οι απαντήσεις των φοιτητών σχηματίζουν μια διαδοχή νοητικών εικόνων που μπορούν πιο εύκολα να συγκρατηθούν, να επεξεργαστούν και να γίνουν έννοιες.

Στη περίπτωση της διδασκαλίας με τη βοήθεια πειραμάτων ο μαθητής αλληλεπιδρά πληροφοριακά με εικονικές και λογογεννητικές παραστάσεις. Σύμφωνα με τη θεωρία της διπλής κωδικοποίησης του Ραϊνίο που αναφέραμε είναι δυνατόν η απεικονιστική δύναμη των πειραμάτων να ενεργοποιεί λεκτικές και μη λεκτικές αναπαραστάσεις. Η ταυτόχρονη επίδειξη των εικονικών παραστάσεων από την πειραματική διάταξη και οι λεκτικές πληροφορίες που τη συνοδεύουν να λειτουργεί στην αναφορική ενεργοποίηση του λεκτικού συστήματος από το μη λεκτικό και τέλος η συσχετιστική διαδικασία να ενεργοποιεί αναπαραστάσεις μέσα στο ίδιο το λεκτικό και μη λεκτικό σύστημα.

Η εκπαιδευτική ανωτερότητα των πειραμάτων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι δυνατόν να ισχυριστούμε ότι δημιουργείται από τις διττά κωδικοποιημένες νοητικές εικόνες που επεξεργάζονται και συγκρατούνται καλύτερα στη μνήμη αφού αν η μια νοητική αναπαράσταση χαθεί, τότε η άλλη παραμένει διαθέσιμη.

## 2.22 Το μαθησιακό στυλ και η επίδρασή του στη μάθηση

Οι τρεις διαστάσεις του μαθησιακού στυλ στο μοντέλο πειραματικής μάθησης των Kolb και Fry:

- α) Εξάρτηση / ανεξαρτησία πεδίου
- β) Αφηρημένη εννοιολόγηση σε σχέση με τη συγκεκριμένη εμπειρία
- γ) Πειραματισμός σε σχέση με τη συλλογιστική

Επισημαίνουν τρία βασικά σημεία, το πρώτο σημείο είναι ότι η ικανότητα για μάθηση δεν σχετίζεται γραμμικά με τη νοημοσύνη. Κάποια στυλ μάθησης είναι περισσότερο κατάλληλα σε κάποιες περιστάσεις και αυτά είναι ισοδύναμης αξίας τρόποι για την



κατανόηση του κόσμου. Οι ανεξάρτητοι πεδίου φαίνεται να είναι περισσότερο αποτελεσματικοί σε ακαδημαϊκές καταστάσεις μάθησης. Οι Kolb και Fry δηλώνουν ότι οι πολύ καλοί μαθητές μπορούν να χρησιμοποιούν και τα τέσσερα στυλ, ανάλογα με την περίπτωση.

Το δεύτερο σημείο είναι κατά πόσο το μαθησιακό στυλ κάθε ατόμου είναι ένα καθορισμένο τμήμα της προσωπικότητάς του. Η απάντηση είναι αρνητική. Ο Witkin κ.ά. (1977) ισχυρίζονται ότι η εξάρτηση πεδίου οφείλεται στην κοινωνικοποίηση παρά σε γενετικούς παράγοντες και μπορεί να μεταβάλλεται αν αυτή τίθεται σε δοκιμασίες. Για παράδειγμα αν τα άτομα που είναι ανεξάρτητα πεδίου στρέψουν την προσοχή τους σε κοινωνικά θέματα, αυτοί μπορούν να έχουν επίδοση εξίσου καλή σ' αυτά με τους εξαρτημένους πεδίου. Ο Bostock (2000) αναφέρει ότι είναι καλύτερα να σκεφτόμαστε τους μαθητές ως να έχουν ένα φάσμα μαθησιακών στυλ διαθέσιμο για διαφορετικές περιστάσεις που για κάποιους είναι στενό και για άλλους ευρύτερο. Οι Kolb και Fry (1975) συστήνουν ότι ο «ολοκληρωμένος μαθητής δεν υιοθετεί μόνο ένα στυλ κατάλληλο για μια περίπτωση αλλά πρέπει να μπορεί να ενοποιεί και τα τρία στυλ».

Το τρίτο σημείο είναι ποια σημαντικότητα έχουν αυτά για την διδασκαλία. Θα πρέπει το διδακτικό στυλ να προσαρμόζεται στο προεξέχον μαθησιακό στυλ του μαθητή; Έχει αποδειχθεί ότι δάσκαλοι και σπουδαστές είναι ευτυχείς όταν τα στυλ τους ταιριάζουν. Υπάρχει πολύ καλύτερη επικοινωνία και κατανόηση. Αυτό μπορεί να δείξει τι διδακτικό στυλ θα πρέπει να προσαρμοστεί στο μαθησιακό στυλ. Εντούτοις, τα πολύ καλά μαθησιακά περιβάλλοντα δεν είναι απαραίτητως προσαρμοσμένα με τις προσδοκίες των μαθητών. Υπάρχει ένας χώρος στη μάθηση για σύγκρουση ή το λιγότερο για πρόκληση ή για εμπειρίες που θα κλονίσουν. Η διαδικασία «προσαρμογής» (accommodation), όταν έρχεται αντιμέτωπη με τις νέες εμπειρίες, είναι σημαντική στην πορεία της νοητικής εξέλιξης του ατόμου.

Αν σκοπός της εκπαίδευσης είναι να πλάσει ικανούς μαθητές και σκεπτόμενους πολίτες, τότε θα πρέπει να τους βοηθήσει να διευρύνουν το φάσμα των στυλ μάθησής τους. Σε κάθε περίπτωση στηρίζοντας τους μαθητές να κατανοήσουν τις δικές τους διαδικασίες μάθησης τους βοηθάμε να μάθουν καλύτερα και να γίνουν περισσότερο ανεξάρτητοι μαθητές. Αυτό συμπεριλαμβάνει ενθάρρυνση των μαθητών να επεκτείνουν τα μαθησιακά τους στυλ. Είναι πολύ καλύτερο να τους παρέχουμε μια ποικιλία διδακτικών στυλ σε διαφορετικά διδακτικά περιβάλλοντα, έτσι που μια ποικιλία τύπων μάθησης να μπορεί να αναπτύσσεται και όλοι να δοκιμάζουν διαφορετικά διδακτικά στυλ.

### 2.23 Κίνητρα και μάθηση

«Η μάθηση αφορά τους σταθεροποιημένους μέσω της επανάληψης τρόπους αντίδρασης, ενώ η σκέψη τις νέες αντιδράσεις που παράγει κανείς, όταν αποτυγχάνουν οι μαθημένοι τρόποι αντιμετώπισης των πραγμάτων. Η μάθηση λοιπόν προϋποθέτει προηγούμενη άσκηση ή εμπειρία για τη διαμόρφωση της συγκεκριμένης κάθε φορά συμπεριφοράς. Στην πραγματικότητα η μάθηση αφορά μόνο τις επιδράσεις του



παρελθόντος στην τρέχουσα αντίδραση. Το ίδιο ισχύει για την κληρονομικότητα, που προσδιορίζει τις γενετικά καθορισμένες συμπεριφορές και προδιαθέσεις.

Τα κίνητρα, αντιθέτως, αφορούν τις τρέχουσες επιδράσεις στη συμπεριφορά. Είναι οι παράγοντες εκείνοι που προσφέρουν την τάση που είναι απαραίτητη για την κινητοποίηση, την έναρξη ή τερματισμό μιας συμπεριφοράς. Δεν εξηγούν όμως πώς αποκτήθηκε ή πώς ανακαλείται από τη μνήμη η σχετική συμπεριφορά. Οι επιδράσεις αυτές συχνά είναι παροδικές και ευμετάβλητες, αντίθετα από τις επιδράσεις της μάθησης που χαρακτηρίζονται από σταθερότητα.

Τα κίνητρα διαφέρουν και από τη σκέψη, διότι ενώ η δεύτερη αφορά την αναπαράσταση των τρεχουσών καταστάσεων και τον εντοπισμό των μονοπατιών που είναι δυνατό να οδηγήσουν στην επίτευξη ενός στόχου, τα κίνητρα επηρεάζουν την επιλογή του μονοπατιού μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών που προσφέρονται. Τα κίνητρα, με άλλα λόγια, αφορούν τους δυναμικούς παράγοντες της ανθρώπινης συμπεριφοράς, τους παράγοντες που αλληλεπιδρούν με τους γνωστικούς κατά τη διαμόρφωση και εκδήλωση της δράσης. Ένα κίνητρο μπορεί να δρα μόνο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και σε συγκεκριμένο τόπο ή υπό ορισμένες συγκεκριμένες συνθήκες. Σε μια τέτοια περίπτωση, η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη διαμόρφωση του κινήτρου και της συμπεριφοράς θεωρείται κρίσιμη» (Κωσταρίδου-Ευκλείδου, 1997, σ. 19).

Οι νοητικές ικανότητες και τα κίνητρα φαίνεται να είναι ενοποιημένα τμήματα της επιτυχίας των σπουδαστών. Ένας σπουδαστής που έχει την ικανότητα να λύνει δύσκολα προβλήματα αλλά έχει μικρό ή καθόλου κίνητρο για τις σπουδές του φαίνεται πιθανό να μην είναι περισσότερο επιτυχής από ένα σπουδαστή ο οποίος έχει σημαντικό κίνητρο με λιγότερες επιδεξιότητες στην λύση προβλημάτων (Clark, κ.ά., 2000).

Η μέτρηση των κινήτρων είναι πολύ δύσκολη, επειδή είναι βέβαιο ότι λίγα άτομα οδηγούνται από ένα απλό ομογενές σύνολο στενά συσχετισμένων παραγόντων. Παρ' όλα αυτά, η εργασία του Adar (1969) και των Hofstein και Kempa (1985) είναι ένα χρήσιμο μοντέλο για τους σκοπούς της κατηγοριοποίησης των μαθητών σε κύριες κατηγορίες κινήτρων, αναγνωρίζοντας ταυτόχρονα ότι θα υπάρχει κάποια επικάλυψη μεταξύ των κατηγοριών.

Ο Adar πρότεινε τέσσερις κατηγοριοποιήσεις: τους επιτευγματίες, τους συνεπείς, τους περιέργους και τους κοινωνικούς. Επιτευγματίας είναι ο μαθητής που έχει μια καθαρή προτίμηση για μια αναλυτική μέθοδο διδασκαλίας και μάθησης. Αρέσκεται στην πρόκληση του ανταγωνισμού με άλλους για υψηλούς βαθμούς και δυσαρεστείται όταν συμμαθητές του, που έχουν αργούς ρυθμούς τον καθυστερούν.

Συνεπής είναι ο μαθητής ο οποίος έχει επίσης προτίμηση για μια αναλυτική μέθοδο διδασκαλίας και μάθησης και αισθάνεται σίγουρος μόνο όταν του δίνονται καθαροί αντικειμενικοί στόχοι και ακριβείς οδηγίες. Στους στόχους του προσβλέπει να έχει καλές σχέσεις με το δάσκαλο και να ικανοποιεί τις προσδοκίες του οικογενειακού του περιβάλλοντος. Επιμελώς προετοιμάζεται για τις εξετάσεις και εργάζεται σκληρά.

Περίεργος είναι ο μαθητής που προτιμά ελευθερία στη μάθηση και στο να ανακαλύπτει. Αρέσκεται σε εργασίες χωρίς πολλούς περιορισμούς και βρίσκει τις αυστηρές οδηγίες δυσάρεστες.

Κοινωνικός είναι ο μαθητής που είναι πολύ κοινωνικός και συνεπής με την ομάδα που συναναστρέφεται. Προτιμά να μελετά με φίλους και να συζητά προβλήματα. Είναι αρκετά αναμεμιγμένος σε κοινωνικά γεγονότα και ο χρόνος του για συνεπή μελέτη έχει την τάση να είναι περιορισμένος και της τελευταίας στιγμής.

Αυτές οι τέσσερις κατηγορίες προήλθαν από μια μεγάλη ανάλυση παραγόντων από τον Adar, αλλά λίγα άτομα θα μπορούσαν να τοποθετηθούν εξ' ολοκλήρου σε μια απ' αυτές τις κατηγορίες. Υπάρχει συνεπώς μια πρόβλεψη ότι κάθε τεστ γι' αυτούς τους χαρακτηρισμούς θα μπορούσε να αποδώσει επικαλύψεις για κάποιους μαθητές. Κάποιοι μαθητές βρίσκονται κυρίως σε μια κατηγορία αλλά κάποιοι άλλοι «απλώνονται» έτσι που να μην μπορούν να κατηγοριοποιηθούν.

Το υλικό του τεστ του Adar συνίσταται από δηλώσεις οι οποίες ρωτούν τους μαθητές να τις τοποθετήσουν σε μια κλίμακα πέντε σημείων. Στη συνέχεια οι επιλογές των δηλώσεων ομαδοποιούνται για να τοποθετηθεί ο κάθε μαθητής σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες.

Διάφορες εκδοχές απλοποιημένων τεστ κοινωνικών χαρακτήρων έχουν συνταχθεί και δοκιμαστεί (Su, 1991) για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του τεστ του Adar και για να προκύψουν εμπειρίες για καλύτερη διαχείρισή τους. Η πιο επιτυχής εκδοχή περιλαμβάνει 16 δηλώσεις, 4 για κάθε κατηγορία των κοινωνικών στυλ. Τέσσερις μαθησιακές καταστάσεις επιλέχτηκαν και για κάθε μια υπήρχε μια δήλωση η οποία θα συμφωνούσε με τους επιτευγμάτιες, μια με τους συνεπείς, μια με τους κοινωνικούς και μια με τους περίεργους. Κάθε δήλωση παρουσιάστηκε ως ένα «εικονογραφικό μπαλόνι» που λέγεται από «ένα εικονιζόμενο μαθητή».

Οι οδηγίες που δίνονται στους μαθητές είναι: «παρακαλώ κοίταξε την κάθε σειρά και αποφάσισε ποιος μαθητής έχει μια άποψη που είναι πιο κοντά στη δική σου. Γράψε το όνομα αυτού του μαθητή στον κενό χώρο στην τελευταία στήλη». Αυτό το σχήμα επιλέγεται για να εστιαστεί ο μαθητής πάνω σε μια απλή κατάσταση κάθε φορά και να «προσωποποιήσει» την επιλογή του με το να ζητά συμφωνία με άλλα πρόσωπα. Ομολογουμένως αυτό είναι μια εξαναγκασμένη ενέργεια όταν ζητάμε, π.χ., άποψη που μοιάζει περισσότερο με την δική σου, αλλά δεν είναι μια ασυνήθιστη κατάσταση για μαθητές το να βρίσκουν τους εαυτούς τους σ' αυτές τις καταστάσεις στην καθημερινή ζωή.

Οι Johnstone και Al-Naeme (1995), ερευνώντας το στυλ κινήτρων σε δεκαπεντάχρονους στη Σκωτία, βρήκαν ότι ένα (5%) μπορούν να τοποθετηθούν στους επιτευγμάτιες. Οι περισσότεροι μαθητές θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως συνεπείς (37%) και ένα (27%) κοινωνικοί. Οι παραπάνω ερευνητές σημειώνουν ότι η εικόνα του κοινωνικού δεν μας εκπλήσσει, όταν εξετάζεται μια τάξη με δεκαπεντάχρονους. Οι περίεργοι αποτελούσαν το (15%) και είναι η μικρότερη κατηγορία μετά τους επιτευγμάτιες και τέλος ένα ποσοστό 16% δεν τοποθετήθηκαν με βάση το παραπάνω



σχήμα επιλογής σε καμία κατηγορία. Το μοντέλο που αναδύθηκε είναι σε συμφωνία με την κοινή εμπειρία.

Τα αναλυτικά προγράμματα χημείας στην Αγγλία εμφανίζονται να έχουν υλικά τα οποία δίνουν κίνητρα για τον επιτευγματία και τον συνεπή τύπο μαθητή, καθόσον έχουν δηλωμένους αντικειμενικούς στόχους, προσεχτικά δομημένη εργασία σε φύλλα εργασίας και συχνές ευκαιρίες για επιβεβαίωση και αξιολόγηση. Για τους κοινωνικούς μαθητές, υλικό για συζήτηση (Holman, 1987) είναι διαθέσιμο για να τους παρακινήσει και να τους δώσει ευκαιρίες για εργασία και ανάπτυξη επιχειρηματολογίας σε ομάδες. Οι μικρές εργασίες θα μπορούσαν να παρέχουν ένα ερέθισμα κυρίως για τους περιέργους μαθητές και σε μικρότερο βαθμό στους άλλους.

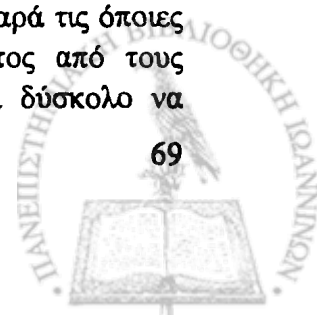
Η δική μας ερευνητική μεθοδολογία λαμβάνει υπόψη της τα παραπάνω και θεωρεί ότι μπορεί να προσφέρει κίνητρο για μάθηση αλλά και να καλύψει τις ανάγκες των διαφορετικών μαθησιακών στυλ και κοινωνικών τύπων των φοιτητών.

#### 2.24 Απόπειρα μοντελοποίησης της λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο

Η δραστηριότητα επίλυσης προβλημάτων με πειράματα από σπουδαστές, ορίζεται από τους Duggan και Gott (1995) «ως ένα είδος προβλήματος για το οποίο οι σπουδαστές δεν μπορούν αμέσως να δουν την απάντηση ή να θυμηθούν τη μέθοδο που θα εφαρμόσουν για να φτάσουν στη λύση». Ο Millar (1996) διευκρινίζει τον παραπάνω ορισμό λέγοντας ότι «η λύση προβλημάτων με πειράματα είναι μια ερευνητική προσπάθεια, που η προσέγγιση που ακολουθείται για να απαντήσουμε σε μια ερώτηση ή να επιλύσουμε ένα πρόβλημα είναι «ανοιχτή». Οι μαθητές μπορούν ν' αποφασίσουν τι παρατηρούν, τι μετρούν, τι τροποποιούν, ποιον εξοπλισμό θα χρησιμοποιήσουν και πως θα τον χειριστούν». Αυτοί οι ορισμοί, αντιστοιχούν σε υψηλά επίπεδα της ταξινόμησης διδακτικών στόχων κατά Bloom (1956, 1964, 1980), όπου εκτός από κατανόηση και εφαρμογή συμπεριλαμβάνεται η ανάλυση, η σύνθεση και η αξιολόγηση.

Επιπροσθέτως πρέπει να αναφέρουμε ότι το εκπαιδευτικό περιβάλλον και η εκπαιδευτική διαδρομή των σπουδαστών στις προηγούμενες εκπαιδευτικές βαθμίδες, το διαθέσιμο πειραματικό υλικό, οι ικανότητες και οι γνώσεις των δασκάλων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εκτέλεση της πειραματικής εργασίας από τους σπουδαστές. Όπως αναφέρει ο Roth (1994), τα παραπάνω συμβάλλουν ώστε να ορίσουμε καλύτερα το πρόβλημα, να διατυπωθούν υποθέσεις και ιδέες που να είναι πιο νεωτεριστικές και στο βαθμό που οι διαθέσιμες δεξιότητες και η υλικοτεχνική υποδομή θα το επιτρέψουν οι σπουδαστές θα προχωρήσουν στην πραγματοποίηση των πειραμάτων.

Όσον αφορά στην πορεία που ακολουθήθηκε από τις ομάδες των φοιτητών στη δική μας έρευνα (βλέπε, κεφ. 7), αν και αυτοί δεν είχαν εκ των προτέρων μια συνολική και προδιαγεγραμμένη εικόνα, με καλά οριοθετημένες φάσεις, από την διαδικασία που ακολουθήθηκε οι φάσεις που περιγράφονται παρακάτω σκιαγραφούν ένα μοντέλο πειραματικής εργασίας, που αναδύεται από τον τρόπο που εργάστηκαν. Παρά τις όποιες παλινδρομήσεις παρατηρήθηκαν στην πειραματική επίλυση προβλήματος από τους φοιτητές του δείγματός μας, η πορεία, που διαγράφηκε, αν και είναι δύσκολο να





περιοριστεί σε μια γραμμική εναλλαγή σαφώς οριοθετημένων φάσεων, μπορούμε να σημειώσουμε ότι συμπεριλαμβάνει:

- μια φάση διατύπωσης του προβλήματος
- μια φάση υποθετικών προτάσεων
- μια φάση αντιπαραβολής των προτάσεων αυτών σε μια πραγματοποιήσιμη πρακτική
- μια φάση πειραματικής εφαρμογής
- μια φάση παρατηρήσεων, μετρήσεων και αποτελέσματος και
- μια φάση ανακοίνωσης των αποτελεσμάτων

Η παραπάνω διάθρωση βρίσκεται σε συμφωνία και με άλλες σχετικές έρευνες (Devalay, 1989, Dupont, 1992, Furio Mas, et al., 1994).

## 2.25 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο προϋποθέτει μια γνωστική υποδομή

Πριν ζητήσουμε από τους μαθητές / φοιτητές να ασχοληθούν με οποιοδήποτε τύπο εργαστηριακής εργασίας, πρέπει να γνωρίζουμε σε ποιο βαθμό αυτοί σχετίζονται με το γνωστικό περιεχόμενο. Για παράδειγμα, αν οι μαθητές έχουν μικρή ή μη σχετική γνώση περιεχομένου, αυτοί δεν θα είναι ικανοί να εξηγήσουν γιατί ένα διάλυμα έχει αλλάξει χρώμα, αυτοί απλώς κάνουν μια «παρατήρηση».

Κάτι ανάλογο ισχύει, όταν επινοείται μια διαδικασία. Οι μαθητές μπορεί να πασχίζουν να καταλάβουν τα αποτελέσματα από τη διαδικασία που ακολούθησαν, επειδή τους λείπει η γνώση που θα τους πει ότι τα συμπεράσματά τους είναι χωρίς νόημα, γιατί ο πειραματικός σχεδιασμός τους δεν ήταν σωστός. Συνεπώς, οι δάσκαλοι πρέπει να προσδιορίσουν σ' ένα βαθμό πόση γνώση περιεχομένου είναι αναγκαία και σε ποιο βαθμό οι μαθητές την κατέχουν, για να είναι ικανοί να εμπλακούν σε μια συγκεκριμένη εργαστηριακή εργασία. Αυτό αποτελεί ένα από τα ουσιαστικά στοιχεία που περιέχονται σ' αυτό που ο Johnstone (1997) εννοεί ως «εργαστηριακή εργασία». Η έρευνα είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενη από τη γνώση και δεν μπορεί να λάβει χώρα σ' ένα γνωστικό κενό. Οποιαδήποτε άποψη ότι η έρευνα είναι ανεξάρτητη των προηγηθέντων γνώσεων και δεξιοτήτων και ότι μπορεί άμεσα να μεταδοθεί είναι απίθανο να είναι σωστή.

Στη δική μας έρευνα, κατά τη διδακτική παρέμβαση «Α» (κεφ. 6), όπου σ' αυτή διδάχθηκαν θεμελιώδεις έννοιες της αέριας κατάστασης, σκοπό είχε να δημιουργήσει τις παραπάνω προϋποθέσεις, πριν οι φοιτητές εμπλακούν σε μια τέτοια πειραματική διαδικασία.

Η ικανότητα να καταρτιστεί μια πειραματική διαδικασία που να δίνει λύση σ' ένα πρόβλημα υποθέτει ότι οι μαθητές / φοιτητές είναι σε θέση να επιστρατεύσουν τις γνώσεις που είναι σχετικές με τις ιδιότητες π.χ. των αερίων και τον τρόπο αλληλεπίδρασή τους με υγρά και στερεά σώματα (άσκηση πίεσης αερίου στην επιφάνεια υγρού, διαλυτότητα αερίου σε υγρό κ.ά.).

Όταν οι μαθητές / φοιτητές έχουν κάποια συμμετοχή στο σχεδιασμό μιας εργαστηριακής άσκησης είναι πιθανό να έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το



αποτέλεσμα και να έχουν μεγαλύτερο κίνητρο για να επιμείνουν. Οι ανοιχτές εργαστηριακές εργασίες προσφέρουν μεγαλύτερες ευκαιρίες για να εμπλακούν οι μαθητές και να γίνουν κάτοχοι μιας εργασίας, και αυτό μπορεί να παρεμποδίζεται αν αυτοί δεν έχουν επαρκή γνωστική υποδομή.

Η Solomon (1988) ισχυρίζεται ότι «τα σημαντικά πειράματα που έγιναν στο παρελθόν εκτελέστηκαν μ' ένα πνεύμα ενθουσιασμού από τους επιστήμονες και αυτοί αποδείκνυαν ότι η διαίσθησή τους ήταν θριαμβευτικά σωστή και οι μαθητές επίσης είναι ευτυχείς και πιο επιτυχημένοι, όταν και αυτοί κάνουν το ίδιο».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΙΙ

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΑΕΡΙΑ - ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

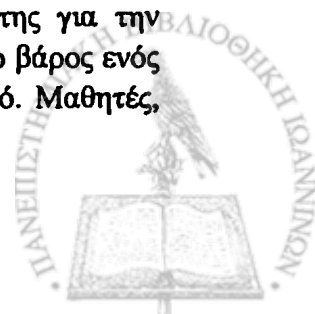
##### 3.1 Ιδέες των μαθητών σε σχέση με τα αέρια και την αέρια κατάσταση

Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις των παιδιών για τα αέρια (Brook & Driver, 1989, Sere, 1985 & 1986, Mass, Perez & Harris, 1987, Piaget, 1929, Stavy, 1988, Borghi, κ.ά. 1988). Τα ευρήματα από τις έρευνες αυτές μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω σημεία.

- Αρχικά τα παιδιά δεν αναγνωρίζουν στον αέρα και στα άλλα αέρια μια υλική υπόσταση. Τα μικρότερα παιδιά αν και δέχονται την ύπαρξη του αέρα, θεωρούν ότι έχει προσωρινό χαρακτήρα, όμοιο με αυτό των «σκέψεων».
- Στη σκέψη των παιδιών ο αέρας και το αέριο προκαλούν αντίθετα συναισθήματα. Ο αέρας είναι «καλός», χρήσιμος στη ζωή και στην αναπνοή, ενώ το αέριο είναι «κακό», γιατί μπορεί να είναι δηλητηριώδες, επικίνδυνο και εύφλεκτο.
- Αργότερα οι μαθητές αποκτούν μια συναίσθηση του υλικού χαρακτήρα των αερίων. Ωστόσο ένα σημαντικό ποσοστό θεωρούν ότι ο αέρας και τα αέρια δεν έχουν μάζα ή βάρος.

Η Leboutet-Barrell (1976) υποστηρίζει ότι η τελευταία αντίληψη στηρίζεται στην κοινή εμπειρία των παιδιών ότι τα αέρια τείνουν να ανεβαίνουν προς τα πάνω. Παιδιά, ηλικίας 9-13 ετών, έχουν την τάση να προβλέπουν ότι τα αέρια έχουν την ιδιότητα του «αρνητικού βάρους» και γι' αυτό το λόγο όσο περισσότερο αέριο προστίθεται σ' ένα δοχείο τόσο πιο ελαφρύ γίνεται αυτό (Brook & Driver, 1989, Stavy, 1988).

Η Stavy (1988) ερεύνησε με Ισραηλινούς μαθητές, ηλικίας 9-15 ετών, τις αντιλήψεις τους για την υλική φύση των αερίων και κατέγραψε τις ιδέες τους, πριν και μετά τη διδασκαλία. Από τους μαθητές εξητείτο να προβλέψουν τι θα συνέβαινε στο βάρος μιας φιάλης διοξειδίου του άνθρακα, πριν και μετά τη χρήση της για την παραγωγή αεριούχου νερού, καθώς και να προβλέψουν τι θα συνέβαινε στο βάρος ενός ποτηριού με αεριούχο νερό, πριν και αφού φύγουν οι φυσαλίδες από αυτό. Μαθητές,



ηλικίας 10-12 ετών, έδωσαν λιγότερο αποδεκτές απαντήσεις σε σχέση με μικρότερους και μεγαλύτερους μαθητές. Τα παιδιά σ' αυτή την ηλικιακή περιοχή φαίνεται να πιστεύουν σε μεγάλο ποσοστό ότι, επειδή το «αέριο είναι ελαφρύ», το βάρος του αεριούχου νερού είτε θα μειωθεί είτε θα μείνει το ίδιο, αν και βλέπουν τις φυσαλίδες να φεύγουν από αυτό.

Οι Brook, Driver και Hind (1989) κατέγραψαν ότι παιδιά, ηλικίας 5 ετών, δε διαφοροποιούσαν το βάρος από τον όγκο αερίου και χρησιμοποιούσαν το εμφανές μέγεθος του δοχείου για να εκτιμήσουν το βάρος του περιεχόμενου σε αυτό αερίου. Από την ηλικία των 12 ετών, τα παιδιά αρχίζουν να μη συγχέουν το βάρος αερίου με τον όγκο του. Στην ηλικία των 16 ετών λίγα παιδιά εξακολουθούν να διατηρούν αυτή τη σύγχυση. Στην ηλικία των 8 ετών η ιδέα του βάρους του αέρα συνδέθηκε με την εικόνα της πτώσης των αντικειμένων και ο αέρας έμοιαζε μάλλον «να αιωρείται τριγύρω» παρά να ασκεί πίεση. Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν ότι περίπου τα τρία τέταρτα των οκτάχρονων και τα μισά των δωδεκάχρονων του δείγματός τους θεωρούσαν ότι ο αέρας έχει «αρνητικό βάρος» ή καθόλου βάρος. Η ιδέα ότι ο αέρας έχει «θετικό βάρος» είχε κατακτηθεί μόνο από το ένα τέταρτο των δεκαεξάχρονων του δείγματος.

Αν και η ιδέα της άσκησης δύναμης από τον αέρα είναι διαδεδομένη και σε παιδιά μικρότερων ηλικιών, η Carey (1985b) βρήκε ότι μόνο το 36% των παιδιών ηλικίας 10-11 ετών σκέπτονται τον αέρα ως υλικό σώμα με την έννοια ότι καταλαμβάνει χώρο. Οι Brook και Driver (1988) υποστηρίζουν ότι αυτό επιτυγχάνεται από την πλειονότητα των παιδιών μετά την ηλικία των 8 ετών, και αφού προηγηθεί η αυξημένη χρήση της έννοιας «ανταγωνισμός για το χώρο». Η Carey (1991) ισχυρίζεται ότι τα παιδιά αναπαριστούν ένα υλικό σώμα με αρκετά διαφορετικό τρόπο από έναν ενήλικα. Οι αναπαραστάσεις τους έχουν πολύ μεγάλη ποιοτική διαφορά. Οι εννοιολογικές αλλαγές που αυτή περιγράφει σε σχέση με τον τρόπο που τα παιδιά σκέφτονται τις αέριες ουσίες, για ηλικίες πέρα από το δημοτικό σχολείο, εμπλέκουν όχι μόνο ένα πλούτο στην κατανόηση ιδιοτήτων του αέρα, αλλά μια αλλαγή στην οντολογική τους αντίληψη για τη φύση της υλικής ουσίας.

Η Sere (1985) αναφέρει ότι, παρόλο που μερικοί μαθητές, ηλικίας 11-13 ετών, νομίζουν ότι ο αέρας έχει «ελαφρότητα», η έννοια ότι ο αέρας έχει μάζα κατακτάται εύκολα από μαθητές 13 ετών μετά τη διδασκαλία. Επιπλέον, αναφέρει ότι οι μαθητές στην ηλικία των 11 ετών έχουν κατακτήσει την ιδέα της ύπαρξης του αέρα σε ανοιχτά δοχεία. Μεγάλο ποσοστό παιδιών αναφέρθηκε στην ικανότητα του αέρα να μπαινοβγαίνει στα δοχεία. Ωστόσο, βρήκε ότι μερικά παιδιά δεν ήταν σίγουρα αν ένα σφραγισμένο δοχείο περιέχει αέρα και κάποιοι μαθητές αναγνώριζαν την ύπαρξη του αέρα μόνο όταν αυτός εκινείτο.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία του Ruggiero κ.ά. (1985), που διερεύνησαν με δωδεκάχρονους και δεκατριάχρονους μαθητές τη σχέση μεταξύ αέρα και βαρύτητας. Βρήκαν ότι, για ένα ποσοστό μαθητών, ο αέρας και η βαρύτητα είναι έννοιες αδιαχώριστες: «τα πράγματα δεν πέφτουν στο διάστημα, γιατί δεν υπάρχει ατμόσφαιρα και, όταν απουσιάζει ο αέρας, το βάρος μηδενίζεται».

Σε έρευνα του Miller κ.ά. (1985) μεταξύ μαθητών 11-15 ετών, για τις ιδιότητες



του ατμοσφαιρικού αέρα, βρέθηκε ότι σε ανοιχτού τύπου ερωτήσεις οι περισσότεροι από τους μισούς εντεκάχρονους μαθητές του δείγματος χρησιμοποιούσαν αυθόρμητες ιδέες για να εξηγήσουν φαινόμενα που σχετίζονταν με τον ατμοσφαιρικό αέρα, όπως π.χ. «το να ρουφάς με καλαμάκι». Μέχρι την ηλικία των 15 ετών, τα τρία τέταρτα των παραπάνω μαθητών έδωσαν εξηγήσεις που συμπεριλάμβαναν μόνο την έννοια του αέρα.

Μέχρις ότου τα παιδιά οικοδομήσουν την ιδέα ότι τα αέρια έχουν βάρος, είναι απίθανο να δεχτούν τη διατήρηση της μάζας, όταν περιγράφουν χημικές μεταβολές στις οποίες τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα είναι αέρια (Mass, Perez & Harris, 1987).

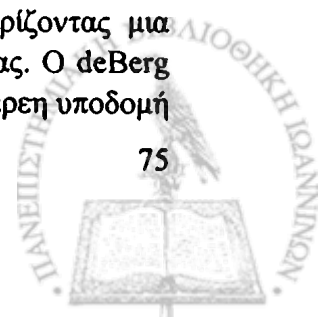
Πολλές έρευνες έχουν γίνει για τις ιδέες των παιδιών και των δασκάλων για τη σωματιδιακή δομή της αέριας κατάστασης (Dow κ.ά, 1978, Novick και Nussbaum 1978, 1981, Driver, 1983, Gabel & Samuel, 1987, Happs, 1980, Nussbaum, 1988). Οι Novick και Nussbaum μελέτησαν τις αντιλήψεις για την αέρια κατάσταση μαθητών 13 και 14 ετών που ήδη είχαν διδαχθεί σωματιδιακή δομή της ύλης. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι μόνο το 60% του δείγματος υπέδειξε ότι τα αέρια αποτελούνται από σωματίδια, το 46% ανέφερε ότι μεταξύ των σωματιδίων υπάρχει κενός χώρος και το 50% θεωρεί ότι η κατανομή των σωματιδίων στο χώρο οφείλεται σ' ένα είδος εσωτερικής κίνησης. Οι ίδιοι ερευνητές σε παρόμοιες μελέτες τους με μεγαλύτερους μαθητές προτείνουν την εφαρμογή μιας διδακτικής στρατηγικής βασισμένης στη γνωστική σύγκρουση (conceptual conflict) για τη διδασκαλία της σωματιδιακής δομής (Novick & Nussbaum, 1981, Nussbaum & Novick, 1982).

Ο Ben-Zvi κ.ά. (1987) ερεύνησαν τον τρόπο που δεκαπεντάχρονοι οπτικοποιούν το σύμβολο  $O_2$  (g). Βρήκαν ότι μόνο το 10% το απεικόνιζε σαν πολλά διασκορπισμένα μόρια οξυγόνου.

### 3.2 Ιδέες των μαθητών σχετικά με την πίεση που ασκείται από τα αέρια – Ατμοσφαιρική πίεση

Τα αέρια και γενικά η αέρια κατάσταση μπορεί να είναι ένα ελκυστικό πεδίο για διδασκαλία, αλλά λόγω της αφηρημένης φύσης της οι έννοιες πάνω στις οποίες οικοδομείται παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία. Η πίεση που ασκούν τα ρευστά και ιδιαίτερα τα αέρια καθώς και η ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία προσέγγισης. Οι δυσκολίες γίνονται εμφανείς, όταν η έννοια της πίεσης πρέπει να εφαρμοστεί για την εξήγηση φαινομένων της καθημερινής ζωής και αυτό έχει να κάνει σε μεγάλο βαθμό με φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του αέρα.

Αν και η έννοια της πίεσης βρίσκεται στη βάση για την κατανόηση μεγάλης ποικιλίας θεμάτων, σε πολλά γνωστικά πεδία, όπως στη φυσική των ρευστών, στη χημεία των αέριων στοιχείων, των αερίων ενώσεων και των μιγμάτων τους, στη μετεωρολογία, τη γεωλογία, και τη βιολογία, στα περισσότερα αναλυτικά προγράμματα διαπραγματεύεται με ένα σύντομο τρόπο. Στις περισσότερες δε περιπτώσεις δίνεται έμφαση σε επιφανειακές ποσοτικές εφαρμογές και προβλήματα, παραμερίζοντας μια βαθύτερη ποιοτική κατανόηση που απαιτεί η μάθηση της παραπάνω έννοιας. Ο deBerg (1992) σημείωσε ότι μια εστίαση πάνω σε ποσοτικές μεθόδους χωρίς μια στέρεη υποδομή



στη ποιοτική κατανόηση των επιστημονικών εννοιών εμποδίζει τους μαθητές από την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών στις οποίες εδράζονται οι έννοιες αυτές.

Ο τρόπος με τον οποίο η πίεση διδάσκεται στα περισσότερα αναλυτικά προγράμματα είναι σε συμφωνία με αυτό που περιγράφει ο deBerg. Οι διδάσκοντες εστιάζουν τη διδασκαλία τους περισσότερο πάνω σε γεγονότα και περιγραφές παρά σε αιτίες και σε σχέσεις φυσικών μεγεθών (Newton & Newton, 2000). Επιπλέον, αρκετοί δάσκαλοι δεν είναι ενήμεροι ότι οι μαθητές τους κατέχουν ήδη κάποιες ιδέες σχετικά με την πίεση που είναι απλοϊκές και γραμμικές στη φύση τους. Οι διδάσκοντες μπορεί επιπλέον να κατέχουν και αυτοί απλές γραμμικές ιδέες (Ginns & Watters, 1995, Rollnick & Rutherford, 1990) καλλιεργώντας λανθασμένες ιδέες στους μαθητές τους.

Οι Καριώτογλου & Ψύλλος (1991) σε μια ανάλυση περιεχομένου οκτώ εγχειριδίων Φυσικής, ελληνικά και ξένα, σχετική με την «εισαγωγή και διαπραγμάτευση των βασικών εννοιών και των σχετικών φαινομένων της μηχανικής των ρευστών» σημειώνουν ότι: «Στα βιβλία αυτά, η μεταφορά της έννοιας της πίεσης από τα στερεά στα ρευστά, γίνεται χωρίς καμιά ιδιαίτερη επισήμανση για το ποια π.χ. είναι η επιφάνεια στα ρευστά ή αν μπορεί να δεχτεί δύναμη προς όλες τις κατευθύνσεις. Επιπλέον ακολουθεί εξέταση της πίεσης στο εσωτερικό του ρευστού, ενώ αυτή είχε οριστεί για την επιφάνεια των στερεών. Παρουσιάζεται έτσι στους μαθητές, χωρίς αυτό να ονομάζεται ή έστω να αιτιολογείται, ένα νοητικό άλμα: η πίεση ορίζεται σαν διανυσματικό μέγεθος (ανηγμένη δύναμη) αλλά αμέσως μετά χρησιμοποιείται σαν ένα μονόμετρο-καταστατικό μέγεθος (πίεση σ' ένα σημείο του ρευστού). Τέλος με βάση τη μεταφορά αυτή της έννοιας της πίεσης υπολογίζουν την ανηγμένη δύναμη σε μια επίπεδη επιφάνεια σε βάθος  $h$  μέσα σε υγρό, παράγοντας τη σχέση  $P = \epsilon \cdot h$ , που δίνει την πίεση σ' ένα σημείο υγρού, είναι δηλ. συνάρτηση σημείου».

Οι παραπάνω ερευνητές εντόπισαν ότι οι ιδέες που κατέχουν οι μαθητές σχετικά με την πίεση μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρία ευρύτερα σχήματα, «μοντέλα πίεσης».

A) Το μοντέλο «συνωστισμένου πλήθους», σύμφωνα με το οποίο η πίεση σ' ένα στενό δοχείο που περιέχει νερό είναι μεγαλύτερη απ' ότι σ' ένα φαρδύ. Το μοντέλο αυτό αγνοεί τη βασική ιδιότητα των υγρών ότι είναι πρακτικώς ασυμπίεστα. Το μοντέλο αυτό αναφέρεται κυρίως από μαθητές μικρής ηλικίας.

B) Το μοντέλο της «πιεσοδύναμης» που στηρίζεται στη σύγκυση, μέχρι ταύτισης, μεταξύ πίεσης που επικρατεί σ' ένα σημείο του υγρού και της πιεστικής δύναμης που προκαλεί η πίεση αυτή, σε κάθε επιφάνεια σ' επαφή με το υγρό. Το μοντέλο αποδίδεται με εκφράσεις που υποδηλώνουν διανυσματικό χαρακτήρα στην πίεση π.χ. «...ασκείται πίεση προς τα κάτω / πάνω / από πλάγια...», «...η πίεση που ασκείται...», «...δέχεται πίεση...». Το μοντέλο αυτό, αν και βρίσκεται σε αντίθεση με το θεωρητικό μοντέλο της φυσικής, είναι πιο «λογικό», και πιο οικείο στους μαθητές και συνήθως αυτό χρησιμοποιούν.

Γ) Το μοντέλο της πίεσης ως αριθμητικού μεγέθους, σύμφωνα με το οποίο η πίεση θεωρείται από τους μαθητές ως ιδιότητα του υγρού. Το μοντέλο αυτό είναι το πιο συμβατό με το θεωρητικό της φυσικής, εφαρμόζεται ατελώς και αποσπασματικά από τους μαθητές και χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά απ' ό,τι το προηγούμενο μοντέλο. Το μοντέλο αυτό υποδηλώνεται με εκφράσεις του τύπου «...η πίεση που έχει το υγρό...», ή



«..η πίεση που υπάρχει στο υγρό...» (Καριώτογλου & Ψύλλος, 1991, Kariotoglou et al, 1990).

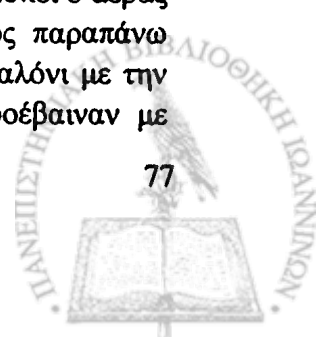
Δοθείσης της κεντρικότητας της έννοιας της πίεσης σε πολλά γνωστικά αντικείμενα αξίζει τον κόπο να εξετάσουμε γιατί ένας μεγάλος αριθμός σπουδαστών έχει δυσκολίες με την κατανόηση της πίεσης και γιατί πολλοί δάσκαλοι αισθάνονται άβολα όταν τη διδάσκουν. Στη δική μας έρευνα, αλλά και σε έναν αριθμό σχετικών ερευνών βρίσκεται ότι στον πυρήνα της φτωχής κατανόησης βρίσκονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με την πίεση και τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτή. Οι ιδέες αυτές όπως ισχυρίζονται οι Basca & Grotzer (2001) έχουν σχέση με τη φύση της αιτιότητας, καθόσον οι σπουδαστές κάνουν υποθέσεις σχετικά με τις αιτίες και τα αποτελέσματα και προσδοκούν να εξηγήσουν την συμπεριφορά των σχετικών φαινομένων χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη τους μη προφανή αίτια και αποτελέσματα.

Η έννοια της πίεσης που ασκείται από αέρια και ιδιαίτερα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, είναι ένα ερευνητικό πεδίο που έχει γίνει αντικείμενο ενός αριθμού μελετών στη διδακτική των φυσικών επιστημών (Sere, 1982, Engel Clough & Driver, 1985 & 1986, Borghi κ.ά, 1988, Brook & Driver, 1989, deBerg, 1995, McClelland, 1987, Rollnick & Rutherford, 1993, Sheparson & Moje, 1994 ).

Τα παιδιά μικρής ηλικίας (11 ετών) θεωρούν ότι μόνο ο άνεμος ασκεί πίεση και όχι ο ακίνητος αέρας (Sere, 1982). Οι Engel Clough και Driver (1985) ερευνώντας τις ιδέες παιδιών ηλικίας 12, 14 και 16 ετών, βρήκαν ότι σε ποσοστά 67%, 80% και 87% αντίστοιχα, κυριαρχούσε η άποψη ότι η πίεση αυξάνεται με την απόσταση από την επιφάνεια ρευστού. Οι ίδιοι όμως μαθητές δεν εξέφραζαν συχνά την άποψη ότι η πίεση δρα προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό ή στον αέρα. Από τους ερευνητές ζητήθηκε οι μαθητές να εξετάσουν πώς η υδροστατική πίεση σε ένα ψάρι μεταβάλλεται με το βάθος και την κατεύθυνση. Η πλειονότητα των μαθητών, εκτίμησε ότι το νερό ασκούσε μια πίεση στο ψάρι και ότι αυτή αυξανόταν με την αύξηση του βάθους. Όταν όμως ζητήθηκε να σχολιάσουν το μέγεθος της πίεσης που δρα οριζόντια (στη μύτη του ψαριού), μόνο μια μειονότητα, 10% περίπου των δωδεκάχρονων και το 30% των δεκαεξάχρονων, πρότειναν ότι το μέγεθος της πίεσης θα είναι το ίδιο σε όλες τις κατευθύνσεις. Οι περισσότεροι από τους μαθητές είπαν ότι η πίεση που δρα προς τα κάτω θα είναι μεγαλύτερη απ' αυτή που δρα οριζόντια. Η δράση του νερού που οφείλεται στο βάρος του θεωρείται ότι δρα προς μια κατεύθυνση μόνο, την κατακόρυφη. Πίεση στην οριζόντια κατεύθυνση, για ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών, θεωρείται ότι υπάρχει, μόνο όταν το ψάρι κινείται.

Στην ίδια έρευνα, οι μαθητές προκειμένου να ερμηνεύσουν πώς ρουφάμε νερό με ένα καλάμακι ή πώς παίρνουμε υγρό με μια σύριγγα έκαναν συχνές αναφορές «σε μια αναρρόφηση είτε του αέρα είτε του κενού». Αν και αναφέρθηκε το «σπρώξιμο» από την ατμοσφαιρική πίεση, λίγοι μαθητές ερμήνευσαν τα παραπάνω πειράματα στο πλαίσιο της διαφοράς πιέσεων.

Επιπλέον η Sere (1986) μελετώντας τις απόψεις Γάλλων μαθητών (11-13 ετών), σχετικά με τη διαφορά πίεσης σε δύο περιοχές του αέρα και τη συνέπειά της στην κίνηση του, διαπίστωσε ότι το 85% απ' αυτούς περιέγραφε την πίεση που ασκεί ο αέρας μέσα σε ένα μπαλόνι, πριν και αφού το έχουμε φουσκώσει. Από τους παραπάνω μαθητές μόνο το 63% έκανε σύγκριση της πίεσης του αέρα μέσα στο μπαλόνι με την πίεση έξω απ' αυτό. Γενικά, η Sere αναφέρει ότι οι μαθητές δεν προέβαιναν με



προθυμία σε συγκρίσεις πιέσεων. Στην ίδια έρευνα επιβεβαιώνεται εύρημα από προηγούμενη έρευνά της (Sere, 1982), ότι οι μαθητές τείνουν να συσχετίζουν την πίεση στα αέρια με τον κινούμενο αέρα θεωρώντας ότι η πίεση υπάρχει κατά την κατεύθυνση της κίνησής του. Η τάση των μαθητών να συνδέουν την πίεση με τον «ακίνητο αέρα» ήταν μικρότερη.

Έρευνα (Sere, 1982, Engel Clough & Driver 1985) για το βαθμό κατανόησης της πίεσης που ασκείται από τον αέρα διαπίστωσε ότι η πλειονότητα των μαθητών ηλικίας 11-16 ετών θεωρούν ότι οι δυνάμεις ασκούνται από τον αέρα μόνο όταν μια εξωτερική δύναμη προκαλεί την κίνησή του και οι δυνάμεις αυτές ενεργούν κατά τη διεύθυνση της κίνησής του. Μόνο το ένα τρίτο των μαθητών ηλικίας 16 ετών, αναγνωρίζουν ότι οι δυνάμεις που ασκεί ο αέρας μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην κατάσταση ισορροπίας οι μαθητές υποστηρίζουν ότι ο αέρας «δεν κάνει τίποτα». Όταν δε τους ζητήθηκε να προβλέψουν και να εξηγήσουν φαινόμενα όπου η υπάρχουσα πίεση ασκούσε δύναμη που ενεργούσε σε διεύθυνση διαφορετική από εκείνη της εξωτερικής δύναμης, υποστήριζαν ότι η κύρια δύναμη του αέρα θα ήταν κατά τη διεύθυνση της εξωτερικής δύναμης.

Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν επίσης ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να συμβιβαστούν με την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όταν τους ζητήθηκε να ερμηνεύσουν φαινόμενα στα οποία εμπλέκονταν η ατμοσφαιρική πίεση, αν και η διαφορά πίεσης ήταν αντιληπτή, μόνο ένα μικρό ποσοστό των μαθητών αναφέρθηκε σ' αυτή για να εξηγήσει τα φαινόμενα και περίπου οι μισοί μαθητές αναφέρθηκαν μόνο στο τι συνέβαινε στο εσωτερικό του δοχείου. Στην τελευταία περίπτωση οι εξηγήσεις έτειναν να αναφέρονται στην ιδέα ενός «κενού που ρουφάει», είτε της πίεσης που «τραβάει» ακόμη και στην περίπτωση που υποδείχτηκε στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν την ιδέα της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Σε φαινόμενα όπου η ατμοσφαιρική πίεση ήταν μεγαλύτερη από την πίεση μέσα στο δοχείο, περισσότεροι από τους μισούς δεκαπεντάχρονους μαθητές έδωσαν εξηγήσεις στο πλαίσιο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Για φαινόμενα όπου η πίεση μέσα στο δοχείο ήταν μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, λιγότεροι από το ένα πέμπτο των παραπάνω μαθητών αναφέρθηκαν στην ατμοσφαιρική πίεση. Γενικά οι μαθητές είναι διστακτικοί στο να χρησιμοποιούν την ιδέα της διαφοράς πίεσης σε εξηγήσεις σχετικών φαινομένων.

Σε έρευνα που έγινε από τους Engel Clough και Driver (1985), με μαθητές 12-16 ετών, για να διερευνηθεί πώς αυτοί αιτιολογούν έναν αριθμό από καταστάσεις σε απλά πειράματα που εμπλέκουν την ατμοσφαιρική πίεση, βρήκαν ότι η πλειονότητα εξ αυτών κατείχε τις παρακάτω αντιλήψεις.

A) Ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί πίεση που είναι παρατηρήσιμη, μόνο όταν υπάρχει διαφορά πίεσης.

B) Ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί πίεση στις επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή μ' αυτόν. Σ' αυτό τον τύπο αιτιολόγησης οι μαθητές αναφέρουν ότι η ατμοσφαιρική πίεση σπρώχνει τις επιφάνειες, αλλά δεν αναφέρονται σε διαφορές πιέσεων.





Γ) Ως προς την αιτιολόγηση για το «τι κάνει το νερό να μπαίνει σε μια σύριγγα, της οποίας τραβάμε το έμβολο προς τα έξω» ή για το «πώς μπορείς να πίνεις πορτοκαλάδα μ' ένα καλαμάκι», τρεις κύριοι τύποι συλλογισμών αναγνωρίστηκαν.

α) Το κενό αναρροφά ή ασκεί πίεση. Π.χ. «ρουφάς μ' ένα καλαμάκι και δημιουργείται κενό στο καλαμάκι και ο χυμός πορτοκαλιού τραβιέται μέσα από το καλαμάκι... από το κενό».

β) Οι κενοί χώροι πρέπει να γεμίζουν. Σ' αυτή την περίπτωση οι μαθητές χρησιμοποιούν το επιχείρημα «η φύση απεχθάνεται το κενό» π.χ. «ένα κενό δημιουργήθηκε στο καλαμάκι, κάτι πρέπει να γεμίσει το κενό».

γ) Η πίεση του αέρα στο εσωτερικό αναρροφά ή τραβά (δυναμική άποψη για τον αέρα). Περισσότερο από το 1/3 των μαθητών θεωρούσε ότι ο αέρας που βρίσκεται στα δοχεία αναρροφά ενεργητικά ή τραβάει. Οι μαθητές αυτοί δήλωναν: «ο αέρας είναι σαν να τραβάει προς τα πάνω...», «ο αέρας στη σύριγγα θέλει να ρουφήξει νερό μέσα...».

Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν ότι οι μισοί από τους μαθητές ερμήνευαν τα διάφορα φαινόμενα από την άποψη του τι συμβαίνει μέσα στα δοχεία παρά με τη δράση της διαφοράς πίεσης. Γενικά τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ότι οι μαθητές έχουν την τάση να ερμηνεύουν τέτοιες καταστάσεις με όρους ενός μοναδικού παράγοντα, αιτίας ή δύναμης: μια μοναδική μορφή ώθησης προς την κατεύθυνση της κίνησης που παράγει το παρατηρήσιμο αποτέλεσμα.

Οι Sere και Chomat (1983) και Sere (1983), εστιάζοντας την έρευνά τους στα εμπόδια που παρεμβάλλονται κατά την απόκτηση της έννοιας της πίεσης των αερίων από μαθητές, δηλώνουν ότι: «Από παιδαγωγική άποψη είναι σημαντικό να εξηγήσουμε την έννοια της πίεσης, πριν προχωρήσουμε στη μελέτη των μεταβολών της. Τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα κάθε φορά που υπάρχει μια συνακόλουθη μεταβολή (όπως στην περίπτωση μιας μπάλας που φουσκώνει) ή όταν η πίεση αυξάνεται με τη θερμοκρασία (όπως στην περίπτωση των αεροθαλάμων στα λάστιχα των αυτοκινήτων που αφήνονται στον ήλιο». Κατά τη Sere το πιο απλό πρόβλημα για τους μαθητές φαίνεται να είναι οι μεταβολές σε σταθερή θερμοκρασία. Για να αποφασίσουν αν η πίεση ενός αερίου μεταβάλλεται οι μαθητές χρησιμοποιούν τρεις κυρίως ιδέες.

- 1) Την ιδέα της «συσσώρευσης» ή της «πύκνωσης». Π.χ. «όταν σπρώχνουμε το έμβολο της σύριγγας προς τα μέσα η πίεση του αέρα αυξάνεται λόγω «συσσώρευσης» ή «πύκνωσης».
- 2) Την ιδέα της ποσότητας του αερίου. Οι μαθητές παρουσιάζουν την τάση να συνδέουν την πίεση με την εκτίμηση της ποσότητας του αερίου που παρατηρούν, (υπονοώντας την πυκνότητα του αερίου, χωρίς όμως να αναφέρουν τον όρο και να έχουν μια ξεκάθαρη ιδέα της έννοιας).
- 3) Την εκτίμηση των δράσεων του αέρα. Ο ειδικός κάνει χρήση των πειστικών δυνάμεων, για να εκτιμήσει την πίεση. Πολλοί μαθητές κάνουν το ίδιο, όταν τους επιδεικνύονται πειράματα, που στοχεύουν να δείξουν αποτελέσματα των δυνάμεων, ώστε να μπορούν να συμπεράνουν την τιμή της πίεσης.

Στην περίπτωση μεταβολών με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία, ο αριθμός των παραμέτρων που είναι απαραίτητες για να ερμηνευθούν τα πειράματα αυξάνεται. Οι απαντήσεις μαθητών, ηλικίας 13-14 ετών, εξαρτώνται κυρίως από τις παρατηρήσεις που επέλεγον να κάνουν στα πειράματα που τους παρουσιάζονται και, ανάλογα σε ποιες ποσότητες εστιάζουν την προσοχή τους, δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα.



Κατά τη Sere (1982), οι μαθητές δείχνουν μικρό ενδιαφέρον για καταστάσεις ισορροπίας, αλλά είναι πρόθυμοι να προτείνουν ιδέες για να εξηγήσουν πώς και γιατί ο αέρας τίθεται σε κίνηση ή παράγει κίνηση. Η παραπάνω ερευνήτρια προτείνει ότι: «θα ήταν αποτελεσματικότερο να μελετηθούν πρώτα ο αέρας σε κίνηση και οι δυνάμεις που ασκεί και μετά να μελετηθεί ο ακίνητος αέρας, οι χαρακτηριστικές του παράμετροι, καθώς και οι εξασκούμενες απ' αυτόν δυνάμεις (αιτίες της τάσης για ισορροπία) από την πίεση (παράμετρος χαρακτηριστική της ισορροπίας). Από το άλλο μέρος, οι μαθητές θα πρέπει να ασκηθούν να κάνουν συλλογισμούς λιγότερο με όρους ιδιοτήτων μιας ποσότητας αέρα και περισσότερο με όρους αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα συστήματα. Είναι σημαντικό να διδαχθούν οι μαθητές ότι για να ερμηνεύσουν τι συμβαίνει στο «εσωτερικό» ενός δοχείου πρέπει να κάνουν συγκρίσεις με το «εξωτερικό».

Ο Tyler (1988) υποστηρίζει ότι ακόμη και μορφωμένοι ενήλικες, με εποπτεία στις έννοιες της ατμόσφαιρας και της πίεσης, έχουν την τάση να αντιστέκονται στο να χρησιμοποιούν την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η εννοιολογική αλλαγή στην περίπτωση αυτή εμπλέκει μια συνειδητοποίηση ότι η ατμόσφαιρα έχει μια ιδιότητα που δεν είναι άμεσα αντιληπτή, ότι ασκεί πίεση. Έχειδειχθεί ότι τα παιδιά έχουν την τάση να σκέπτονται την πίεση ως μια κατάσταση λειτουργίας των σωμάτων που περιέχουν αέρα και συνδέουν «το να ασκεί πίεση» ως μια αλληλεπίδραση με αλλαγές στην πίεση. Αν οι μαθητές πιστεύουν ότι η έννοια της πίεσης εφαρμόζεται μόνο στον αέρα, σε μια «μη κανονική κατάσταση», αυτή η πεποίθηση θα διαταρασσόταν από την υιοθέτηση της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Η εμμονή σε μια ατμόσφαιρα που δεν ασκεί πίεση, σ' ένα βαθμό εξηγεί τις λανθασμένες εξηγήσεις σε μια σειρά φαινομένων που την περιλαμβάνουν. Αυτό κάνει τις εσωτερικές αλληλοσυνδέσεις και συσχετίσεις να έχουν ως προϋπόθεση την εμμονή αυτή. Εμείς καθημερινά κινούμαστε μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα απαλά και με άνεση τον εκπνέουμε και τον εισπνέουμε, ρίχνουμε μπάλες, παρακολουθούμε τον καπνό ή τους κόκκους σκόνης να μεταφέρονται μέσα σ' αυτό. Η δυσκολία της αλλαγής σχετίζεται με μια αλλαγή στο νοητικό μοντέλο που αναπαριστά την ατμόσφαιρα, με μια νέα συσχέτιση της λέξης «πίεση» με τον ατμοσφαιρικό αέρα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια υγρού σε ένα σωλήνα και που αλλάζει την θέση της ελεύθερης επιφάνειας του κατά τρόπο ευδιάκριτο.

Για να κατανοηθεί η έννοια της πίεσης που ασκούν τα αέρια, δεν μπορούμε απλώς να εστιάσουμε την προσοχή μας πάνω στα φαινόμενα αυτά κατ' αποκλειστικότητα. Οι μαθητές πρέπει να έχουν κατακτήσει την εννοιολογική οικολογία (Posner κ.ά., 1982, Demaster κ.ά., 1995), που περιλαμβάνει τις υποκείμενες θεμελιώσεις αυτών των εννοιών, αυτές συμπεριλαμβάνουν τις έννοιες σχετικά με την ύλη, το χώρο, τον όγκο και τη δύναμη. Ο εμπλουτισμός της κατανόησης των παιδιών σχετικά με τη συμπεριφορά του αέρα λαμβάνει χώρα σε σχέση με μια αναδόμηση της γνώσης για τη δομή της ύλης, για παιδιά μεγαλύτερα των 12 ετών, και αυτό αποτελεί τον γνωστικό πυρήνα πάνω στον οποίο αυτή δομείται (Carey, 1985b, 1986b).

Τα παιδιά φαίνεται να λειτουργούν με διαστρωματώσεις των εννοιών που έχουν σύνθετες σχέσεις με φαινόμενα που τους ζητείται να εξηγήσουν και ενδεχομένως με



προϋποθέσεις, που δύσκολα θα μπορούσαν να διευθετηθούν σε συμπαγείς ενότητες αρχών, που να μπορούν να δομήσουν μια θεωρία. Εξετάζοντας την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι καθαρό ότι ασχολούμαστε με μια δύσκολη εννοιολογική μετατόπιση. Η διάκριση της Vosniadou (1994) μεταξύ θεωριών πλαισίου και ιδιαίτερων θεωριών / νοητικών μοντέλων, φαίνεται να μην εξυπηρετεί στην περίπτωση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η έννοια μιας ατμόσφαιρας που δεν ασκεί πίεση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα νοητικό μοντέλο ή ως μια υποκείμενη προϋπόθεση. Το ενδεχόμενο ότι «ο αέρας είναι λεπτός και δεν πιέζει» μπορεί πολύ καλά να θεωρηθεί ως ένας φαινομενολογικός πρωτογονισμός (diSessa, 1988, 1993a).

Η πίεση που ασκεί αέριο που είναι περιορισμένο σε ορισμένο χώρο, η αλληλεπίδραση μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης του αέρα στο εσωτερικό κλειστών δοχείων, καθώς και η αλληλεπίδραση στήλης υγρού με την ατμοσφαιρική πίεση είναι ζητήματα με τα οποία οι μαθητές θα πρέπει να εμπλακούν για να κατανοήσουν την έννοια της πίεσης. Τα παιδιά φαίνεται να βρίσκουν δυσκολία στο να μετατοπίσουν την εστίασή τους από τα άμεσα και προφανή χαρακτηριστικά του αέρα.

Ο Moyle (1980) σε έρευνά του σχετικά με τις ιδέες των παιδιών για τον καιρό, με δεκαεξάχρονους μαθητές, επισημαίνει ότι οι μαθητές εξηγούν τον άνεμο σε σχέση με ορατά, κινούμενα αντικείμενα, όπως τα αυτοκίνητα, τα σύννεφα ή τις παλίρροιας. Ένα ποσοστό μαθητών εξήγησαν τους ανέμους σε σχέση με την κίνηση της Γης ή τη χαμηλή θερμοκρασία στους πόλους. Υπήρχε μια τάση να συσχετίζουν την ταχύτητα του ανέμου με τη θερμοκρασία. Μια μεγάλη ταχύτητα με τον κρύο άνεμο, υπονοώντας ότι ένας θερμός άνεμος είναι ήπιος και μικρής ταχύτητας. Σπάνια οι μαθητές εξηγούσαν τον άνεμο σε σχέση με τις διαφορές πίεσης μεταξύ περιοχών ατμόσφαιρας. Στην Ελλάδα η Σπυροπούλου (1994) μελετώντας τις αντιλήψεις μαθητών δημοτικού και γυμνασίου, για τα καιρικά φαινόμενα διαπιστώνει ότι γι' αυτούς ο άνεμος δημιουργείται όταν βρέχει, δημιουργείται από τα σύννεφα και από τα βουνά ή από τη θάλασσα.

Ο Tyler (1998) επισημαίνει ότι «όταν τα παιδιά μιλούσαν για τη δύναμη ή την πίεση που ασκεί ο αέρας που περιέχεται σε κλειστές επιφάνειες, η σκέψη αυτή φαινόταν να συνδέεται με τον αέρα που ασκεί μια πίεση διαφορετική από την κανονική. Με άλλα λόγια με μια αλλαγή στην πίεση, αντιλαμβανόμενη ως μια αλλαγή της ιδιότητας του αέρα. Αν δεχτούμε κάτι τέτοιο, τότε η μη πειστικότητα της ιδέας της ατμόσφαιρας που ασκεί πίεση, όταν είναι συνεχώς σε μη δυναμική κατάσταση, μπορεί να γίνει κατανοητή;»

Ο παραπάνω ερευνητής μελετώντας τη διαδρομή των ιδεών των παιδιών, ηλικίας 6-12 ετών, σ' ένα φάσμα πειραματικών εργασιών που η κάθε μια απαιτούσε την εφαρμογή μιας αρχής που σχετίζεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, διατυπώνει τους παρακάτω λόγους για τις δυσκολίες απόκτησης της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης.

- Τα μικρά παιδιά (μαθητές δημοτικού σχολείου) δεν είναι έτοιμα γι' αυτή την έννοια επειδή δεν έχουν την προαπαιτούμενη γνώση σχετικά με τον αέρα, που είναι η παρουσία του και οι ιδιότητες του, καθώς και τη γνώση της συσχέτισης των εννοιών πίεσης και δύναμης.



- Όταν η έννοια της πίεσης γίνει διαθέσιμη, οι μαθητές έχουν την τάση να τη σχετίζουν με αλλαγές στην κατάσταση του περιεχόμενου αέρα. Ένα κλειστό δοχείο που περιέχει αέρα και τα καταστατικά του μεγέθη έχουν σταθερή τιμή θεωρούν ότι δεν ασκεί πίεση.
- Όταν η έννοια γίνει προσιτή, αυτή είναι αντι-διαισθητική για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον δεν έχουμε μια άνετη αντίληψη ύπαρξης της εξωτερικής ασκούμενης πίεσης, επειδή αυτή αποκρύπτεται από την εξισορρόπησή της κατά μήκος των επιφανειών. Δεύτερο οι μαθητές εμφανίζουν μια τάση να εστιάζονται σε άμεσα εντοπισμένα χαρακτηριστικά ενός σχετικού φαινομένου, ως αυτά να εκφράζουν έναν αιτιακό μηχανισμό. Η μετατόπιση της προσοχής τους προς τον εξωτερικό αέρα είναι αρκετά δύσκολη.
- Η εφαρμογή της έννοιας της πίεσης σε διαφορετικές περιπτώσεις δυσχεραίνεται από συγχύσεις που αφορούν την κατεύθυνση της πίεσης (Engel Clough & Driver, 1986), την περίπλοκη παρουσία του αέρα στα δοχεία καθώς και την πίεση που ασκεί ο αέρας στην επιφάνεια του νερού.
- Ακόμη και αν τα παραπάνω θέματα δεν παρουσιάζουν ένα εμπόδιο για την ερμηνεία κάποιων φαινομένων, υπάρχει μια επιφυλακτικότητα για την επέκταση της ιδέας της πίεσης σε άλλα φαινόμενα, αν και σε κάποιες περιπτώσεις είχαν δοθεί από τους μαθητές ικανοποιητικές εξηγήσεις.

### 3.3 Διδασκαλία των αερίων με τη βοήθεια πειραμάτων

Η διδασκαλία των ιδιοτήτων των αερίων είναι μέρος των περισσότερων εισαγωγικών μαθημάτων χημείας. Σχεδόν σε κάθε εγχειρίδιο λυκείου και σε εισαγωγικά μαθήματα χημείας σε κολέγιο περιλαμβάνονται κεφάλαια που αναφέρονται στις ιδιότητες των αερίων και στην εξ αυτών προκύπτουσα συμπεριφορά τους (Brown et al., 2004). Στη δική μας λυκειακή εκπαίδευση (α' λυκείου), αναφορά στην αέρια κατάσταση γίνεται στην ενότητα «καταστάσεις της ύλης» (ιδιότητες της ύλης – φυσικά και χημικά φαινόμενα) στο πλαίσιο του πρώτου κεφαλαίου «βασικές έννοιες» (Χημεία α' λυκείου, Λιοδάκης κ.ά. 2002). Στο ίδιο κεφάλαιο, στην ενότητα περιεκτικότητες διαλυμάτων γίνεται αναφορά στη διαλυτότητα των αερίων σε υγρά. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στον περιοδικό πίνακα και στους χημικούς δεσμούς και το τρίτο στα οξέα – βάσεις - άλατα – οξείδια. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο που διδάσκεται στην α' λυκείου εισάγονται έννοιες της στοιχειομετρίας και η έννοια του γραμμομοριακού όγκου αερίου, και ακολουθούν οι νόμοι και η καταστατική εξίσωση των αερίων.

Από τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι οι συγγραφείς των εγχειριδίων δεν έχουν ένα δομημένο διάγραμμα του πώς να εξηγήσουν τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των αερίων. Επιπλέον κανένας συγγραφέας δεν εξηγεί τις επιλογές που κάνει, ούτε προσπαθεί να μεταβιβάσει τι ο διδάσκων μπορεί να κάνει για να βοηθήσει τους μαθητές να μάθουν σχετικά με τα αέρια. Η γενική εικόνα που αποκομίζεται από τα σχολικά εγχειρίδια είναι ότι όλες οι έννοιες αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο, ανεξάρτητα από το βαθμό δυσκολίας τους. Οι μαθητές καλούνται να μάθουν τη «χημεία του χημικού», παραβλέποντας ότι οι έννοιες της χημείας είναι αφηρημένες και για να κατανοηθούν απαιτείται η ενεργός συμμετοχή του μαθητή τόσο στη διδασκαλία όσο και σε πειράματα.



Ο κειμενικός και εικονογραφικός τρόπος παρουσίασης κάποιας ύλης χημείας δεν είναι αρκετός για να κατανοηθούν έννοιες και αρχές, ιδιαίτερα δε της αέριας κατάστασης.

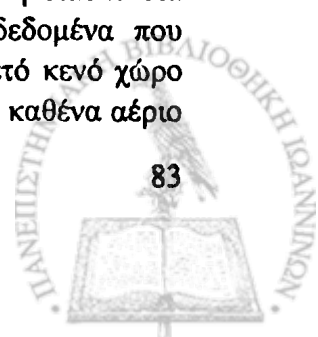
Παρά τη συνεχιζόμενη συζήτηση πάνω στη φιλοσοφική και διδακτική αξία του εποικοδομησμού (Scerif, 2003) πολλές από τις αρχές του έχουν ευρύτατα υποστηριχθεί. Κάποιοι ισχυρίζονται ότι αυτές οι αρχές ανήκουν αποκλειστικά στον εποικοδομησμό και κάποιοι άλλοι ότι είναι μέρος μιας καλής διδακτικής και μαθησιακής πρακτικής. Ωστόσο υπάρχει συμφωνία μεταξύ των διδακτικών, ότι το να παρέχεις στους μαθητές την ευκαιρία για προσωπικές εμπειρίες με χημικές έννοιες, φωτίζοντας όπου αυτές οι έννοιες συμφωνούν με τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους και διαμεσολαβώντας να οικοδομήσουν νέες αυτά είναι χαρακτηριστικά στοιχεία μιας εποικοδομητικής θεωρίας (Short et al., 2001).

Από την άλλη, η διδακτική εμπειρία, δοθέντων των περιορισμών και των προκλήσεων του μεγέθους μιας τάξης, το διαθέσιμο διδακτικό χρόνο, την ποσότητα της ύλης στο αναλυτικό πρόγραμμα, την ποικιλία των προϋπαρχουσών εμπειριών των μαθητών, τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία της διδακτικής προετοιμασίας και μια σειρά άλλα θέματα, επισημαίνει ότι το να σχεδιάζεις δραστηριότητες στην τάξη που να συναντούν τις ανάγκες των μαθητών είναι εξαιρετικώς δύσκολο. Επιπλέον, το διδακτικό πλαίσιο που περιγράφει τα πλεονεκτήματα, τις προκλήσεις και τις επιλογές που γίνονται από τους διδάσκοντες, καθώς αυτοί προσπαθούν να ευθυγραμμίσουν την πείρα τους με την εποικοδομητική θεωρία, δεν είναι διαθέσιμα.

Ο Brown κ.ά. (2004) περιγράφουν μια απόπειρα να εισάγουν με τη βοήθεια πειραμάτων, ιδιότητες και νόμους αερίων, στο πλαίσιο ενός εισαγωγικού μαθήματος χημείας σε κολέγιο, και εξηγούν γιατί αυτοί ακολουθούν συγκεκριμένες διδακτικές επιλογές. Ο διδακτικός σχεδιασμός τους περιελάμβανε ένα σύνολο από πειραματικές επιδείξεις. Πρώτον η διαπραγμάτευση γινόταν σε μακροσκοπικό επίπεδο αφού αυτή είναι εύκολα παρατηρήσιμη από αρχάριους φοιτητές σε μια διάταξη μεγάλης τάξης. Δεύτερο η διαπραγμάτευση είναι ποιοτική αλλά στη συνέχεια μπορεί να γίνει ποσοτική όταν οι φοιτητές έχουν οικοδομήσει τις αρχικές έννοιες που είναι αναγκαίες.

Η διδασκαλία των αερίων έγινε μετά τη διδασκαλία της ατομικής δομής και ακολούθησε η στοιχειομετρία. Οι παραπάνω ερευνητές υποστηρίζουν ότι η σειρά αυτής της διαπραγμάτευσης υποστηρίζεται από την εποικοδομητική θεωρία μάθησης καθώς οι έννοιες εισάγονται μακροσκοπικώς και πειραματικώς στην αρχή της διδασκαλίας και στη συνέχεια προχωράει σε μικροσκοπικές θεωρήσεις για κάθε ιδιαίτερο θέμα. Οι φοιτητές κάνουν τις αρχικές τους ιδέες καθαρές και στη συνέχεια ζητείται να συγκρίνουν τις αρχικές τους ιδέες με παρατηρήσεις κάποιων πραγματικών αερίων.

Ειδικότερα, ο διδακτικός σχεδιασμός τους περιελάμβανε το σχηματισμό φυσαλίδων σαπουνιού που περιέχουν αέρια με διαφορετικές μοριακές μάζες. Φυσαλίδες κάποιων αερίων ανεβαίνουν προς τα πάνω, άλλες αιωρούνται και άλλες κάθονται στο δάπεδο της αίθουσας. Στη συνέχεια προσπαθούν να τις αναφλέξουν και η διαδικασία συνεχίζεται με συζήτηση και συμπεράσματα που να βασίζονται σε δεδομένα που παρήγαγαν. Αρχικά στον πίνακα γράφτηκε μια σειρά από αέρια, με αρκετό κενό χώρο κάτω από αυτά, για να μπορούν στη συνέχεια να σημειώνουν κάτω από το καθένα αέριο



ιδιότητες που παρατηρούσαν. Ο πίνακας που συμπλήρωσαν στο τέλος της σειράς των μαθημάτων παρουσιάζεται (Πίνακας 3.1).

Όλα τα αέρια που φαίνονται στον πίνακα τα προμηθεύτηκαν από το εμπόριο, μέσα σε μπαλόνια εκτός από το CH<sub>4</sub> που το πήραν από το δίκτυο αερίου. Η επιλογή αυτή έγινε καθόσον οι φοιτητές στην καθημερινή τους ζωή δεν έρχονται σε επαφή με φιάλες αερίων, ενισχύοντας την άποψη ότι τα αέρια χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή και δεν διατίθενται μόνο στα χημικά εργαστήρια ως αντιδραστήρια.

Ένας πλαστικός σωλήνας είχε προσαρμοστεί στο ακροφύσιο με βαλβίδα κάθε μπαλονιού, στο άλλο άκρο του σωλήνα είχε προσαρμοστεί ένα σφουγγάρι το οποίο κάθε φορά εβυθίζετο σε ένα σαπονοδιάλυμα. Με τη βοήθεια δύο φοιτητών, ο ένας να ελέγξει με τη βαλβίδα τη ροή του αερίου και ο άλλος να βυθίζει το άκρο του σωλήνα με το σφουγγάρι στο σαπονοδιάλυμα, σχημάτιζαν κάθε φορά φυσαλίδες με ένα αέριο. Η πρώτη παρατήρηση ήταν ότι κάποιες φυσαλίδες ανεβαίνουν προς τα πάνω, άλλες αιωρούνται και κάποιες κάθονται στο δάπεδο.

Στη συνέχεια κάθε σειρά από φυσαλίδες που περιείχαν το ίδιο αέριο «λοχίζονταν» από ένα αναμμένο σπίρτο που είχε στερεωθεί στην

Πίνακας 3.1 Παρατηρήσεις σχετικές με τα αέρια που μελέτησαν.

H <sub>2</sub>	Πάνω	Καίγεται	2
He	Πάνω	Δεν αναφλέγεται	4
CH <sub>4</sub>	Πάνω	Καίγεται	16
N <sub>2</sub>	Αιωρείται	Δεν αναφλέγεται	28
O <sub>2</sub>	Αιωρείται	Δεν αναφλέγεται	32
Αέρας	Αιωρείται	Δεν αναφλέγεται	-
Ar	Κάτω	Δεν αναφλέγεται	39
CO <sub>2</sub>	Κάτω	Δεν αναφλέγεται	44
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Κάτω	Καίγεται	44
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Κάτω	Καίγεται	58

άκρη μιας ράβδου. Μια δεύτερη σειρά παρατηρήσεων συμπληρώνεται κάτω από κάθε αέριο, καίγεται / δεν αναφλέγεται. Στο επόμενο βήμα ζητήθηκε από τους φοιτητές να παράγουν κάποιες ιδέες, αφού προηγουμένως συζητήσουν σε μικρές ομάδες, για να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις που κατέγραψαν. Με βάση ότι οι φυσαλίδες σχηματίζονται στον αέρα και κάποιες ανεβαίνουν, άλλες αιωρούνται και άλλες κάθονται στο δάπεδο έγινε μια πρώτη εκτίμηση της πυκνότητας των αερίων ως προς τον αέρα.

Ως προς την καύση μια πρώτη απόπειρα ερμηνείας ήταν «ότι μόνο αυτές που περιέχουν υδρογόνο αναφλέγονται». Συνεπώς ένα συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι το υδρογόνο και οι υδρογονάνθρακες «συνδυάζονται» εύκολα με το οξυγόνο σε μια χημική αντίδραση.



### 3.4 Τα μοντέλα στη διδασκαλία της χημείας - το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων

Στην παρούσα έρευνα, το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των ιδανικών αερίων κατέχει δεσπόζουσα θέση για την κατανόηση βασικών ιδιοτήτων της αέριας κατάστασης και για την αντιμετώπιση σχετικών προβλημάτων. Η κινητική θεωρία είναι σημαντική όχι μόνο στη χημεία, αλλά γενικότερα σε όλες τις φυσικές επιστήμες διότι υποστηρίζει την κατανόηση και την ερμηνεία ενός μεγάλου αριθμού φαινομένων. Η Driver κ.ά. (1994) υποστήριξε ότι «υπάρχουν έννοιες οι οποίες είναι κεντρικές για την κατανόηση της επιστήμης από τους μαθητές για ένα ευρύτερο φάσμα θεμάτων και στις περιπτώσεις αυτές το να αφιερώνεις ένα αριθμό ωρών διδασκαλίας για να τις διδάξεις αξίζει τον κόπο. Εμείς θα προτείνουμε ότι η διατήρηση της μάζας και η σωματιδιακή θεωρία της ύλης είναι παραδείγματα τέτοιων θεμάτων». Εδώ η Driver κ.ά., αναφέρονται στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στις πρώτες βαθμίδες της εκπαίδευσης, όπου η κατανόηση των παραπάνω εννοιών είναι προϋποθέσεις για την κινητική θεωρία στην επόμενη εκπαιδευτική βαθμίδα, τη λυκειακή.

Η Gabel (1993) έχει δείξει, ότι η κατανόηση της κινητικής θεωρίας σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο βοηθάει τους μαθητές να κάνουν συνδέσεις σε διαφορετικές περιοχές της χημείας. Έτσι η κινητική θεωρία υποστηρίζει αρκετές άλλες εννοιολογικές περιοχές της επιστήμης και για το λόγο αυτό είναι ένα από τα θέματα που έχουν μελετηθεί και μελετώνται για τη βελτίωση της εννοιολογικής υποδομής των μαθητών. Η κινητική θεωρία παρ' όλη τη φαινομενικώς απλή φύση της, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει μια ποικιλία φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της ύλης. Η χρήση του μοντέλου μ' αυτό τον τρόπο είναι και θα πρέπει να είναι μια καθημερινή πρακτική στις αίθουσες διδασκαλίας. Για παράδειγμα η τήξη του πάγου μπορεί να εξηγηθεί με τα «σωματίδια του πάγου» που προσλαμβάνουν ενέργεια-θερμότητα από το περιβάλλον, έτσι αυτά δονούνται πιο έντονα, σπάζοντας τους μεταξύ τους δεσμούς, και ο πάγος τήκεται. Η αύξηση της ταχύτητας μιας αντίδρασης με την αύξηση της θερμοκρασίας των αντιδρώντων, μπορεί να εξηγηθεί με τα μόρια των αντιδρώντων να προσλαμβάνουν ενέργεια και να αυξάνεται η μέση κινητική τους ενέργεια, να αυξάνεται ο αριθμός των αποτελεσματικών κρούσεων μεταξύ των μορίων και συνεπώς η ταχύτητα της αντίδρασης. Συνεπώς για να διδαχθούν οι μαθητές την κινητική θεωρία θα πρέπει να έχουν κατανοήσει τη σωματιδιακή δομή για την ύλη και στη συνέχεια τη σχέση μεταξύ των σωματιδίων και της ενέργειας.

Οι Taylor και Coll (2002) διερεύνησαν νοητικά μοντέλα της κινητικής θεωρίας που κατείχαν δάσκαλοι από την Αυστραλία και τα νησιά Fiji, όταν ευρίσκοντο σε εισαγωγική επιμόρφωση. Η έρευνά τους στην αρχική φάση (φάση εκμαίευσης των προϋπαρχουσών ιδεών) εστιάστηκε σε ποιο βαθμό οι δάσκαλοι μπορούσαν να εφαρμόσουν την κινητική θεωρία με συνέπεια όταν τους ζητήθηκε να εξηγήσουν μια ποικιλία φαινομένων, όπως αλλαγές φυσικής κατάστασης των σωμάτων, διαλυτότητα, θερμοκρασία και πίεση αερίων. Οι εξηγήσεις των δασκάλων ταξινομήθηκαν, σε τρία επίπεδα σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα που στηρίχθηκε στο κατά πόσο κάνουν σωστή



σύνδεση μεταξύ της σωματιδιακής δομής της ύλης και της ενέργειας που ανταλλάσσουν τα σώματα με το περιβάλλον τους.

**1<sup>ο</sup> Επίπεδο: Αναφορά στην ενέργεια:** Κάνουν σαφή ή υπονοούμενη αναφορά σε συγκεκριμένη μορφή ενέργειας ή αναφέρουν γενικά την ενέργειας.

**2<sup>ο</sup> Επίπεδο: Αναφορά στα σωματίδια:** Κάνουν σαφή ή υπονοούμενη αναφορά σε άτομα ή μόρια ή απλώς στον όρο σωματίδια.

**3<sup>ο</sup> Επίπεδο: Μερικό μοριακό μοντέλο:** Κάνουν αναφορά σε σωματίδια και ενέργεια, αλλά αποτυγχάνουν να κάνουν σαφή σύνδεση μεταξύ αυτών.

**4<sup>ο</sup> Επίπεδο: Αποδεκτό μοριακό μοντέλο:** Κάνουν σαφή αναφορά στη σχέση ενέργειας και σωματιδίων.

Από την πρώτη φάση της έρευνας προέκυψε ότι οι δάσκαλοι κατείχαν μια ποικιλία νοητικών μοντέλων, κάποια ήταν σε συμφωνία με το επιστημονικό, κάποια ήταν ενδιάμεσα, ενώ ένας αριθμός εμφανίστηκε να μη κατέχει κάποιο νοητικό μοντέλο. Στη δεύτερη φάση της έρευνας, μετά τη διδακτική παρέμβαση που στηρίχτηκε στο εποικοδομητικό μοντέλο, εμφανίστηκε μια βελτίωση στους δασκάλους να δομούν ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο της κινητικής θεωρίας και ειδικότερα να το εφαρμόζουν σε πολλές περιπτώσεις για να εξηγήσουν αλλαγές της φυσικής κατάστασης που παρατηρούνται στην καθημερινή ζωή.

Η έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών δείχνει ότι η προσπάθεια να διδάξεις ένα επιστημονικό αντικείμενο συχνά συναντιέται με την αποστήθιση παράξενων εννοιών, απλή αναπαραγωγή όρων και ορισμών και γενικά με μια έλλειψη κατανόησης από την πλευρά των μαθητών (Hewson, 1988). Η διδασκαλία της επιστήμης είναι μια περίπλοκη διαδικασία, που περιλαμβάνει τη χρήση εκλεπτυσμένων εννοιών, την εκτέλεση αφηρημένων συλλογισμών, τη διάκριση μεταξύ παρατήρησης και την εξαγωγή επιβεβαιωμένων συμπερασμάτων, η δε χρήση μοντέλων είναι πανταχού παρούσα. Ειδικότερα η χημεία κυριαρχείται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση μοντέλων. Ο Oversby (2000, p. 227) σημειώνει ότι «το γνωστικό αντικείμενο λαμβάνει χώρα σε ένα ιδιαίτερο χώρο της επιστήμης, εφ' όσον λίγες από τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις μπορούν να κατανοηθούν χωρίς προσφυγή σε μικροσκοπικές αναπαραστάσεις ή μοντέλα».

Μια περιπλοκή γι' αυτούς που διδάσκουν επιστήμη και ιδιαίτερα χημεία, προέρχεται από το γεγονός ότι πολλές σύνθετες χημικές έννοιες στηρίζονται σε μοντέλα, που μερικές φορές τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για να δομήσουν άλλα μοντέλα (Treagust κ.ά. 2001). Για παράδειγμα η ατομική θεωρία και η ιδέα των ατόμων είναι ένα μοντέλο για τη μικροσκοπική φύση της ύλης, περαιτέρω ο σχηματισμός μορίων και κρυστάλλων στηρίζονται σε άλλα μοντέλα που εμπεριέχουν το ατομικό μοντέλο.

Μια περαιτέρω περιπλοκή κατά τη διδασκαλία προκύπτει από τη λεκτική και συμβολική συντομογραφία που χρησιμοποιείται για να αναπαρασταθούν τα μοντέλα, αυτή η συντομογραφία είναι κοινή ανάμεσα στους ειδικούς, για αυτούς έχει συγκεκριμένες σημασίες και είναι καθαρό τι ακριβώς εννοούν όταν επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι εικόνες που κατέχονται από τους ειδικούς δεν είναι αντικείμενα του ορατού κόσμου, είναι αφηρημένες εικόνες (νοητικές εικόνες) που σημαίνει δομές που





εξυπηρετούν το σκοπό για τον οποίο επινοήθηκαν (Kleinman κ.ά., 1987). Όταν όμως οι επιστήμονες και οι δάσκαλοι επικοινωνούν με αρχάριους σε πολλές περιπτώσεις αναμένεται να υπάρξει σύγχυση μεταξύ του μοντέλου και το τι ακριβώς αυτό αναπαριστά.

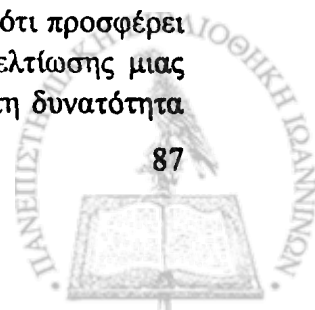
Η διδασκαλία των μοντέλων και η τέχνη να τα επινοείς και να τα αναπαριστάνεις είναι ιδιαίτερος δύσκολη όταν οι δάσκαλοι έχουν έλλειψη του επιστημονικού και παιδαγωγικού τους περιεχομένου (De Jong & van Briel, 200, Justi & Gilbert, 2001) ή όταν τα σχολικά βιβλία και άλλα διδακτικά υλικά αναλυτικών προγραμμάτων ενισχύουν ή εισάγουν εναλλακτικές ιδέες (Fischer & Siefert, 2001).

### 3.5 Επίλυση προβλημάτων με πειράματα — μια απόπειρα εισαγωγής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη Γαλλία

Στη Γαλλία, μια σημαντική κίνηση ανανέωσης της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών αρχικά στα λύκεια, και στη συνέχεια στα γυμνάσια, επιχειρήθηκε το 1992. Οι οδηγίες (BOEN, 1997) επισημαίνουν τις δυσκολίες που συναντά η διδασκαλία από την πλευρά των μαθητών και επιμένουν στην αναγκαιότητα να τις αιτιολογήσουν. Η κίνηση αυτή για την ανανέωση των παιδαγωγικών και διδακτικών μεθόδων δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη διδασκαλία της Χημείας, μέσω μιας συστηματικής προσφυγής στο πείραμα. Πρόκειται για την ενότητα με τον τίτλο «για να ανανεωθούν οι παιδαγωγικές πρακτικές στην εκπαίδευση της Χημείας» (Lefour & Meheut, 1996), όπου σ' αυτή επισημαίνονται «πορείες επίλυσης προβλημάτων, με τη βοήθεια πειραμάτων».

Το 1996, η ομάδα εργασίας για τη διδασκαλία της Φυσικής και Χημείας στο λύκειο, εισήγαγε μια σειρά σκέψεων σχετικά με τη θέση των πειραματικών δραστηριοτήτων που θα πρέπει να προτείνονται στους μαθητές στο πλαίσιο του αναλυτικού προγράμματος. Η ομάδα συστήνει δραστηριότητες που επιτρέπουν να απαντήσει κάποιος σ' ένα πρόβλημα με σκοπό «να καταστήσει τους μαθητές ενεργούς, δημιουργικούς και εφευρετικούς, να τους καθοδηγήσει να παρατηρούν για να επιτύχουν στη συνέχεια με ένα επιστημονικό τρόπο, βασισμένο στο πείραμα την απάντηση σ' ένα ερώτημα (BOEN, 1996). Στην ενότητα «Για τη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο Λύκειο» (BOEN, 1999), δηλώνεται η πεποίθηση ότι «η επιστήμη δεν είναι φτιαγμένη από βεβαιότητες, είναι φτιαγμένη από ερωτήματα και από απαντήσεις, που εξελίσσονται και διαφοροποιούνται με τον χρόνο». Τα παραπάνω δείχνουν ότι πάνω απ' όλα πρέπει να ευνοείται η διδασκαλία της επιστημονικής μεθόδου που συμπεριλαμβάνει την άσκηση στην παρατήρηση και την απόκτηση εμπειριών. Ο παραπάνω προσανατολισμός αποτελεί σε ένα βαθμό και τον πυρήνα στα νέα προγράμματα διδασκαλίας της Φυσικής - Χημείας που τέθηκαν σε ισχύ το σχολικό έτος 2000-01. Βασικές αρχές σ' αυτά τα προγράμματα είναι:

Η πειραματική πρακτική δεν ευνοεί την εκπαίδευση στο επιστημονικό πνεύμα παρά μόνο αν συνοδεύεται από μια πρακτική ερωτημάτων και το σχηματισμό μοντέλων. Η πειραματική διδασκαλία παίζει ένα σπουδαίο ρόλο στην εκπαίδευση «διότι προσφέρει τη δυνατότητα να απαντήσει κανείς σε ένα προβληματισμό μέσω της βελτίωσης μιας σειράς διαδικασιών, την πρακτική πραγμάτωση αυτών των διαδικασιών, τη δυνατότητα



να κινείται από τη θεωρία στο πείραμα και αντίστροφα, την διερεύνηση των αποτελεσμάτων».

Μια από τις προϋποθέσεις για να παίξει το ρόλο της αυτή η διαδικασία είναι «οι μαθητές να ξέρουν αυτό που ψάχνουν, να υπολογίζουν, έστω και αν κάνουν λάθη, μια ή κάποιες πιθανές λύσεις, να ενεργούν, να πειραματίζονται, να συνοψίζουν και να επεξεργάζονται τις γνώσεις και τις πληροφορίες».

Τα ερωτήματα που τίθενται είναι αν οι μαθητές λυκείου και οι σπουδαστές των παιδαγωγικών τμημάτων που προορίζονται για δάσκαλοι στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, που έχουν ανύπαρκτη ή ελάχιστη πειραματική εμπειρία, είναι ικανοί να «στρατευτούν» και να αποκομίσουν κέρδος από δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων με την βοήθεια πειραμάτων; Πιο συγκεκριμένα:

- Ποια είναι η ικανότητα των μαθητών να προτείνουν μια πειραματική διαδικασία, προκαταρκτική ενός πειράματος;
- Ποια είναι η φύση των δυσκολιών που συναντούν. Δυσκολίες που συνδέονται με την έλλειψη επιδεξιότητας χειρισμού συσκευών, με την αδυναμία να καταλήγουν σε συμπεράσματα μετά από μια σειρά συλλογισμών, με τη μη κατανόηση βασικών εννοιών που αναφέρονται στην μοριακή και ατομική δομή της ύλης.
- Ποια είναι η δυνατότητα των μαθητών να παρατηρούν και να εξάγουν την πληροφορία από την πειραματική πρακτική;
- Στη διάρκεια αυτής της διαδικασίας οι γνώσεις και οι δεξιότητες που αποκτούν επανεπενδύονται σε άλλες ανάλογες περιπτώσεις;
- Ποιος είναι ο ρόλος της συζήτησης μέσα στην ομάδα, μέσα στην τάξη μεταξύ μαθητών και καθηγητών;

Οι Laugier και Dumon (2003) εφάρμοσαν μια πειραματική διδασκαλία λύσης προβλημάτων σε τέσσερα τμήματα δευτέρας λυκείου σε τρία λύκεια (153 μαθητές) της πόλης Bordeaux, σε συνεργασία με το Εθνικό Παιδαγωγικό Ινστιτούτο της Γαλλίας. Τα μαθήματα αυτά παρεμβλήθηκαν στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα διδασκαλίας της Χημείας και Φυσικής, που διδάσκονται με τον παραδοσιακό τρόπο και συνολικά αφιερώθηκαν 15 μαθήματα της 1,5 ώρας για πειραματικές δραστηριότητες στη διάρκεια της σχολικής χρονιάς για το σύνολο του προγράμματος Φυσικής-Χημείας.

Το πλαίσιο στο οποίο εκτυλίχτηκε όλη η διαδικασία διεκδικεί την ένταξη του στον κοινωνικό εποικοδομισμό (social-constructivism). Ένα πρώτο στοιχείο αυτού του πλαισίου είναι ότι ο μαθητής αλληλεπιδρά με ένα περιβάλλον που είναι οργανωμένο από τον διδάσκοντα. Αυτό το στοιχείο συναντά την άποψη του Piaget, που υποστηρίζει ότι το παιδί σ' αυτό το περιβάλλον καλείται να παίξει ένα ρόλο, στη δόμηση της δικής του γνώσης. Το δεύτερο στοιχείο αφορά το ρόλο της αλληλεπίδρασης μεταξύ ομοίων (συμμαθητών) (Perret-Clermant, 1979) και το τρίτο στοιχείο είναι η κοινωνική διάσταση της εκμάθησης, που διεκδικείται από τον Vygotsky (1934).

Η παραδοσιακή άποψη της επιστήμης έχει οδηγήσει να δώσουμε μια επαγωγική εικόνα της δόμησης των επιστημονικών γνώσεων. Οι Joshua & Dupin (1989) έδειξαν πως αυτή η επαγωγική άποψη τείνει να εξαπλωθεί από τη δεκαετία του '50 στις διαδικασίες μάθησης των μαθητών. «Η άποψη αυτή στηρίζεται στην πεποίθηση ότι η παρατήρηση



και η μέτρηση είναι η βάση της «φανέρωσης» των φυσικών νόμων και ότι είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα τεχνητό σχολικό πλαίσιο όπου ο μαθητής, σωστά κατευθυνόμενος, θα είναι ικανός να κάνει εν συντομία την ίδια πορεία που έγινε στην επιστήμη». Σ' αυτό το παραδοσιακό πλαίσιο ο μαθητής / φοιτητής εκτελεί ή του παρουσιάζονται από τους διδάσκοντες κατά την εκπαίδευση του θεμελιώδη πειράματα και απαιτείται οι μαθητές να παρατηρήσουν να καταγράψουν και να μάθουν τα πιο σημαντικά γεγονότα. Η αντίληψη του πειραματισμού, ο προγραμματισμός και το όλο εργαστηριακό σκηνικό είναι της αρμοδιότητας του διδάσκοντα, ο μαθητής απλώς καλείται να παίξει ένα ρόλο σ' αυτό. Η άποψη αυτή είναι σε αντίφαση με τις αρχές του εποικοδομησμού και της συνεργατικής μάθησης που έχει κερδίσει σε μεγάλο βαθμό έδαφος στη σύγχρονη άποψη της διδακτικής των φυσικών επιστημών.

Εν συντομία παρουσιάζουμε το πρώτο μάθημα εργαστηριακής εργασίας που προτάθηκε στους μαθητές της β' λυκείου.

### 3.6 Η τοποθέτηση του προβλήματος

Το πρόβλημα που τέθηκε ήταν: «Αυτό το μπουκάλι περιέχει ένα αέριο του οποίου τον όγκο θέλουμε να μετρήσουμε δίχως να χαθεί καθόλου απ' αυτό. Πώς θα το πετύχουμε»; Ο χρόνος που διατέθηκε για την επίλυση του προβλήματος στο εργαστήριο ήταν μιάμιση ώρα και οι μαθητές ήταν χωρισμένοι σε ομάδες. Όλες οι ομάδες ασχολήθηκαν με το ίδιο πρόβλημα. Ο διδάσκων παρουσιάζοντας το πρόβλημα στην τάξη κατ' αρχήν εξακριβώνει στη διάρκεια συζήτησης με το σύνολο των μαθητών, ότι αυτοί καταλαβαίνουν τι τους ζητείται, ποια είναι η φύση του προβλήματος. Επιπλέον τους καθησυχάζει ότι δεν διατρέχουν κάποιο κίνδυνο από το χειρισμό του αερίου. Αυτή η φάση θεωρείται απαραίτητη για να επιτρέψει τη μεταβίβαση του προβλήματος από το διδάσκοντα στις ομάδες των μαθητών.

Οι μαθητές, σε μικρές ομάδες πρέπει αρχικά να συσχεφθούν και να προτείνουν γραπτά μια διαδικασία. Οι προτάσεις των ομάδων είναι προϊόν συλλογικής συζήτησης που πρέπει να καταλήξει σε μια συναίνεση ανάμεσα στην ομάδα και το διδάσκοντα (αρχική επικύρωση) σχετικά με την αρχή στην οποία θα στηρίζεται η διαδικασία που θα εφαρμοστεί. Στη συνέχεια οι ομάδες θα πρέπει να πραγματοποιήσουν τους χειρισμούς που θα τους επιτρέψουν να μαζέψουν το αέριο χωρίς να το χάσουν (πειραματική επικύρωση). Σύμφωνα με τη συνθήκη της εκφώνησης το αέριο είναι ήδη μέσα σε ένα μπουκάλι. Μια άλλη περίπτωση θα ήταν το αέριο να απελευθερωθεί από μια χημική αντίδραση και να ζητείτο η συλλογή του σε μια φιάλη. Σ' αυτή την τελευταία περίπτωση η αντίδραση θα πρέπει να περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα χημείας του γυμνασίου ή του λυκείου.

### 3.7 Ποια η στάση των μαθητών απέναντι στη λύση προβλήματος με τη βοήθεια πειράματος

Οι μαθητές εισάγονται σε μια νέα γι' αυτούς κατάσταση. Η πειραματική διαδικασία που πρέπει αυτοί να εφαρμόσουν δεν δίδεται από τον διδάσκοντα, όπως



παραδοσιακά γίνεται, αλλά πρέπει να καταρτιστεί στους κόλπους μιας μικρής ομάδας 3-4 μαθητών.

Επιλέξαμε, αναφέρουν οι ερευνητές «συνθήκες μέσα στις οποίες οι έννοιες που συναντούν οι μαθητές να μη τους είναι καινούργιες: ιδιότητες των υγρών, ιδιότητες των αερίων (το αέριο καταλαμβάνει όλο το διαθέσιμο όγκο, διαλυτότητα αερίων στο νερό, οι φυσαλίδες αδιάλυτου ή λίγο διαλυτού αερίου ανεβαίνουν μέσα στο υγρό). Πρόκειται για έννοιες ήδη γνωστές από προηγούμενες εκμαθήσεις. Μόνο η τεχνική που εφαρμόζεται για τη συλλογή αερίου κάτω από έναν κύλινδρο μέσα σε λεκάνη με νερό είναι καινούργια και πρέπει να επινοηθεί από τους μαθητές. Είναι πιθανό κάποιοι μαθητές να την έχουν γνωρίσει από το δημοτικό ή στο γυμνάσιο, αλλά κάνουμε την υπόθεση ότι δεν τη θυμούνται αρκετά και η δραστηριότητά τους δεν θα ελαττωθεί σε μια πράξη αναπαραγωγής».

Στη φάση αυτή οι Laugier και Dumon μελέτησαν: Πώς αντιδρούν οι μαθητές σ' αυτή την αλλαγή της διδακτικής κατάστασης που προτείνει ο διδάσκων. Τη δέχονται; Αισθάνονται ικανοί να πραγματοποιήσουν αυτή την εργασία; Πώς οργανώνουν την έρευνά τους για να ψάξουν τη λύση του προβλήματος;

Πώς συμπεριφέρονται για να καταρτίσουν μια πειραματική διαδικασία;

Ποιος ο ρόλος των υλικών που τίθενται στη διάθεσή τους

Ποιος ο ρόλος των αλληλεπιδράσεων στο εσωτερικό των ομάδων και μεταξύ των ομάδων;

Τι περιμένουν από το διδάσκοντα κατά τη διάρκεια της εργασίας;

### 3.8 Ανάλυση σε σχέση με απαραίτητες γνωστικές δραστηριότητες

Για την ανάλυση των εργασιών χρησιμοποίησαν την τυπολογία του d'Hainaut (1983). Αυτή η τυπολογία επιτρέπει όχι μόνο να εξετάζεται το σύνολο των γνώσεων και των απαραίτητων δεξιοτήτων για να επιτύχει κανείς το στόχο του, αλλά να μετρά την πολυπλοκότητα της εργασίας που επιβαρύνει τους μαθητές και να επισημαίνει την προέλευση των δυσκολιών που μπορούν να συναντήσουν.

Όταν αποτυγχάνουν είναι γιατί δεν κατέχουν τις έννοιες ή τις δεξιότητες για να επινοήσουν μια διαδικασία που θα εφαρμόσουν; Να σημειώσουμε ότι ο μαθητής μπορεί να πετύχει να λύσει το πρόβλημα με το ψηλαφισμό: να ξέρει να προσαρμόσει την τακτική και τις πράξεις του στην υπηρεσία αυτού που κάνει και αυτού που παρατηρεί. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε εν συντομία τη σειρά των φάσεων και τις παρατηρήσεις που καταγράφηκαν από τους εκπαιδευτικούς στο παραπάνω πρόβλημα που τέθηκε στους μαθητές. Το πρόβλημα αναφέρεται στην αέρια κατάσταση και συναντά αρκετά ζητήματα που αντιμετωπίζουν και οι φοιτητές στη δική μας έρευνα.

### 3.9 Διερευνητική φάση

Εξαρχής έγινε φανερό ότι οι μαθητές δεν γνώριζαν την τεχνική συλλογής αερίου με τη βοήθεια λεκάνης νερού. Η ικανότητα να καταρτίσουν μια διάταξη που να είναι η λύση του τιθέμενου προβλήματος (να μετρηθεί ο όγκος του αερίου χωρίς να χαθεί ένα



μέρος του) υποθέτει ότι οι μαθητές είναι σε θέση να επιστρατεύσουν τις γνώσεις τους που είναι σχετικές με τις ιδιότητες των αερίων και τη συμπεριφορά του μέσα σ' ένα υγρό στο οποίο να είναι αδιάλυτο. Η δραστηριότητα αυτή αναφέρουν οι Laugier και Dumon (2003) επιλέχτηκε διότι οι γνώσεις που προαπαιτούνται είχαν διδαχθεί στο γυμνάσιο και για κάποιους σε ένα βαθμό στο δημοτικό. Όμως από την αρχή φάνηκε ότι όχι μόνο αγνοούσαν το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεων αλλά και ότι είχαν επιπλέον λανθασμένες αντιλήψεις πάνω στην αέρια κατάσταση, ως κατάσταση της ύλης, αντιλήψεις που είναι πολύ κοντά σ' αυτές που συναντάμε σε μαθητές μικρών ηλικιών.

Έτσι από τους 153 μαθητές των τεσσάρων τμημάτων που συμμετείχαν σ' αυτή την εργασία, οι 61 αναρωτιούνται «αν το μπουκάλι είναι γεμάτο με αέριο». Όταν δε συμφώνησαν να χρησιμοποιήσουν έναν ογκομετρικό κύλινδρο με υποδιαίρεσεις οι 138 μαθητές ξέχασαν ότι αυτός ο κύλινδρος περιέχει ήδη αέρα και οι μισοί εξ' αυτών νόμιζαν ότι για να μετακινήσουν το αέριο από τη φιάλη στον κύλινδρο αρκεί να ενώσουν τη φιάλη με το κύλινδρο μέσω ενός λαστιχένιου σωλήνα και στη συνέχεια να «χύσουν» το περιεχόμενο της φιάλης στο σωλήνα, «το αέριο θα πέσει έτσι από το ένα δοχείο στο άλλο».

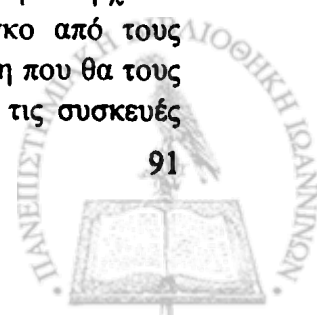
Επίσης 19 μαθητές πρότειναν «να υγροποιήσουμε το αέριο και στη συνέχεια να μετρήσουμε τον όγκο του στο βαθμολογημένο κύλινδρο». Η πρόταση αυτή είναι πιθανόν να προέρχεται από το γεγονός ότι ένας ογκομετρικός κύλινδρος χρησιμεύει για να μετρήσουμε τον όγκο ενός υγρού. Οι παραπάνω 19 μαθητές διαιρούνται σε δύο κατηγορίες σ' αυτούς που προτείνουν την υγροποίηση του αερίου μέσω θέρμανσης και σ' αυτούς μέσω ψύξης.

Σ' αυτές τις συνθήκες, οι διαδικασίες που προτάθηκαν δεν μπορούν να δώσουν μια λύση στο τεθέν πρόβλημα, και οι διδάσκοντες πρέπει να παρέμβουν στη συζήτηση γύρω απ' αυτές τις προτάσεις, υπογραμμίζοντας τη δυσκολία να υγροποιηθεί ένα αέριο, καθώς και τη μεταβολή του όγκου που υφίσταται το αέριο όταν αλλάζει κατάσταση.

### 3.10 Φάση κατάρτισης της πειραματικής διαδικασίας

Οι διδάσκοντες επιμένουν ότι οι μαθητές θα πρέπει να καταρτίσουν μια πειραματική διάταξη για να λύσουν το πρόβλημα. Η πρώτη αντίδραση είναι η ίδια και από τα τέσσερα τμήματα «δεν θα τα καταφέρουμε, θα καταστρέψουμε τις συσκευές». Οι μαθητές αυτοί γράφουν οι Laugier και Dumon δεν είχαν βρεθεί ποτέ σε θέση να καταρτίσουν μια πειραματική διαδικασία και στη συνέχεια να την εφαρμόσουν για να λύσουν ένα πρόβλημα. Η εργασία αυτή τους φαίνεται όχι μόνο δύσκολη, αλλά και επικίνδυνη για τα όργανα του εργαστηρίου. Η δυσκολία που υπήρξε στην αρχή να δεχτούν αυτή την εργασία δεν είναι από αδιαφορία, αλλά διότι δεν αισθάνονταν σίγουροι και φοβόταν «ότι δεν είναι ικανοί».

Οι μαθητές ωθούνται από τους διδάσκοντες να προτείνουν υποθέσεις. Στο σημείο αυτό οι μαθητές ακολούθησαν δύο διαφορετικές διαδρομές. Οι περισσότεροι άρχισαν από την παρατήρηση των συσκευών που είχαν τοποθετηθεί στον πάγκο από τους διδάσκοντες και ξεκινώντας απ' αυτές προσπαθούσαν να βρουν μια διάταξη που θα τους επιτρέψει να λύσουν το πρόβλημα. Για κάποιες ομάδες που χειρίζονται τις συσκευές



χωρίς να έχουν ένα σχέδιο πειραματισμού η πειραματική διαδικασία τους «έρχεται» στην πορεία. Αυτή η κατάσταση τους επιτρέπει να εξοικειωθούν με τις συσκευές και τα σχετικά φαινόμενα (π.χ. διαφυγή των φυσαλίδων του αερίου μέσα στο νερό). Η όλη τακτική που ακολούθησαν μπορούμε να πούμε ότι τους βοήθησε να οικειοποιηθούν το πρόβλημα και οι ερευνητές την χαρακτήρισαν ως προσαρμοστική.

Η άλλη κατηγορία μαθητών επιχείρησε να εξετάσει τη δυνατότητα ενός πειραματικού σχεδιασμού σχεδιάζοντας στο χαρτί αυτό που θα μπορούσε να γίνει με συσκευές. Αυτή η συμπεριφορά που μπορούμε να τη χαρακτηρίσουμε ως διερευνητική (Schneeberger, 1999), παρατηρείται σ' αυτούς που είναι ήδη ικανοί να επιστρατεύσουν τις απαραίτητες σχετικές γνώσεις των αερίων. Σ' αυτή τη φάση η ανταλλαγή απόψεων κατά τη συλλογική συζήτηση των διαδικασιών και η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις ομάδες μαρτυρά την ενεργό συμμετοχή των μαθητών.

Στο τέλος αυτής της φάσης βγαίνει η ιδέα, αποδεκτή απ' όλους, ότι πρέπει να εφαρμόσουμε την εκτόπιση του νερό από το αέριο. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η πιο μεγάλη δυσκολία που συνάντησαν οι μαθητές έγκειται στην αδυναμία τους να προεξοφλήσουν το μέλλον των φυσαλίδων του αερίου μέσα στο νερό. Εν τούτοις μετά από παρέμβαση του διδάσκοντα, πειραματισμό και παρατήρηση, οι μαθητές συμπεραίνουν ότι οι φυσαλίδες δεν μπορούν παρά να ανεβαίνουν. Ενισχυμένοι απ' αυτή τη βεβαιότητα οι ομάδες θέτουν σε εφαρμογή καινούργιες διαδικασίες που θα τους επιτρέψουν να πετύχουν. Έτσι οι ομάδες τελειοποιούν την τεχνική τους.

Από τη στιγμή που μια ομάδα επινόησε έναν έξυπνο τρόπο για να περάσουν οι φυσαλίδες από τη φιάλη στον ογκομετρικό κύλινδρο, το ανήγγειλε θριαμβευτικά στις υπόλοιπες. Ο διδάσκων βοήθησε τους αδέξιους, και τελικά το αέριο συλλέχτηκε στο βαθμολογημένο κύλινδρο. Η μέτρηση του όγκου του αερίου δεν θέτει πρόβλημα. Οι μαθητές είναι ενθουσιασμένοι: «είναι πολύ απλό, όμως πρέπει να ξέρει κανείς τον τρόπο». Οι Laugier και Dumon παραθέτουν στη συνέχεια έναν ανακεφαλαιωτικό πίνακα (Πίνακας 3.2) σχετικό με τις δραστηριότητες του διδάσκοντα, των μαθητών και τις εναλλακτικές ιδέες και αδεξιότητες των μαθητών που σχετίζονται με το πρόβλημα.



**Πίνακας 3.2** Ανακεφαλαιωτικός πίνακας με τις δραστηριότητες του διδάσκοντα και των μαθητών, τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και τις πειραματικές τους αδεξιότητες (Laugier & Dumon, 2003).

Δραστηριότητα του διδάσκοντα	Δραστηριότητα των μαθητών	Εναλλακτικές ιδέες των σπουδαστών	Πειραματικές αδεξιότητες των μαθητών
Παρουσιάζει στους μαθητές το πρόβλημα.	Μπαίνουν σε ομάδες και προτείνουν γραπτώς μια διαδικασία με τη βοήθεια συσκευών που θα τους επιτρέψει να λύσουν το τιθέμενο πρόβλημα	Το 40% αναρωτιόνταν αν το αέριο καταλαμβάνει όλο τον εσωτερικό χώρο της φιάλης.	Το 80% δεν γνωρίζουν πώς να «αδειάσουν» τον ογκομετρικό κύλινδρο που είναι γεμάτος αέρα και να τον γεμίσουν με νερό.
Οργανώνει τις προτάσεις των διαφόρων ομάδων.	Αναζητούν το απαραίτητο υλικό.	Το 90% δεν πίστευε ότι το δοχείο, μέσα στο οποίο θα συλλέξουν το αέριο είναι γεμάτο με αέρα.	Το 90% δεν κατορθώνει να ξεβουλώσει μέσα στο νερό τη φιάλη που περιέχει το αέριο χωρίς τους διαφύγει.
Αν οι μαθητές δεν θυμούνται την τεχνική, μεσολαβεί για να μη χαθούν σε άσκοπους και μη πραγματοποιήσιμους χειρισμούς.	Ενεργοποιούν τη διαδικασία για να βρουν τον όγκο του αερίου (να συλλέξουν το αέριο κάτω από τη λεκάνη νερού σε ένα βαθμολογημένο κύλινδρο).	Το 50% πίστευε ότι το αέριο θα περάσει αυθόρμητα από το ένα δοχείο στο άλλο, αν αυτά συνδεθούν με έναν πλαστικό σωλήνα.	Το 50% έχουν δυσκολία να κάνουν να περάσουν οι φυσαλίδες από τη φιάλη στον κύλινδρο.
Αφήνει σε όλες τις ομάδες να ψηλαφίσουν και να ξαναρχίσουν τις προσπάθειες μέχρι να επιτύχουν μια αποδεκτή πειραματική διαδικασία.		Το 5% συγχέει τη μάζα και τον όγκο ενός αερίου.	
		Το 12% προτείνει να υγροποιήσουν το αέριο (χωρίς να γνωρίζουν αν πρέπει να το θερμάνουν ή να το ψύξουν).	

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

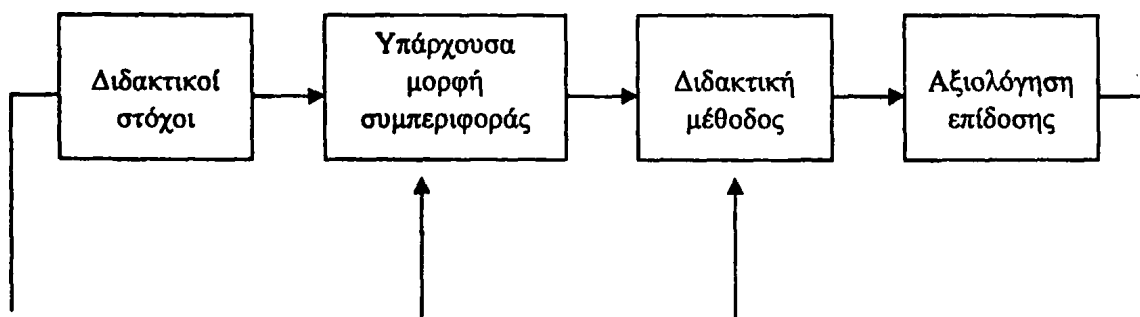
### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΙΙΙ

#### ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

##### 4.1 Γενικά περί διδακτικών μοντέλων

Όπως οι φυσικές επιστήμες έχουν τα πρότυπα (models) και με βάση αυτά διαπραγματεύονται φυσικά και χημικά φαινόμενα (π.χ. το πρότυπο του Bohr για την ερμηνεία των φασμάτων απορρόφησης και εκπομπής των αερίων) έτσι και η παιδαγωγική χρησιμοποιεί τα διδακτικά πρότυπα. Τα πρότυπα ή μοντέλα, προσπαθούν να απεικονίσουν κατά τρόπο συνολικό και σχηματικό τη διδακτική διαδικασία, για να μας βοηθήσουν να εφαρμόσουμε την πορεία μιας διδασκαλίας με συνοπτική και σχηματική μορφή.

Το πιο γνωστό πρότυπο της διδακτικής διαδικασίας είναι το πρότυπο του Glaser (Glaser, 1962, pp. 1-30). Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις ή στάδια και παριστάνεται σχηματικά στο διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1 Το διδακτικό μοντέλο του Glaser

Στο πρώτο στάδιο βρίσκονται οι διδακτικοί στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν κατά τη διδασκαλία. Οι στόχοι θα πρέπει να είναι ακριβώς οριοθετημένοι και ν' αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο (π.χ. ερμηνεία των νόμων των





αερίων με τη βοήθεια του μοντέλου των ιδανικών αερίων). Το δεύτερο στάδιο αναφέρεται στην υπάρχουσα κατάσταση του μαθητή, τις προαπαιτούμενες γνώσεις που έχει σε σχέση με το γνωστικό αντικείμενο που πρόκειται να διδαχθεί, το επίπεδο της νοητικής του ικανότητας, τα κίνητρα και τα ενδιαφέροντά του καθώς και με την πολιτιστικο-οικονομική του προέλευση.

Στην τρίτη φάση περιλαμβάνεται η διδακτική μέθοδος που εφαρμόζει ο διδάσκων για να επιτύχει το συγκεκριμένο διδακτικό στόχο. Και τέλος στην τελευταία φάση γίνεται η αξιολόγηση της επίδοσης, δηλαδή σε ποιο βαθμό επιτεύχθηκε ο αντικειμενικός στόχος που τέθηκε στην αρχή της διδασκαλίας ή αν η εφαρμοσθείσα διδακτική μέθοδος ανταποκρινόταν στην υπάρχουσα κατάσταση της τάξης. Τα τέσσερα αυτά στάδια συνδέονται με βέλη μονής κατεύθυνσης, από το πρώτο προς το τέταρτο, αλλά και με βέλη αντίθετης κατεύθυνσης, για να δειχθεί ότι η διδακτική πορεία δεν είναι μονόδρομη, και ότι μπορούμε από οποιοδήποτε στάδιο να επιστρέψουμε σε προηγούμενο, για να επιφέρουμε κάποια τροποποίηση στον προγραμματισμό της διδακτικής πορείας, που να ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες του διδακτικού αντικειμένου και της υπάρχουσας κατάστασης στην τάξη που διδάσκουμε.

Από τη δεκαετία του '50 στις χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής, είχε γίνει φανερό ότι το βασικό στοιχείο που έπρεπε να αλλάξει στις δομές της εκπαίδευσης δεν ήταν τόσο οι εξωτερικές (αρχιτεκτονική διαρρύθμιση των κτιρίων, υλικοτεχνική υποδομή, διοικητική διάθρωση) όσο οι σχέσεις ανάμεσα στο δάσκαλο και τον μαθητή και ιδιαίτερα οι τύποι, οι τεχνικές και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν μέσα στο σχολείο για τη διαδικασία και τη μετάδοση γνώσεων και δεξιοτήτων. Οι μεταρρυθμίσεις που προωθήθηκαν στηρίζονταν σε μεγάλο βαθμό στις έρευνες της ψυχοπαιδαγωγικής. Σημαντική θέση κατείχαν εκείνες του Piaget και των συνεργατών του, καθώς και οι μετέπειτα έρευνες και τα συμπεράσματα της γνωσιακής ψυχολογία και της κοινωνιολογίας της εκπαίδευσης.

«Έγινε συνειδητό από όλους τους εκπαιδευτικούς ότι η διδασκαλία υπάρχει, όταν λειτουργεί η μάθηση, όταν δηλαδή οι μαθητές πραγματικά διαμορφώνονται σε ανθρώπους που ξέρουν να στοχάζονται και όχι σε ανθρώπους που ξέρουν να αποστηθίζουν ορισμένα κείμενα ή που μαθαίνουν ορισμένες εγκυκλοπαιδικές γνώσεις. Έτσι το *discipulus sapiens* (μαθητής σοφός από γνώσεις), άρχισε να αντικαθίσταται από το *discipulus cogitans* (μαθητής που ξέρει να στοχάζεται) (Φράγκος, 1977, σ. 414).

Ανάλογα με το ρόλο και το βαθμό ενεργοποίησης του δασκάλου και των μαθητών κατά τη διδακτική διαδικασία, η σύγχρονη διδακτική ταξινομεί τις διδακτικές μορφές σε τρεις κύριες κατηγορίες (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 226):

- ο Δασκαλοκεντρική ή μονολογική
- ο Μικτή ή διαλεκτική
- ο Μαθητοκεντρική ή διερευνητική

Στη δική μας έρευνα εφαρμόσαμε τη δεύτερη και τρίτη κατηγορία διδακτικής μορφής. Παρακάτω περιγράφουμε το θεωρητικό πλαίσιο και τον τρόπο εφαρμογής των μορφών αυτών. Επίσης για λόγους πληρότητας αλλά και για να καταδειχθούν οι ποιοτικές διαφορές περιγράφουμε και το θεωρητικό πλαίσιο της δασκαλοκεντρικής μορφής.



#### 4.2 Δασκαλοκεντρική ή μονολογική διδασκαλία

Η δασκαλοκεντρική διδασκαλία εκφράζει ως διδακτικό σχήμα παραδοσιακές μορφές αγωγής και αντανakλά συντηρητικές κοινωνικές καταστάσεις, που απαιτούν «σεβασμό» στην κοινωνική ιεραρχία, αυστηρή οργάνωση, κλίμα σοβαροφάνειας και μια επίφαση επιστημονικότητας.

Ο διδάσκων σε μια αμιγώς δασκαλοκεντρική διδασκαλία παράγει τις ιδέες, τις πληροφορίες, τις κρίσεις, τα συμπεράσματα κ.ά. Ο μαθητής αναπαράγει με τις διαδικασίες της μνήμης κυρίως αυτές τις πληροφορίες, τις κρίσεις και τα συμπεράσματα, με τη βοήθεια των εγκεκριμένων από το διδάσκοντα και τους παράγοντες της εκπαίδευσης εγχειριδίων.

Στο περιεχόμενο της η παραπάνω διδασκαλία αποζητάει γενικές παρατηρήσεις, παροχή πληροφοριών, κατατάξεις και ταξινομήσεις και γενικά μια μεταφορά σε μικρογραφία ύλης που διδάσκεται στο Πανεπιστήμιο. Γενικά από άποψη περιεχομένου τα συμπεράσματα και το «σωστό» δεν προκύπτουν από μια αποδεικτική διαδικασία ή με ένα ανακαλυπτικό τρόπο αλλά χρησιμοποιούνται εκφράσεις του τύπου «όπως γνωρίζουμε...», «έχει αποδειχτεί ότι ...», «όπως έδειξε ο χημικός ...». Γενικά κυρίαρχη αποδεικτική σημασία στη διάρκεια ενός τέτοιου μαθήματος έχει ο ορισμός, ο κανόνας και η επικύρωση της παρεχόμενης γνώσης από την «αυθεντία».

Τα κλίμα που επικρατεί στην αίθουσα διδασκαλίας είναι τάξη και ησυχία, ώστε να μπορούν οι μαθητές να ακούν τον «κάτοχο της γνώσης», τυχόν ερωτήσεις και αντιρρήσεις γίνονται από τους μαθητές με μεγάλη διακριτικότητα και υπάρχει μια υποχωρητικότητα στις απόψεις του διδάσκοντος.

Οι μαθητές εξετάζονται και αξιολογούνται για να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο απομνημόνευσαν το μάθημα, γι' αυτό μεγάλο ρόλο παίζει η επανάληψη. Οι ερωτήσεις που αξιολογούν τέτοια διδασκαλία δεν λαμβάνουν υπόψη τα πραγματικά προβλήματα που θα αντιμετωπίσει αργότερα ο μαθητής στην καθημερινή του ζωή και είναι του τύπου «τι γνωρίζετε για...», «να αναφέρετε τις απόψεις που έχουν διατυπωθεί...», «ποια τα κυριότερα σημεία της θεωρίας του...».

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου διδασκαλίας με διάλεξη, στην περίπτωση διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, είναι ότι «οι μαθητές για τα φυσικά φαινόμενα έχουν προϋπάρχουσες ή εναλλακτικές ιδέες (alternative concepts) και έχουν ήδη πριν την διδασκαλία κάποια νοητικά σχήματα (schemata). Τα νοητικά σχήματα του δασκάλου, όταν διδάσκει ένα αντικείμενο, δεν συμπίπτουν απαραίτητως με τα προϋπάρχοντα σχήματα του μαθητή. Έτσι ο μεν δάσκαλος πιστεύει ότι έχει κάνει μια κατανοητή παρουσίαση και ότι εφ' όσον οι μαθητές τον προσέχουν καταλαβαίνουν τι αυτός εννοεί, ενώ οι μαθητές σχηματίζουν διαφορετικά νοητικά σχήματα απ' αυτά που ο δάσκαλος έχει την πρόθεση να τους μεταφέρει» (Driver, κ.ά. 1985, σ. 1-12). Επιπλέον οι δάσκαλοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους ότι, όταν χρησιμοποιούν επιστημονικά γλωσσικά σχήματα, οι μαθητές μπορεί να έχουν διαφορετικές αναπαραστάσεις συνδεδεμένες με τις ίδιες λέξεις (Nersessian, 1989).



Προς επίρρωση των παραπάνω αναφέρουμε και την άποψη του Heiton, για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και ιδιαίτερα της χημείας. «Απαιτείται λοιπόν να μετατοπίσουμε την προσπάθειά μας από το να λέμε πως εμείς σκεπτόμαστε στο να μαθαίνουνε πώς οι μαθητές σκέπτονται. Η μεγαλύτερη επίδραση που είχε η έρευνα της ψυχολογίας και της παιδαγωγικής στη διδασκαλία μου είναι η σχέση μεταξύ του χρόνου που διαθέτω στο να λέω στους μαθητές πως εγώ σκέπτομαι και του χρόνου που διαθέτω στο να ρωτώ πώς εκείνοι σκέπτονται». (Heiton, 1984, Τσαπαρλής, 1991, σ. 53).

Η διάλεξη, ως μορφή διδασκαλίας, είναι πολύ διαδεδομένη στις πανεπιστημιακές παραδόσεις. Στη χώρα μας, παρά τα βήματα βελτίωσης που έχουν γίνει στην υλικοτεχνική υποδομή της μέσης και στοιχειώδους εκπαίδευσης, οι μέθοδοι διδασκαλίας παραμένουν σε μεγάλο βαθμό παραδοσιακοί και η μορφή της διάλεξης κατέχει ένα μεγάλο μέρος του χρόνου διδασκαλίας.

Ένας από τους λόγους που η διάλεξη κατέχει δεσπόζουσα θέση στη διδασκαλία είναι ότι μ' αυτή καλύπτεται σε μικρό χρονικό διάστημα πολύ ύλη, ιδιαίτερα δε στο λύκειο όπου όλη η προβλεπόμενη από το αναλυτικό πρόγραμμα ύλη πρέπει να διδαχθεί. Έτσι οι μαθητές των δύο τελευταίων τάξεων, όλων των λυκείων της χώρας, θα πρέπει να διδαχθούν όλη την ύλη που προβλέπεται για τα πανελλαδικώς εξεταζόμενα μαθήματα. Αν δε ληφθεί υπόψη ότι ο διατιθέμενος χρόνος ιδιαίτερα για τη χημεία δεν είναι αρκετός (μια ώρα εβδομαδιαίως στη β' λυκείου για τη χημεία γενικής παιδείας, και δύο ώρες εβδομαδιαίως για τη χημεία κατεύθυνσης στη β' και γ' λυκείου), μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η διδασκαλία στη μέση εκπαίδευση είναι περισσότερο προσανατολισμένη στις ανάγκες των εξετάσεων και λιγότερο στη μάθηση και στη διαμόρφωση στάσεων και συμπεριφορών, δεν εξοικειώνει τους νέους με μεθοδολογίες και συστήματα αξιών, εφόδια πολύ πιο αποτελεσματικά από τα βραχύβια απομνημονευμένα γνωστικά στοιχεία.

Ο Τσαπαρλής (1991, σ. 68-74) σημειώνει ότι «στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο χρησιμοποιείται η διάλεξη, αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον πιο αποτελεσματική», και προτείνει τις παρακάτω συστάσεις :

- Τα μαθήματα να είναι οργανωμένα με καλή σειρά, από τα απλούστερα προς τα πολυπλοκότερα, χωρίς προωθύτερα.
- Ένα μάθημα σε μια μεγάλη τάξη δεν πρέπει να γίνεται μόνο για τους πολύ καλούς ή τους πολύ αδύνατους μαθητές. Συνιστάται να δίνουμε πρόσθετη δουλειά, όπως να μοιράζουμε σε όλους τους μαθητές φυλλάδια με ερωτήσεις, ασκήσεις, εργασίες και θέματα για μελέτη, όπου τα πιο απαιτητικά θέματα να σημειώνονται με ένα ή περισσότερους αστερίσκους. Από τους μαθητές να ζητούμε να διαλέγουν μόνοι τους για μελέτη είτε θέματα με αστερίσκο, είτε θέματα χωρίς αστερίσκο.
- Κατά τη διάλεξη είναι πολύ χρήσιμο να υποβάλλονται ερωτήσεις προς την τάξη, έστω και αν απαντά σ' αυτές ο ίδιος ο καθηγητής.
- Ακόμη και αν το κύριο μέρος της διδασκαλίας γίνεται με μονόλογο, ωφελεί πολύ να γίνονται κάποια διαλείμματα και να καλούνται οι μαθητές να διατυπώνουν απορίες, ερωτήσεις και κρίσεις.



- Πολύ χρήσιμα στην περίπτωση αυτή, είναι τα φύλλα εργασίας. Σ' αυτά ζητείται ανώνυμα από τους μαθητές να απαντήσουν σε ερωτήσεις και ασκήσεις σχετικές με το μάθημα. Ο καθηγητής διορθώνει τα φύλλα αυτά και στο επόμενο μάθημα τονίζει τα σημεία που δεν κατενόησαν οι μαθητές. Οι σωστές απαντήσεις είναι καλό να δίνονται από μαθητές και όχι από τον καθηγητή.

Στη δική μας ερευνητική διαδικασία κατά την παρέμβαση Α, αν και ο μεγάλος αριθμός των φοιτητών που πήραν μέρος (N=151) θα διευκόλυne τον διδάσκοντα να εφαρμόσει το μοντέλο της μονολογικής διδασκαλίας προτιμήσαμε να ακολουθήσουμε το μοντέλο της επαγωγικό-διαλογικής διδασκαλίας (διαλεκτικό μοντέλο), επειδή ο βαθμός ενεργοποίησης των φοιτητών κατά την διδασκαλία αυτή είναι πολύ μεγαλύτερος.

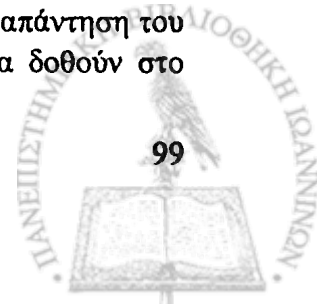
#### 4.3 Διαλεκτικό μοντέλο διδασκαλίας

Η μορφή αυτή διδασκαλίας παρέχει αρκετά περιθώρια συμμετοχής και πρωτοβουλίας στο μαθητή. Ο ρόλος του διδάσκοντα δεν είναι κυρίαρχος, όπως στο δασκαλοκεντρικό μοντέλο, και οι ερωτήσεις του δεν έχουν αποσπασματικό και εξεταστικό χαρακτήρα αλλά με ερωτήσεις σε επαγωγικό-διαλογική μορφή προσπαθεί με τους μαθητές να οικοδομήσουν ένα εξελισσόμενο διάλογο.

«Το περιεχόμενο του διαλόγου βασίζεται στις εμπειρίες ή σε ερεθίσματα και πληροφορίες που προσφέρει το σχολικό βιβλίο ή άλλες πηγές πληροφόρησης και στα εποπτικά μέσα. Τυπικές διδασκαλίες αυτού του είδους είναι οι διδασκαλίες που γίνονται με τη βοήθεια εικόνων, σχεδιαγραμμάτων, της κοινής εμπειρίας ή της λογικής ανάλυσης στα μαθήματα μελέτης του περιβάλλοντος και της πολιτικής αγωγής. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που το στοιχείο της εμπειρίας και της εποπτείας είναι μειωμένο και η διδασκαλία βασίζεται στη διαλεκτική αντιπαράθεση λογικών θέσεων. Στην τελευταία περίπτωση ανήκουν διδασκαλίες που γίνονται στα μαθηματικά, αλλά και οι διδασκαλίες θεωρητικών μαθημάτων, που έχουν ως θέμα τους κοινωνικά και ηθικά προβλήματα» (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 250).

Η επαγωγικό-διαλογική μορφή κατά τη διδασκαλία, όπως αναφέρουν οι παιδαγωγοί, μπορεί να λάβει δύο μορφές, τη «μαιευτική» και τη «διαλεκτική» (Φράγκος, 1977, σ. 378 και Φράγκος, 1973, Ματσαγγούρας, 1998, σ. 250, Δανασή-Αφεντάκη 1993, σ. 89, Πετρουλάκη, 1992). Η πρώτη μορφή όπως μας την παρέδωσε ο ίδιος ο Σωκράτης στον πλατωνικό «Μένων», εφαρμόζεται από το πνευματικά ώριμο άτομο (δάσκαλος) στον πνευματικά ανώριμο άτομο (μαθητή). Η διδασκαλία γίνεται με αλληπάλληλες ερωταποκρίσεις και ενδιαφέρεται κυρίως να καταστήσει το μαθητή ικανό να εκτελεί μια σειρά συλλογισμών, ώστε μακροπρόθεσμα να καταστεί ικανός να αυτενεργεί για να αποκτήσει μόνος του τη γνώση.

Στο διάλογο «Μένων» ο Σωκράτης προσπαθεί να διδάξει σε ένα δούλο το δικλασιασμό του εμβαδού ενός τετραγώνου. Ο δάσκαλος ερωτά και ο μαθητής απαντά. Ο δάσκαλος δεν κάνει ερωτήσεις, για να ζητήσει γνώσεις από το μαθητή, αλλά να ζητήσει συλλογισμούς δηλαδή τη χρησιμοποίηση των γνώσεων. Κάθε λανθασμένη απάντηση του μαθητή δεν απορρίπτεται από το δάσκαλο, αλλά γίνεται αφορμή, για να δοθούν στο



μαθητή πρόσθετες πληροφορίες, ώστε ο μαθητής να προχωρήσει σε νέους συλλογισμούς και να αναγνωρίσει το λάθος του. Ο δάσκαλος σ' όλη τη διαδικασία δεν εμφανίζεται ως «κάτοχος της γνώσης», αλλά είναι συνερευνητής και συμπαραστάτης του μαθητή στην προσπάθειά του να εκμαιεύσει τη γνώση.

Η «μαιευτική» μέθοδος έχει κατά καιρούς προσελκύσει το ενδιαφέρον αρκετών παιδαγωγών. Ο Χ. Φράγκος την εφάρμοσε σε μαθητές δημοτικών σχολείων και γυμνασίων και η έρευνα αυτή απέδωσε θετικά αποτελέσματα (Φράγκος, 1973). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το τεχνολογικό πρότυπο διδασκαλίας που ξεκίνησαν οι Stolurow και Davis (DeCecco, 1968) και σήμερα έχει εξελιχθεί σε διάφορες παραλλαγές με την πρόοδο που έχει σημειωθεί στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η μαιευτική τεχνική παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες στη διδακτική πράξη, παρά τις θεωρητικές προσεγγίσεις και τις πειραματικές επαληθεύσεις. Απαιτεί πολύ χρόνο και χρειάζεται δάσκαλο που να γνωρίζει πολύ καλά το διδακτικό αντικείμενο και να είναι πολύ καλά προετοιμασμένος. Επιπλέον για ένα αριθμό μαθητών είναι μια αρκετά απαιτητική τεχνική.

Στη διδακτική των φυσικών επιστημών συχνά αναφέρεται ο όρος «εκμαιευτική φάση» (elicitation phase) και δεν πρέπει να συγχέεται με την μαιευτική μέθοδο διδασκαλίας. Η εκμαιευτική φάση αποτελεί το πρώτο μέρος της εποικοδομητικής διδασκαλίας, το δεύτερο μέρος είναι η φάση αναδόμησης και το τρίτο η φάση της αναθεώρησης των υπαρχουσών ιδεών. Στην πρώτη φάση παρέχονται ευκαιρίες να παρουσιάσουν οι μαθητές τις δικές τους ιδέες και να λάβουν υπόψη τους τις ιδέες των συμμαθητών τους (Nussbaum, 1988).

Η δεύτερη μορφή της επαγωγικο-διαλογικής μορφής, ή «διαλεκτική» είναι πιο κατάλληλη για ισότιμους και ώριμους συνομιλητές και θεωρείται ότι είναι πιο πρόσφορη για μαθητές λυκείου και για φοιτητές, που μελετούν σύνθετα προβλήματα (Abercrombie, 1971, Κονιδιτσιώτη, 1985).

Οι διδακτικές απόψεις που εκφράζονται στο διαλεκτικό τύπο διδασκαλίας εμπεριέχουν διαδικασίες για τη μάθηση και τη διδασκαλία που έχουν εκφραστεί από αρκετούς παιδαγωγούς (Bruner, 1967). Στο διαλεκτικό τύπο διδασκαλίας στην περιοχή «περιεχόμενο» δεν κυριαρχεί η παροχή πληροφοριών, αλλά η διακρίβωση και η εξακρίβωση των εννοιολογικών τάσεων των μαθητών, με σκοπό να καθοριστεί το βασικό πρόβλημα στο θέμα που εξετάζουμε και το οποίο διαρθρώνει την όλη σύνθεση της ενότητας που διδάσκουμε. Το βασικό πρόβλημα, στο οποίο προσπαθούμε να βρούμε λύση χρησιμοποιείται ως μέσο για να κινηθούμε σε επιμέρους προβλήματα ή θέματα. Επίσης το βασικό πρόβλημα, στο οποίο εστιάζουμε τη διδασκαλία μας μπορεί να προσεγγιστεί με πολλούς τρόπους και λειτουργεί ως μια δομή και γι' αυτό έχει τη δυνατότητα προσαρμογών και αλλαγών.

Στις διαδικασίες που χρησιμοποιεί αυτός ο τύπος διδασκαλίας περιλαμβάνονται λειτουργίες ευρετικής μορφής, εναλλακτικές μέθοδοι, αναγνώριση και διερεύνηση του λάθους- βασικό στοιχείο κάθε διαλεκτικής μορφής, παρακαμπτήριοι δρόμοι κ.ά. Όλες αυτές οι διαδικασίες ενεργοποιούν το μαθητή και δημιουργούν μια δυναμική για την



προώθηση της μάθησης. Ο μαθητής ασκείται σε μορφές δημιουργικής σκέψης, προβληματισμού και κριτικής αντιπαράθεσης.

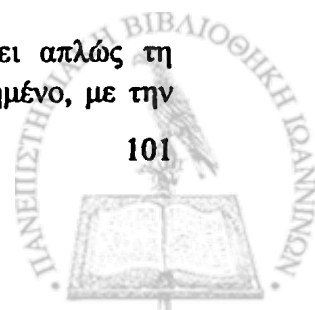
Η συνεξέταση του θέματος από το δάσκαλο και τους μαθητές δημιουργεί στην αίθουσα διδασκαλίας κλίμα συνεργασίας, επικοινωνίας και αλληλοκατανόησης. Η συστηματική εφαρμογή του διαλεκτικού μοντέλου δε θέλει να δημιουργήσει άτομα που να δέχονται εξ' αποκαλύψεως αλήθειες και πολίτες υποταγμένους σε μορφές εξουσίας. Πρέπει επίσης να προστεθεί ότι στον τύπο αυτό οι τρεις συνιστώσες της διδασκαλίας (περιεχόμενο, διαδικασία και παιδαγωγικό κλίμα) δεν είναι απομονωμένες, επικοινωνούν μεταξύ τους, πράγμα που σημαίνει ότι από το περιεχόμενο μπορούμε να πηγαίνουμε στις διαδικασίες ή αντίστροφα. Η αναγνώριση και διευθέτηση π.χ. ενός λάθους στο πεδίο της διαδικασίας μπορεί να μας οδηγήσει σ' ένα στοιχείο του περιεχομένου ή στο πεδίο του κλίματος. Επίσης η εκκίνηση μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε πεδίο και όχι υποχρεωτικά από το περιεχόμενο, όπως συνήθως γίνεται. Ο διαλεκτικός τύπος διδασκαλίας μπορεί να πάρει ποικίλες τροποποιήσεις, ανάλογα με το μάθημα, τον διδάσκοντα και τους μαθητές. Στο διαλεκτικό μοντέλο ο δάσκαλος κατανοεί τις απόψεις του μαθητή και δημιουργεί τον προβληματισμό για να τον κατευθύνει στη δημιουργία θεωριών που να είναι συνεπείς με αυτές που αποδέχεται η σύγχρονη επιστήμη.

Για να δημιουργήσει ο δάσκαλος τον προβληματισμό, που είναι αναγκαίος για την κινητοποίηση των μαθητών, μπορεί να ακολουθήσει μια από τις παρακάτω τεχνικές (Johnson, 1979, p.189 Ματσαγγούρας, 1987δ και 1998, σ. 259-260):

- Να δημιουργήσει αντιπαράθεση απόψεων μεταξύ των μαθητών (π.χ. σε ένα σώμα που αρχικά ηρεμεί σε λείο οριζόντιο επίπεδο ασκούμε μια σταθερή δύναμη. Το σώμα θα κινείται με σταθερή ταχύτητα ή με σταθερή επιτάχυνση;). Για να υποστηρίξουν οι μαθητές την άποψή τους αναζητούν πληροφορίες, χρησιμοποιούν λογική ανάλυση, καταβάλλουν προσπάθεια κατανόησης αντίθετων απόψεων, εκτελούν πειράματα. Με τον τρόπο αυτό επιφέρουν τροποποιήσεις στις αρχικές τους απόψεις.
- Παρουσιάζει γεγονότα που δεν συμφωνούν με τα υπάρχοντα νοητικά σχήματα του μαθητή. Η ασυμφωνία αυτή δημιουργεί διαταραχή της ισορροπίας των υπάρχοντων νοητικών σχημάτων. Η διαταραχή αυτή παρωθεί το άτομο να βρει τρόπο να «ενσωματώσει» το νέο στοιχείο στα προϋπάρχοντα σχήματα ή το αναγκάζει να τα τροποποιήσει.
- Αφήνει τους μαθητές να καταλήξουν σ' ένα αποτέλεσμα που τελικά διαπιστώνουν ότι είναι λανθασμένο και τους ζητάει να βρουν που οφείλεται το λάθος.

Η παραπάνω διαδικασία με άλλα λόγια υποστηρίζει ότι στο σχολικό επίπεδο, η αναδιοργάνωση των γνώσεων πρέπει να προκύπτει από τις προσπάθειες του δασκάλου να κατευθύνει το μαθητή στην οικοδόμηση ενός νέου σχήματος. Τέτοιες διαδικασίες προάγουν τη γνώση και την ικανότητα απόκτησης της γνώσης με ενεργητικό τρόπο (Βοσνιάδου & Brewer, 1988).

Η αρχή της επαγωγικότητας στη διαλεκτική μορφή δε σημαίνει απλώς τη διερεύνηση ενός θέματος από το συγκεκριμένο προς το γενικό και αφηρημένο, με την



έννοια ότι πρέπει να ξεκινάμε από πράγματα που βλέπουμε και ακούμε ή αγγίζουμε, κάτι που στη δική μας έρευνα γίνεται με την επίδειξη των πειραμάτων. Επιπλέον σημαίνει να ξεκινάμε από καταστάσεις, βιώματα και συλλογιστικούς μηχανισμούς που έχουν συγκεκριμενοποιηθεί, έχουν εγκαθιδρυθεί στη συνείδηση του μαθητή.

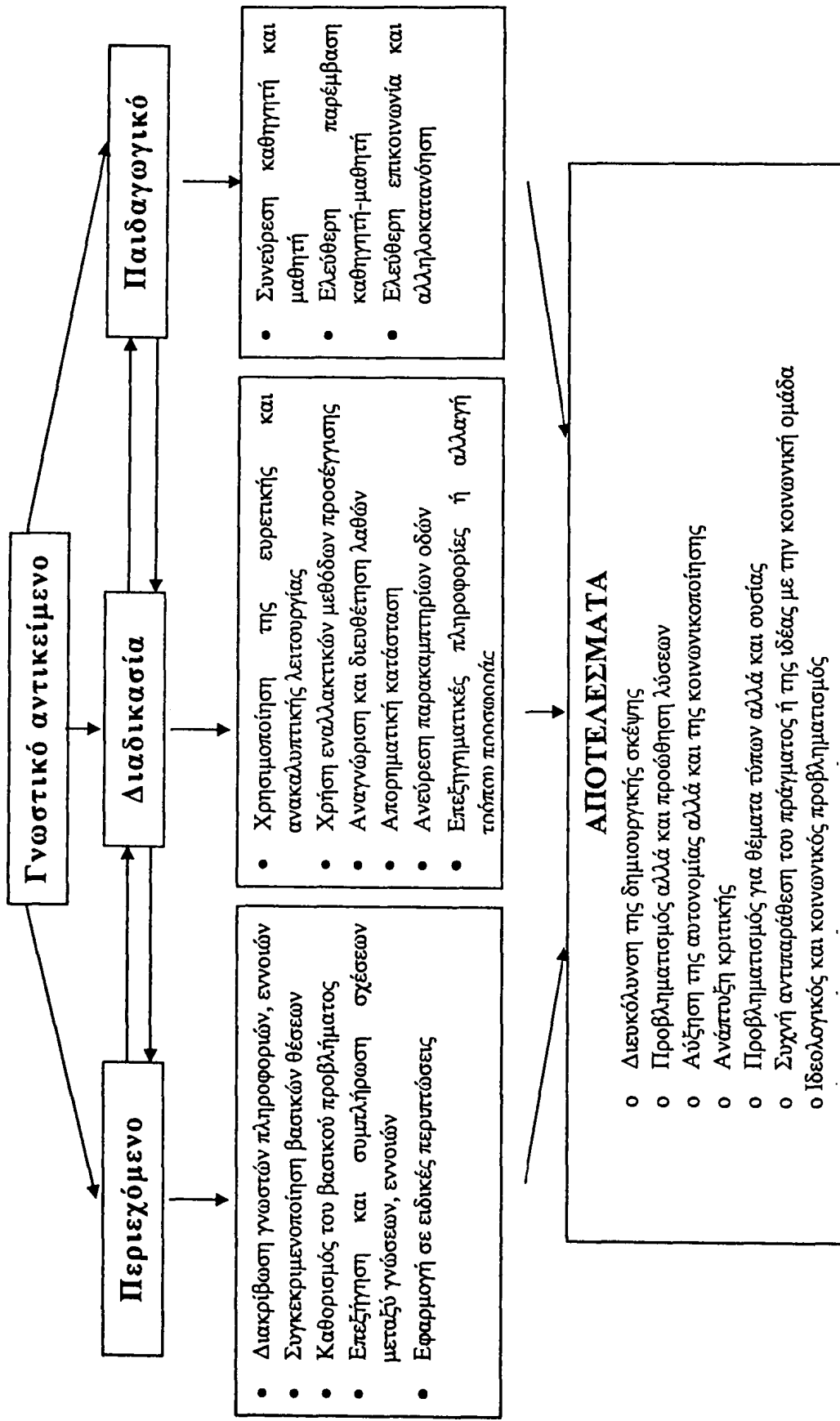
Οι κίνδυνοι από την εφαρμογή της διδακτικής αυτής μορφής είναι:

- Να δημιουργηθεί οξύτητα μεταξύ των συνδιαλεγόμενων.
- Να οδηγηθεί ο διάλογος σε άγονη παράθεση απόψεων και πληροφοριών μεταξύ λίγων μαθητών.
- Να οδηγηθεί ο διάλογος σε λάθος κατεύθυνση ή σε αδιέξοδο.

Στην πρώτη περίπτωση ο δάσκαλος πρέπει να περιορίσει τη συμμετοχή των μαθητών που πρωταγωνιστούν στην οξύτητα και να εμπλέξει στη συζήτηση και άλλους μαθητές. Στη δεύτερη περίπτωση ο δάσκαλος πρέπει να στρέψει τη προσοχή των μαθητών σε πλευρές του θέματος που δεν πρόσεξαν ή να επαναδιατυπώσει με διαφορετικό τρόπο το ίδιο θέμα ή πρόβλημα και στην τελευταία περίπτωση ο δάσκαλος πρέπει να υπενθυμίσει το πρόβλημα και τους στόχους της συζήτησης ή να κάνει υποδείξεις που μπορούν να βοηθήσουν. Όλα τα παραπάνω, βέβαια, προϋποθέτουν καλή προετοιμασία του διδάσκοντα για τα θέματα που θα διαπραγματευτεί με τους μαθητές. Περιπτώσεις αυτοσχεδιασμών της τελευταίας στιγμής μπορεί να αποβούν πολύ αρνητικές για το κλίμα και για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού μοντέλου. Ένα μοντέλο του διαλεκτικού τύπου διδασκαλίας παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2 Μοντέλο διαλεκτικού τύπου διδασκαλίας (από το βιβλίο του Χ. Φράγκου, Ψυχοπαιδαγωγική, σ. 423)





#### 4.4 Η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση (cooperative learning)

Κατά τη διδασκαλία των προβλημάτων στην παρέμβαση Β, της παρούσας έρευνας με τη διαλεκτική μέθοδο, τόσο με τη βοήθεια επίδειξης πειραμάτων, όσο και με τη βοήθεια «κιμωλίας και πίνακα», η αλληλεπίδραση γινόταν κυρίως μεταξύ του διδάσκοντα και της ομάδας που κάθε φορά καλούσε για να διαπραγματευτούν ένα θέμα-πρόβλημα. Αυτή η διπολική επικοινωνία συνδεόταν έμμεσα με τις υπόλοιπες ομάδες που βρίσκονταν στην αίθουσα διδασκαλίας και παρακολουθούσαν. Επίσης, σε μικρό βαθμό υπήρχε ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των μελών της κάθε ομάδας που διαπραγματευόταν το θέμα, του διδάσκοντα και των υπολοίπων φοιτητών που παρακολουθούσαν.

Συνεπώς στις παραπάνω διδακτικές μεθόδους ο ρόλος του διδάσκοντα στο συντονισμό και στην καθοδήγηση της όλης συζήτησης είναι καθοριστικός. Σε μια τέτοια διδακτική προσέγγιση ο δάσκαλος ερωτούσε και οι μαθητές απαντούν, έτσι δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι έχουμε μια περίπτωση ομαδοσυνεργατικής μάθησης. Η διαπραγμάτευση κάθε θέματος-προβλήματος κυρίως με μια ομάδα βοήθησε αφ' ενός στην οικονομία του χρόνου διδασκαλίας και αφ' ετέρου στην εξασφάλιση της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ενεργής συμμετοχής των φοιτητών.

Στη διδακτική μέθοδο, λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, η κάθε ομάδα στην οποία ο διδάσκων μεταβίβαζε το πρόβλημα καλείται να αναπτύξει μια ιδιαίτερη δυναμική. Οι φάσεις που ακολουθήθηκαν, στην παρούσα έρευνα περιγράφονται συνοπτικά στο κεφάλαιο 2 (ενότητα, 2.24 και 2.25) και εκτενέστερα στο κεφάλαιο 7 (Διαδικασία λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο), αυτές εμπλέκουν σε ισχυρή αλληλεπικοινωνία τόσο τα μέλη κάθε ομάδας όσο και την ομάδα με τον διδάσκοντα και το εργαστηριακό υλικό. Η συνδιαμόρφωση μιας πειραματικής διαδικασίας, από την ομάδα και τον διδάσκοντα, στη βάση των προτάσεων της ομάδας, η φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού και η παρουσίαση της διαδικασίας και των αποτελεσμάτων από την ομάδα στις άλλες ομάδες εμπεριέχουν τη λειτουργία ικανοποιητικού αριθμού στοιχείων της συνεργατικής μάθησης. Στη συνέχεια παραθέτουμε βασικά στοιχεία από το θεωρητικό πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης για να υπογραμμίσουμε τη διδακτική και κοινωνική διάσταση της διδακτικής μεθόδου που εφαρμόσαμε.

#### 4.5 Η ενεργός συμμετοχή των μαθητών

Οι μελέτες που ασχολούνται με την οργάνωση της σχολικής τάξης, προσπαθούν να δώσουν λύσεις στο οργανωτικό πρόβλημα μέσω της διδακτικής προσέγγισης (Brophy & Evertson, 1976). Κύριο χαρακτηριστικό των διδασκαλιών που οδηγούν στην καλή οργάνωση της τάξης είναι η αυξημένη συμμετοχή των μαθητών στο μάθημα. Το στοιχείο της συμμετοχής έχει και διδακτική και οργανωτική σημασία, διότι προάγει τη μάθηση και ελαττώνει τα προβλήματα συμπεριφοράς που δημιουργεί η αδιαφορία για το μάθημα. Προλαμβάνει τη σύγχυση για το τι και πώς πρέπει να γίνει καθώς και την απογοήτευση της αποτυχίας.



«Η μαθητική συμμετοχή δεν πρέπει να εννοείται ως απλή εμπλοκή του μαθητή στην εξεταστική διαδικασία που ο δάσκαλος θέτει ερωτήσεις και οι μαθητές απαντούν, όπως συχνά συμβαίνει, ούτε ως ενασχόληση των μαθητών με εργασίες αναπαραγωγής όσων ελέχθησαν στην αίθουσα, αλλά ως μια διαδικασία έντονης διαπραγμάτευσης μεταξύ των μαθητών και των πηγών πληροφόρησης (δάσκαλος, βιβλία, εργαστήριο και λοιπό μαθησιακό υλικό) για την κατανόηση του διδακτικού αντικειμένου. Η διαδικασία της διαπραγμάτευσης μπορεί να έχει τη μορφή διαλογικής συζήτησης, τη μορφή ομαδικών ή ατομικών ασκήσεων και πειραματισμών». (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 176, Ματσαγγούρας, 1985).

Το στοιχείο της ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών στο μάθημα είναι στο επίκεντρο της διδακτικής έρευνας. Το επίσημο αναλυτικό πρόγραμμα, στο δικό μας αλλά και στα άλλα εκπαιδευτικά συστήματα, προβλέπει φαινομενικά τις ίδιες ευκαιρίες μάθησης σε όλους τους μαθητές. Στην πράξη όμως, οι συμβατικές διδασκαλίες στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατευθυνόμενες (direct instruction), ο δάσκαλος παίζει τον κυρίαρχο ρόλο με το να καθορίζει και να κατευθύνει, οτιδήποτε έχει σχέση με το διδακτικό αντικείμενο και τις διδακτικές δραστηριότητες. Ένα τέτοιο μοντέλο διδασκαλίας βρίσκεται σε αναντιστοιχία με τις σύγχρονες αντιλήψεις μάθησης και επιπλέον δεν ανταποκρίνεται στις δυνατότητες και τις μαθησιακές ανάγκες όλων των κατηγοριών των μαθητών. Έτσι όλοι οι μαθητές δεν συμμετέχουν το ίδιο ενεργά στον παρεχόμενο διδακτικό χρόνο. Η Μ. Τζάνη (1988) σε μια κοινωνιολογική έρευνα διαπίστωσε ότι οι αδύνατοι μαθητές, που στην περίπτωση του ελληνικού δημοτικού σχολείου αποτελούν το 13% και προέρχονται από χαμηλά κοινωνικοοικονομικά στρώματα, συμμετέχουν στο μάθημα μόνο κατά το 57% του διδακτικού χρόνου. Έτσι ο χρόνος στο πλαίσιο του παραδοσιακού σχολείου αποβαίνει στοιχείο κοινωνικής διάκρισης, αφού στην πραγματικότητα διαφοροποιεί τις ευκαιρίες μάθησης (Μαυρογιώργος, 1987, σ. 24).

Ο χρόνος της ενεργητικής συμμετοχής ως χρόνος του μαθησιακού περιβάλλοντος και υποκατηγορία του διδακτικού χρόνου, ορίζεται ως ο χρόνος κατά τον οποίο ο μαθητής διαπραγματεύεται συνειδητά με τις πηγές πληροφόρησης και αναπτύσσει προβληματισμό πάνω σε ένα συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο. Απασχολεί δε έντονα τα τελευταία χρόνια τη βιβλιογραφία (Denham, 1980, Ματσαγγούρας, 1987, Κοσσυβάκη, 1991β). Κατά τον Bloom (1980, σ. 383) ο χρόνος ενεργητικής συμμετοχής είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που διαφοροποιεί τις σχολικές επιδόσεις των μαθητών, των σχολικών τάξεων και των χωρών. Η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία, σε σχέση με άλλες μορφές διδασκαλίας, αναβαθμίζει ποιοτικά και ποσοτικά το χρόνο ενεργητικής συμμετοχής και αυτός είναι ένας από τους τρόπους που μεγιστοποιείται η σχολική μάθηση. Η αυξημένη εμπλοκή των μαθητών στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αίσθηση και στις ευκαιρίες επιλογής και αυτορρύθμισης που παρέχει (McCombs, 1988, σ. 153).

Η αύξηση του χρόνου ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών είναι πρωταρχικής σημασίας. Δύο είναι τα κύρια στοιχεία που τον επηρεάζουν και επιδέχονται διδακτική παρέμβαση: α) η διδακτική στρατηγική και β) το περιεχόμενο της διδασκαλίας.



#### 4.6 Διδακτική στρατηγική

Με τον όρο διδακτική στρατηγική εννοούμε μια ιεραρχικά δομημένη διδακτική διαδικασία, που έχει σαφείς παιδαγωγικούς σκοπούς και επιστημονικά ελεγμένες διδακτικές αρχές, τις οποίες προσπαθεί ο διδάσκων να υλοποιήσει κατά την εξέλιξη της διδασκαλίας. Η υλοποίηση γίνεται με την οργάνωση της διδασκαλίας σε φάσεις και την επιλογή μεθόδων, μορφών και περιεχομένου διδασκαλίας, καθώς και με την πρόβλεψη μαθητικών δραστηριοτήτων και μορφών κοινωνικής οργάνωσης της τάξης, που προσφέρονται για την πραγμάτωση του ρόλου κάθε φάσης.

Η συνεργαζόμενη ομάδα αποτελεί τη βασική μονάδα της τάξης και την κινητήρια δύναμη της διδασκαλίας. Η ομαδοσυνεργατική διδασκαλία (group teaching, cooperative learning model) τονίζει την κοινωνική διάσταση της διδασκαλίας, διεκπεραιώνεται μέσα από κοινωνικής φύσης αλληλεπιδράσεις, και θεωρεί τόσο την δασκαλοκεντρική όσο και την παιδοκεντρική υλοποίηση απρόσφορες, λόγω του ατομοκεντρικού τους χαρακτήρα, για την επίτευξη των σκοπών της μάθησης (Johnson & Maguyana, κ.ά., 1981).

Από τους πρώτους που επεσήμαναν τη διαφοροποίηση μεταξύ διαμαθητικής μάθησης και δασκαλοκεντρικής ήταν ο Piaget, που επεσήμανε ότι η πρώτη δημιουργεί σχέσεις ισότιμες και σύμμετρες, ενώ η δεύτερη δημιουργεί σχέσεις ιεραρχικές και ασύμμετρες (Damon, 1995, σ. 336). Η πρόκριση του Piaget προς την πρώτη οφείλεται στην πεποίθησή του ότι η συζήτηση μεταξύ ισότιμων συνομηλητών παρέχει δυνατότητες αμφισβήτησης και κριτικής θέσεων και απόψεων. Προς την άποψη αυτή συγκλίνουν και άλλοι ερευνητές, που υποστηρίζουν ότι αυτορρυθμιζόμενη κοινωνική συμπεριφορά αποτελεί βασική προϋπόθεση της κοινωνικής, γνωστικής και ηθικής αυτονομίας (Kruppmann, 1992, σ. 174, Tudge & Rogoff, 1989, σ. 24).

Η γνωσιακή ψυχολογία, όπως γνωρίζουμε, τονίζει την ενεργητική φύση της μάθησης και το ρόλο του δασκάλου ως διαμεσολαβητή (mediator) για την κατάκτηση της γνώσης από τον μαθητή. Στο πλαίσιο αυτό ο Piaget τονίζει ότι η διαμαθητική αλληλεπικοινωνία αναδεικνύει τις γνωστικές συγκρούσεις, γεγονός που συμβάλλει στην γνωστική ανάπτυξη, ενώ ο Vygotsky, τονίζει ιδιαίτερα ότι η διαμαθητική αλληλεπικοινωνία δημιουργεί τη δυναμική της «ζώνης της επικείμενης ανάπτυξης». Και οι δύο σημαντικοί ψυχολόγοι παρά το γεγονός ότι ερμηνεύουν διαφορετικά την κατά μικρές ομάδες συνεργασία των μαθητών την στηρίζουν θεωρητικά.

Ο Cousinet θεωρεί ότι οι αντίθετες απόψεις που προβάλλονται κατά τη διαπραγμάτευση ενός θέματος από τα μέλη μιας ομάδας, βοηθούν το αναπτυσσόμενο άτομο να ξεπερνά το στάδιο του συλλογισμού από το μερικό στο μερικό και να το εισάγουν στο γενικό. Η μερική σκέψη οδηγεί σε λανθασμένες παραστάσεις και υποθέσεις, που διαψεύδονται από την καθημερινή πραγματικότητα (Joyce, κ.ά., 1992, σ. 4).

Η ομαδική συνεργασία μεγιστοποιεί τη μάθηση, διότι η αντιπαράθεση των αλληλοσυγκρουόμενων απόψεων και ιδεών, ενδυναμώνουν το ενδιαφέρον των μαθητών για ένα συγκεκριμένο διδακτικό αντικείμενο. Δίνουν στο μαθητή τη δυνατότητα, μέσω της συνθετικής διαδικασίας, να επισημάνει τις παραμέτρους ενός τιθέμενου προβλήματος, να κάνει προβλέψεις, διευκρινίσεις, συσχετίσεις, υποθέσεις, επαληθεύσεις



και να διατυπώσει προτεινόμενη λύση. Η ποικιλία των αλληλοσυγκρουόμενων απόψεων και πληροφοριών δεν προσφέρει μόνο την αρχική ώθηση, αλλά τη συντηρεί και προσφέρει το αναγκαίο υλικό πάνω στο οποίο θα στηριχθεί η λύση. Η αντιπαράθεση και η σύγκρουση των απόψεων, τονίζουν οι Piaget και Kohlberg, βοηθά το άτομο να απαλλαγεί από τον εγωκεντρικό τρόπο σκέψης και γενικά συμβάλλει στην επιτάχυνση του ρυθμού της νοητικής ανάπτυξης. Η αντιπαράθεση, όμως, και η διαλεκτική σύνθεση προϋποθέτουν επικοινωνία ισότιμων μελών και διακανονισμό ρυθμίσεων.

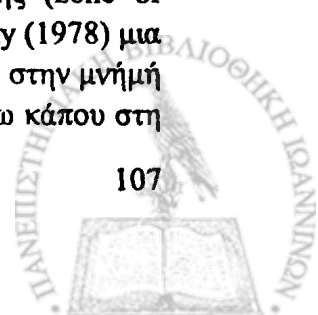
Εξίσου σημαντική στήριξη προσφέρει και η ψυχοκοινωνιολογία, που μελετά τη δυναμική της μαθητικής ομάδας και τον τρόπο που οι σχέσεις αλληλεπίδρασης μπορούν να αποτελέσουν πλαίσιο και κινητήρια δύναμη γνωστικής και κοινωνικής ανάπτυξης (Μπακφτζής, 1996).

Ένας επιπλέον παράγοντας που εμπλέκεται στην ομαδοσυνεργατική διδασκαλία είναι η προαγωγή του μαθητικού λόγου. Παρόλο που στο σχολικό περιβάλλον η σημασία της γλωσσικής ανάπτυξης των μαθητών κατέχει κύρια θέση, στην πράξη το σχολείο προσφέρει λίγες ευκαιρίες καλλιέργειας της λεκτικής επικοινωνίας (Rudin, 1985, σ. 88, Τανός, 1987). Τούτο οφείλεται στο ότι ο λόγος του εκπαιδευτικού καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της λεκτικής επικοινωνίας στην τάξη και επίσης στο γεγονός ότι μέρος των εκπαιδευτικών εξακολουθεί να θεωρεί τον προφορικό λόγο υποδεέστερο του γραπτού. Άλλωστε οι εξετάσεις που παίζουν καθοριστικό ρόλο σε κάθε εκπαιδευτικό σύστημα είναι γραπτές.

Στη συνεργατική μάθηση ο λόγος του εκπαιδευτικού υποβαθμίζεται και αναβαθμίζεται ποιοτικά και ποσοτικά ο λόγος του μαθητή. Στο δικό μας ερευνητικό σχεδιασμό, κατά τη διδακτική παρέμβαση Α, πήραν μέρος, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, το 1/3 περίπου των φοιτητών του συνολικού δείγματος (N=151), χωρισμένοι σε επτά ομάδες. Οι φοιτητές αυτοί συμμετείχαν στη συζήτηση-διαπραγμάτευση των θεμάτων καθώς και στη συναρμολόγηση και επίδειξη των πειραμάτων. Ενώ, κατά τη διδακτική παρέμβαση Β, πήρε μέρος το 74,2 % του συνολικού δείγματος, χωρισμένο σε τρεις κύριες ομάδες- όσες και οι διδακτικές μέθοδοι που εφαρμόσαμε, και η κάθε κύρια ομάδα χωρίστηκε σε έξι επιμέρους ομάδες, όσα και τα θέματα-προβλήματα που διαπραγματευτήκαμε. Το υπόλοιπο 25,8 % σχημάτισε την «ομάδα ελέγχου». Η ομάδα αυτή πήρε μέρος μόνο στη διδακτική παρέμβαση Α και στην εξέταση. Με την παραπάνω διαχείριση του δείγματος εξασφαλίσαμε την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενεργό συμμετοχή των φοιτητών.

Η παραπάνω διδακτική διαδικασία που ακολουθήθηκε στοχεύει στο να μετατρέψει το μαθητικό λόγο από αποκριτικό και κατευθυνόμενο από το δάσκαλο σε λόγο ελεύθερης διερεύνησης, με στοιχεία περιγραφής, ανάλυσης, συσχέτισης δεδομένων, διατύπωσης υποθέσεων και συμπερασμάτων.

Το θεωρητικό πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης θεωρεί ότι η γνώση είναι κοινωνικά δομημένη και η έννοια της ζώνης της επικείμενης ανάπτυξης (zone of proximal development) κατέχει κεντρική θέση. Κατά την άποψη του Vygotsky (1978) μια δεδομένη χρονική στιγμή, ο καθένας έχει μια ορισμένη γνώση αποθηκευμένη στην μνήμη του σχετικά με ένα ιδιαίτερο γνωστικό αντικείμενο. Για παράδειγμα, εγώ έχω κάπου στη



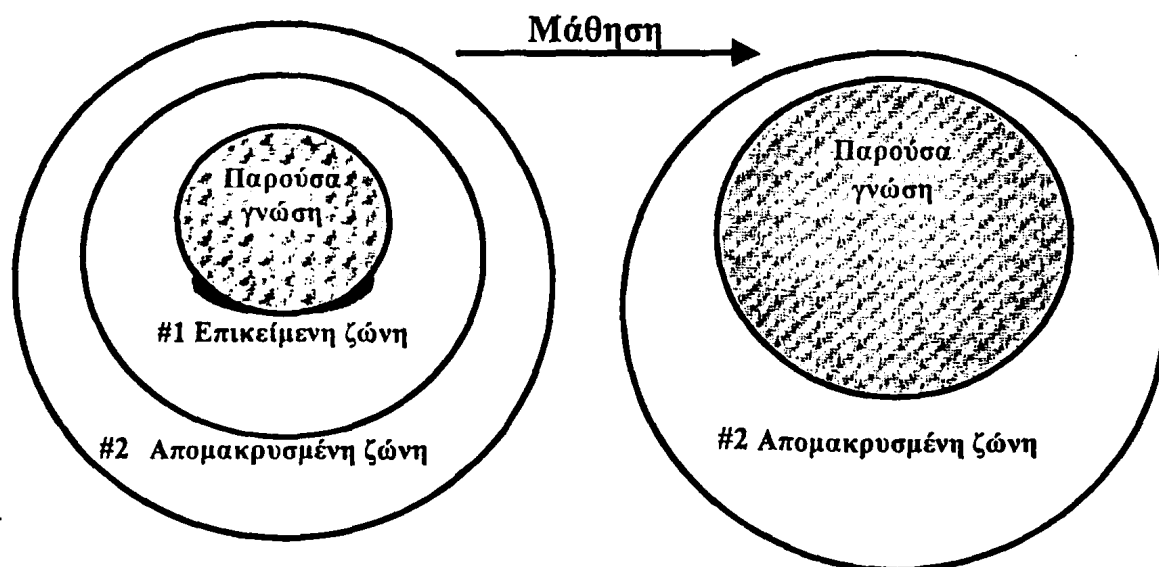
μνήμη μου ένα πληροφοριακό υλικό που περιέχει τι γνωρίζω σχετικά με το μεταλλικό δεσμό. Αυτή είναι η παρούσα μου γνώση (present knowledge) πάνω σ' αυτό το θέμα. Εφ' όσον δεν τα γνωρίζω όλα σχετικά με το μεταλλικό δεσμό, υπάρχουν επιπλέον ιδέες / γεγονότα / έννοιες που μπορώ να μάθω και να προσθέσω στην τράπεζα μνήμης μου. Παρόλο που έχω συσσωρεύσει ένα γνωστικό υλικό, μπορώ ακόμη αρκετά να μάθω. Υπάρχει ένα υποσύνολο που θα ήταν ευκολότερο να μάθω στη συνέχεια και άλλα που θα ήταν προτιμότερο να τα αφήσω για αργότερα. Το υποσύνολο της σχετικής γνώσης που θα ήταν πιο προσιτό για μάθηση περιέχεται στην επικείμενη ζώνη. Τα άλλα υποσύνολα θα ήταν καλύτερο να τα αφήσω για αργότερα. Περιέχονται στην απομακρυσμένη για εμένα ζώνη (distal zone).

Καθώς η διαδικασία μάθησης προχωρά, ένα μέρος της επικείμενης ζώνης ενσωματώνεται στην υπάρχουσα γνώση και κατά συνέπεια, ένα πολύ μικρότερο μέρος της επικείμενης γνώσης απομένει. Στο σχήμα 4.1 η περιοχή #1 της επικείμενης γνώσης έχει ενσωματωθεί στην υπάρχουσα γνώση, όταν η μάθηση έλαβε χώρα. Έτσι μετά από τη διαδικασία αυτή η υπάρχουσα γνώση αυξήθηκε αλλά υπάρχει πάντοτε μια επικείμενη ζώνη παρούσα για μετέπειτα μάθηση. Επίσης, υπάρχει πάντοτε μια απομακρυσμένη ζώνη παρούσα που αντιπροσωπεύει το μέρος του γνωστικού αντικειμένου που πρέπει να μαθευτεί αργότερα. Αν κάποιος γνώριζε ο,τιδήποτε σχετικά με ένα θέμα, δεν θα υπήρχαν γι' αυτόν ζώνες επικείμενης και απομακρυσμένης μάθησης (κάτι που ποτέ δεν συμβαίνει). Το παραπάνω σχήμα επίσης δείχνει ότι η νέα γνώση, το υλικό που πρόσφατα έμαθε κάποιος από την επικείμενη ζώνη, είναι πάντοτε σε συγγένεια με την υπάρχουσα γνώση. Αυτό οδηγεί στην αρχή – όσο περισσότερα γνωρίζεις, είναι ευκολότερο να μάθεις ακόμη περισσότερα (στο σχήμα όσο μεγαλύτερος είναι ο σκιασμένος κύκλος τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη περιοχή που βρίσκεται σε επαφή με τη γνώση που μπορεί να ενσωματώσει). Αυτά τα τελευταία σχόλια αναφέρονται σε ουσιαστική μάθηση και όχι σε αποστήθιση.

Το κύριο μήνυμα από τις παραπάνω έννοιες είναι ότι μια δεδομένη στιγμή για οποιοδήποτε μαθητή (μικρής ή μεγάλης ηλικίας) υπάρχει κάποιο μέρος γνώσης που θα ήταν το πιο κατάλληλο για να μάθει. Ένας καλός δάσκαλος θα πρέπει να είναι ικανός να προσδιορίσει αν οι μαθητές του είναι προετοιμασμένοι για μια ενότητα που πρόκειται να διδάξει. Βέβαια πρέπει να σημειώσουμε ότι αν ένας σπουδαστής έχει διατρέξει μια σειρά μαθημάτων, που ίσως είναι και προαπαιτούμενη, αυτό δεν σημαίνει πάντοτε ότι ο σπουδαστής είναι προετοιμασμένος για να προχωρήσει στην επόμενη σειρά. Κάθε σπουδαστής που διέτρεξε μια σειρά μαθημάτων δε σημαίνει ότι αυτός την έμαθε, ακόμη και αν σε κάποια εξέταση πήρε προαγώγιο βαθμό. Τα κενά στη γνώση που συσσωρεύονται από την παρακολούθηση σειράς μαθημάτων είναι αυτά που εμποδίζουν την παραπέρα μάθηση, επειδή αυτά περιορίζουν την υπάρχουσα γνωστική δομή. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι στη διδακτική πρακτική δεν πρέπει να προχωρούμε σε μια επόμενη σειρά μαθημάτων αν δεν έχουμε βεβαιωθεί ότι οι μαθητές έχουν μάθει σε ικανοποιητικό βαθμό την προαπαιτούμενη σειρά. Αν προχωρήσουμε, οι μαθητές θα μάθουν λιγότερα από την επόμενη ή τις επόμενες σειρές μαθημάτων.



Μακροπρόθεσμα μια τέτοια διαδικασία θα είναι σαν να κτίζουμε ένα οικοδόμημα με ασθενή θεμελίωση και αργά ή γρήγορα θα οδηγηθούμε σε αδιέξοδο.



Σχήμα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας μάθησης στο πλαίσιο του μοντέλου της συνεργατικής μάθησης.

Διδασκαλίες που περιορίζονται στην απλή παράθεση πληροφοριών έχουν μικρό βαθμό συμμετοχής των μαθητών. Τέτοιου είδους διδασκαλίες κουράζουν με τη μονοτονία και τη διάρκεια του μονόλογου, που στις περισσότερες περιπτώσεις ξεπερνά τα όρια αντοχής της μαθητικής προσοχής. Αντίθετα, οι διδασκαλίες που έχουν σύντομες εισηγήσεις και προβλέπουν για τους μαθητές μαθησιακές δραστηριότητες, που έχουν το στοιχείο του προβληματισμού και της δημιουργικότητας, απευθύνονται όχι μόνο στη μνήμη των μαθητών, αλλά και στις ανώτερες πνευματικές τους λειτουργίες.

Παρ' όλες όμως τις επισημάνσεις, τόσο σε σχολικά εκπαιδευτικά συστήματα του εξωτερικού (Goodlad, 1984) όσο και στο ελληνικό (Ματσαγούρας, 1985) κυριαρχούν δραστηριότητες αναπαραγωγής της γνώσης, όπως η απομνημόνευση ορισμών και τύπων, η εξάσκηση στην λύση ασκήσεων παρόμοιων με αυτές που τίθενται στις εξετάσεις, η εκτέλεση οδηγιών, η συλλογή πληροφοριών κ.ά. Η παραπάνω διαπίστωση εξηγείται από το γεγονός ότι οι διδασκαλίες πληροφόρησης σε συνδυασμό με τις εργασίες απομνημόνευσης και εξάσκησης είναι ευκολότερες στην υλοποίησή τους από τις διδασκαλίες προβληματισμού και διερεύνησης και για τους μαθητές και για τους δασκάλους. Οι μεν μαθητές τις διεκπεραιώνουν με τη διάθεση χαμηλού επιπέδου νοητικών ικανοτήτων, οι δε δάσκαλοι τις υλοποιούν εύκολα μέσα στο πλαίσιο της δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας, που είναι σχετικά εύκολη στην οργάνωση και στη διεξαγωγή της.

Αντίθετα, οι διδασκαλίες διερεύνησης περιλαμβάνουν ποικιλία δραστηριοτήτων, πηγών, μεθόδων επικοινωνίας κ.τ.λ., που καθιστούν την οργάνωση και τη διεξαγωγή δύσκολη και συνεπάγονται μαθητικές εργασίες, οι οποίες απαιτούν ανώτερες νοητικές, κοινωνικές και μεθοδολογικές ικανότητες. Αν δε στα παραπάνω προσθέσουμε και τα προβλήματα υποδομής και χρόνου, τα οποία θέτουν οι διερευνητικές διδασκαλίες, έχουμε μια καθαρή εικόνα των λόγων που τις καθιστούν δυσκολόχρηστες και σπάνιες.

Παρά τις δυσκολίες τους, οι διδασκαλίες προβληματισμού και διερεύνησης κινητοποιούν το μαθητικό ενδιαφέρον και κατ' επέκταση και τη μαθητική συμμετοχή, με όλες τις θετικές επιπτώσεις που επιφέρει η τελευταία στη μάθηση και στη στάση των μαθητών απέναντι στις φυσικές επιστήμες. Τέτοιες διδασκαλίες προσπαθούν να γεφυρώσουν τα «χάσματα», που δημιουργούνται μεταξύ νοητικών δομών και της εμπειρίας των μαθητών, και επίσης έχουν την τάση να εφαρμόζουν νέες έννοιες και καινούργιες δεξιότητες σε διαφορετικές καταστάσεις.

Η θεωρία της συνεργατικής μάθησης του Vygotsky (1978) και η κεντρική σ' αυτή έννοια της ζώνης επικείμενης ανάπτυξης (zone of proximal development, ZPD), ελήφθησαν υπόψη στη διδακτική στρατηγική που εφαρμόσαμε στην παρούσα εργασία. Η ζώνη της επικείμενης ανάπτυξης αντιπροσωπεύει την απόσταση ανάμεσα στο υπάρχον επίπεδο ανάπτυξης ενός μαθητή, όπως αυτό προσδιορίζεται όταν μόνος του λύνει ένα πρόβλημα και στο επίπεδο της εν δυνάμει ανάπτυξης, όπως αυτό προσδιορίζεται μέσα από τη λύση του ίδιου προβλήματος, κάτω από την καθοδήγηση ενός ειδικού ή στο πλαίσιο της συνεργασίας του με ομάδα περισσότερο ικανών συνομηλίκων.

Η θεωρία του Vygotsky της ZPD επιτρέπει ένα σχήμα αλληλεπίδρασης δασκάλου – μαθητή προσανατολισμένο σε ένα σχεδιασμό μάθησης που λαμβάνει υπόψη του όχι μόνο τις ικανότητες που ήδη κατέχονται, αλλά και εκείνες που μπορούν να αποκτηθούν με τη βοήθεια των συνομηλίκων και του δασκάλου.

Ο Wells (1996) αναφέρει ότι η ZPD δεν πρέπει να θεωρείται ως ένα ατομικό χαρακτηριστικό αλλά ως κάτι που δομείται με την αλληλεπίδραση ανάμεσα στους συμμετέχοντες που βρίσκονται σε ενεργό αλληλεπίδραση σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Αν και ο Wertsch (1991) ισχυρίζεται ότι ο Vygotsky εστίασε την εξήγησή του γύρω από ενδο-ψυχολογικές διαδικασίες σε σχέση με την αλληλεπίδραση της διμελούς ομάδας, ενήλικας-παιδί, αυτό θα μπορούσε να επεκτείνεται σε κοινωνικές καταστάσεις με περισσότερους συμμετέχοντες και η ZPD θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αλληλεπίδραση ανάμεσα στο δάσκαλο και σε μια ομάδα μαθητών.

Η έννοια της ZPD στη συγκεκριμένη περίπτωση έρευνας χρησιμοποιείται σε σχέση με τις ομάδες των μαθητών, οι οποίες μέσα από τη συνεργασία των μελών κάθε ομάδας και τη βοήθεια του ερευνητή-δασκάλου αποκτούν την ικανότητα να λύσουν προβλήματα στο εργαστήριο, σε ένα πλαίσιο που όλοι οι συμμετέχοντες να οικειοποιούνται τις νέες ικανότητες.

Η δική μας υπόθεση, για τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, διερευνά κατά πόσο μια αλλαγή στην εργαστηριακή πρακτική, με το να σχεδιάζεται η εργαστηριακή εργασία από μια ομάδα μαθητών με τη βοήθεια του δασκάλου, για τη λύση ενός προβλήματος βελτιώνει την επίδοση των μαθητών, σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο



μάθησης λύσης προβλημάτων, όπου ο δάσκαλος λύνει προβλήματα σε συνεργασία με τους μαθητές στον πίνακα στην αίθουσα διδασκαλίας. Και επιπλέον η επιβεβαίωση της πεποίθησης μας ότι η ομαδοκεντρική διδασκαλία είναι πιο πρόσφορη, έναντι της παραδοσιακής για την αλληλεπίδραση των μαθητών με χημικά και φυσικά φαινόμενα προκειμένου να εδραιώσουν μια πιο στέρεη μάθηση σ' αυτά.

Πρόθεσή μας είναι να εισάγουμε τους μαθητές σε ένα κλίμα επιστημονικής κουλτούρας και να μετασχηματιστεί το εργαστήριο σε ένα χώρο όπου η γνώση μπορεί να δομηθεί και όχι απλώς να καταναλώνεται. Αυτό είναι συμβατό και με τη φύση της επιστημονικής έρευνας, καθώς αυτή είναι μη τυποποιημένα δομημένη, και οι ανοιχτές εργασίες φαίνονται πιο κατάλληλες γι' αυτή τη μύηση με μαθητές που βρίσκονται στη λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης καθώς και με πρωτοετείς φοιτητές.

Με τον όρο ανοιχτές εργασίες δεν εννοούμε πάντοτε την ποικιλία των λύσεων, άλλωστε τα περισσότερα προβλήματα που τέθηκαν στους φοιτητές στην παρούσα έρευνα είχαν μόνο μια συγκεκριμένη απάντηση, π.χ. η εύρεση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, αλλά αυτοί έπρεπε να αποφασίσουν και να δικαιολογήσουν ποια βήματα θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους για να λύσουν το τιθέμενο πρόβλημα (Reigosa & Jimenez, 2001). Η διαδικασία αυτή βρίσκεται σε αντίθεση με την τυπική εργαστηριακή εργασία, όπου η εργασία που ανατίθεται είναι δομημένη, παρέχονται οδηγίες που έχουν την μορφή «συνταγών» με δεδομένα βήματα.

Ο διάλογος μεταξύ των μαθητών κάθε ομάδας καθώς και ο διάλογος κάθε ομάδας με το δάσκαλο (Cazden, 1988), το επικοινωνιακό σύστημα γενικά, και οι δραστηριότητες των ομάδων εστιάζονται στο πλαίσιο των συγκεκριμένων αναγκών των μαθητών. Στην κάθε ομάδα αφήνεται η πρωτοβουλία για σύσκεψη και δράση πάνω στην λύση του συγκεκριμένου προβλήματος που αντιμετωπίζει και ο δάσκαλος παρεμβαίνει, όταν το ζητούν οι μαθητές, για να απαντήσει σε ερωτήματα που του θέτει η ομάδα.

Βασική αρχή είναι τι οι ομάδες είναι ικανές να κάνουν χωρίς βοήθεια, ποια βήματα είναι ικανές να κάνουν, ποιες πηγές μπορούν να χρησιμοποιούν μόνες τους και ποιες με βοήθεια, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν τις γνώσεις και τις δεξιότητές τους στη λύση ενός προβλήματος.

Κατά τη συνεργατική πρακτική η ομαδοποίηση των μαθητών δεν εξασφαλίζει αυτόματα την ικανότητα της ομάδας να προσεγγίζει συνεργατικά το διδακτικό αντικείμενο, είναι αναγκαίο οι μαθητές να εξασκούνται στις απαιτούμενες δεξιότητες της ενδοομαδικής συνεργασίας. Προϋποθέσεις που θεωρούνται απαραίτητες για την ανάπτυξη της συνεργατικότητας περιγράφονται παρακάτω.

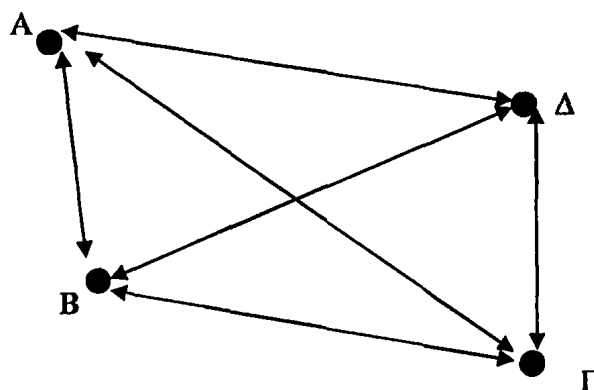
#### 4.7 Η αλληλεπικοινωνία των μελών της ομάδας

Ο βαθμός πολυπλοκότητας του συστήματος ενδοομαδικής επικοινωνίας εξαρτάται από τον αριθμό των μαθητών που αποτελούν την ομάδα. Σε μια ομάδα με  $n$  μαθητές μπορούν να αναπτυχθούν  $n \cdot (n-1)$  κανάλια επικοινωνίας (σχήμα 4.2). Έτσι οι μαθητές που έχουν εξασκηθεί στο πλαίσιο της δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας με ένα απλό δυαδικό σύστημα επικοινωνίας (δάσκαλος – μαθητής), καλούνται να επικοινωνήσουν μέσα σε ένα πολύπλοκο σύστημα, που διαθέτει ένα πολύ μεγαλύτερο





αριθμό καναλιών επικοινωνίας. Οι πολυμελείς ομάδες απλοποιούν μεν τα οργανωτικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο δάσκαλος, αλλά καθιστούν πολύπλοκο το σύστημα ενδοομαδικής επικοινωνίας. Ο αριθμός των ατόμων ανά ομάδα εξαρτάται από την ηλικία των μαθητών, την εμπειρία τους και το διαθέσιμο χρόνο.



Σχήμα 4. 2 Σε ομάδα τεσσάρων μαθητών αναπτύσσονται 12 κανάλια επικοινωνίας.

Σημαντικό ρόλο στην επιτυχή πραγματοποίηση εργαστηριακών ασκήσεων και εν γένει ομαδικών δραστηριοτήτων παίζει ο τρόπος συγκρότησης της κάθε ομάδας, που μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (Meyer, 1987, Βολιώτης, 1980 και 1989, Ματσαγγούρας, 1987, Μπέλλας, 1985). Τέτοιοι τρόποι είναι:

α) Διαμόρφωση ελεύθερων ομάδων χωρίς παρέμβαση του διδάσκοντα.

Συνήθως η αυτοεπιλογή των συμμαθητών στην ομάδα γίνεται ανάλογα με τη φιλία, τις συμπάθειες, τα κοινά ενδιαφέροντα ή ανάλογα με τη μορφή συνεργασίας που επιβάλλει μια συγκεκριμένη κατάσταση, όπως η βαθμολογία που αποδίδεται σε μια εργασία. Ο τρόπος αυτός θεωρείται κατάλληλος για μαθητές 15-16 ετών, αλλά δεν φέρνει πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

β) Διαμόρφωση ομάδων, που τη σύνθεσή τους διαμορφώνει ο διδάσκων, βάσει δικών του, κατά περίπτωση κριτηρίων. Ο τρόπος αυτός θεωρείται ικανοποιητικός για μαθητές μικρών ηλικιών.

γ) Ομάδες, βάσει κοινωνιογράμματος (sociogramme), δίνει τη δυνατότητα στο μαθητή να προτείνει ο ίδιος την ομάδα που θα ήθελε να ανήκει, αλλά και στο διδάσκοντα να κάνει αναγκαίες διορθωτικές παρεμβάσεις, λαμβάνοντας υπόψη του τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας και κοινωνικά χαρακτηριστικά των μαθητών σε κάθε ομάδα.

Η μέθοδος του κοινωνιογράμματος στηρίζεται στη συμπλήρωση από κάθε μαθητή ενός τμήματος ερωτηματολογίου, όπου του ζητείται να γράψει τρεις συμμαθητές /τριες κατά σειρά προτίμησης που θα ήθελε να είναι στην ίδια ομάδα. Η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου γίνεται χωρίς προειδοποίηση των μαθητών, ώστε να μη υπάρχει προσυνεννόηση μεταξύ τους. Ο διδάσκων διαβεβαιώνει τους μαθητές του ότι θα τηρηθεί



η ανωνυμία των απαντήσεών τους και ότι οι προτιμήσεις τους θα ληφθούν υπόψη (Βολιώτης, 1989).

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου καταχωρούνται σε τετραγωνικό πίνακα διπλής εισόδου, με αριθμό στηλών και γραμμών ίσο με τον αριθμό των μαθητών του τμήματος. Ο κάθε μαθητής συμβολίζεται με τα αρχικά γράμματα του ονόματός του και κάθε του προτίμηση σημειώνεται με τον αριθμό 1, 2, 3, στα αντίστοιχα τετραγωνίδια του πίνακα (κοινωνιομήτρα), που αντιστοιχούν στους συμμαθητές που κατά σειρά προτιμά. Στη βάση του πίνακα γίνεται συγκέντρωση των προτιμήσεων, όπου φαίνεται το σύνολο των πρώτων, δεύτερων και τρίτων προτιμήσεων κάθε μαθητή καθώς και ο συνολικός αριθμός προτιμήσεων.

Τα δεδομένα του πίνακα μπορούν να παρασταθούν με τη μορφή κοινωνιογράμματος, που δίνει μια γραφική αναπαράσταση του συνόλου των σχέσεων μιας τάξης ή τμήματος μαθητών. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από τον πίνακα υποδεικνύουν στο διδάσκοντα μεταξύ άλλων, ποιος μαθητής γίνεται δεκτός από τους άλλους (sociometric status) και σε πιο βαθμό, ποιος δέχεται τις περισσότερες προτιμήσεις (δημοφιλής) και ποιος τις λιγότερες ή είναι απομονωμένος, ποιες επιλογές έχουν αμοιβαιότητα στις προτιμήσεις μεταξύ ατόμων του ίδιου ή διαφορετικού φύλου, το σχηματισμό δυαδικών ή τριαδικών ομάδων κ.ά.

Για τη βέλτιστη συγκρότηση των ομάδων ο διδάσκων πρέπει να λάβει υπόψη του:

1) Μαθητές που δείχνουν αμοιβαία προτίμηση, αν είναι δυνατόν να μπαίνουν στην ίδια ομάδα.

2) Για κάθε μαθητή να ικανοποιείται τουλάχιστον μια του προτίμηση.

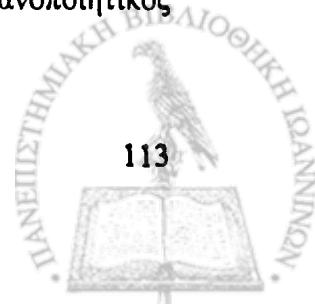
3) Μαθητής που δεν είναι επιθυμητός από κάποιους, να μη μπαίνει σε ομάδα που δεν τον αποδέχονται.

4) Οι απομονωμένοι μαθητές να τοποθετούνται σε ομάδες που αφ' ενός οι ίδιοι προτιμούν και αφ' ετέρου σε ομάδες που παρουσιάζουν τη μικρότερη αντίσταση προς αυτούς και όχι περισσότεροι από ένας σε κάθε ομάδα.

Γενικά η σύνθεση της ομάδας δεν πρέπει να είναι άκαμπτη και αμετάβλητη, χωρίς αυτό να σημαίνει συνεχή μετακίνηση από τη μια ομάδα στην άλλη. Σε κάθε ομάδα είναι αναγκαίο οι «δυνατοί» μαθητές να στηρίζουν τους «αδύνατους» (Northway & Weld, 1974).

Το μέγεθος της ομάδας είναι σημαντικός παράγοντας για αποδοτική εργασία. Έχει διαπιστωθεί ερευνητικά ότι ομάδες με 3 έως 4 μέλη δουλεύουν καλύτερα. Βέβαια στην περίπτωση εργαστηριακών ασκήσεων, στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, ο αριθμός των μελών της ομάδας καθορίζεται κατ' ανάγκη από το χώρο του εργαστηρίου, τον αριθμό των οργάνων και των συσκευών και από το διαθέσιμο χρόνο.

Στην παρούσα έρευνα, λαμβανομένων υπόψη των περιορισμών, σε κάθε ομάδα να συμπεριλαμβάνονται φοιτητές, απόφοιτοι και των τριών κατευθύνσεων και τουλάχιστον ένα αγόρι καθώς και τη μέση ηλικία των φοιτητών του δείγματος μας (19,3 ετών) συγκροτήσαμε ομάδες των 5-8 ατόμων, αριθμός που μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικός για τις ανάγκες της δικής μας έρευνας.



#### 4.8 Αλληλεξάρτηση των μελών της ομάδας

Η αλληλεπικοινωνία των ατόμων σε μια ομάδα δεν οδηγεί υποχρεωτικά στη συνεργασία, μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει και στον ανταγωνισμό. Είναι ανάγκη να υπάρχει μεταξύ των μελών της ομάδας αλληλεξάρτηση στους ατομικούς τους στόχους, στη διαδικασία σχεδιασμού του πειράματος και στα προτεινόμενα όργανα και ουσίες, στο χειρισμό τους, στην καταγραφή και στην επεξεργασία των μετρήσεων και στην κοινή συνεισφορά πληροφοριών και γνώσεων για παρουσίαση των συμπερασμάτων και την αυτοαξιολόγηση της εργασίας τους.

Στην παραδοσιακή τάξη υπάρχει ένα κλίμα ανταγωνιστικών σχέσεων μεταξύ των μαθητών. Στη συνεργατική μάθηση η ενδοομαδική συνεργατικότητα δημιουργεί βελτίωση των διατομικών σχέσεων που συμβάλλει στη δημιουργία ενός κλίματος θετικών μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Ο Vygotsky αναγνωρίζει ότι οι ομάδες που συνίστανται από μέλη (συμμαθητές) διαφορετικών ικανοτήτων (ανομοιογενή σχήματα) λειτουργούν αναπτυξιακά μέσα στη «ζώνη της επικείμενης ανάπτυξης». Τα μέλη που είναι ικανότερα αναγκάζονται να παρουσιάσουν λογικά οργανωμένα το διδακτικό αντικείμενο, να το εκφράσουν με κάποια πληρότητα και ακρίβεια, και να πείσουν για εξηγήσεις φαινομένων. Ενώ τα μέλη που είναι λιγότερο ικανά μέσα από την αλληλεπικοινωνία, επειδή η διαφορά γνώσεών τους σε σχέση με τους ικανότερους δεν είναι μεγάλη, μπορούν να εκφράσουν με άνεση ερωτήσεις, απόψεις και προτάσεις, χωρίς να έχουν το φόβο της απόρριψης ή της έμμεσης αξιολόγησης, που υπάρχει στη δασκαλο-μαθητική σχέση. Όλες αυτές οι διαδικασίες κινούνται προς την κατεύθυνση αναδιοργάνωσης της υπάρχουσας γνώσης και στην ενσωμάτωση τμημάτων της επικείμενης γνώσης, γεγονός που συνιστά μαθησιακή εξέλιξη προς ανώτερα επίπεδα (Brandt, 1994, σ. 26, Renkl, 1995, σ. 21). Ιδιαίτερα δε κερδισμένοι φαίνονται να βγαίνουν οι αδύνατοι μαθητές.

Η περίπτωση ομοιογενών συνεργαζόμενων ομάδων, που χρησιμοποιήθηκε από πιαζετιανούς παιδαγωγούς, στηρίζεται στην άποψη ότι οι συνεργαζόμενοι ξεπερνούν το ατομικό τους μέτρο, μέσω της κοινωνικογνωστικής σύγκρουσης. Πρόκειται για τη βασική ιδέα του Piaget ότι η συνεργασία οδηγεί σε συγκρούσεις που συνεπάγονται την αναθεώρηση των αρχικών απλών σχημάτων και το σχηματισμό ανώτερων (Damon, 1995). Η περίπτωση των ομοιογενών ομάδων με την ομότιμη συνεργασία των μελών ενδείκνυται ιδιαίτερα για την εκμάθηση πληροφοριών, την εξάσκηση σε διδαχθείσες δεξιότητες και για τη διερεύνηση και την επίλυση προβληματικών καταστάσεων.

#### 4.9 Αποκέντρωση εξουσίας και ανομοιογένεια της ομάδας

Το ομαδοσυνεργατικό μοντέλο διδασκαλίας καταργεί το ιεραρχικό σχήμα οργάνωσης της τάξης, που τοποθετεί στην κορυφή το δάσκαλο και στη συνέχεια διαβαθμίζει τους μαθητές της τάξης. Ιεραρχικά συστήματα που δημιουργούν αποστάσεις μεταξύ των μελών τους δεν εξασφαλίζουν την εθελοντική συμμετοχή στο κοινό έργο και λειτουργούν με βάση τη σχέση εξαναγκασμού του κατώτερου από τον ανώτερο.



Στο ομαδοσυνεργατικό σύστημα προβλέπεται μια διπλή μορφή αποκέντρωσης της εξουσίας από το δάσκαλο στην ομάδα και από την ομάδα στα μέλη της. Η ανάδειξη «αρχηγού» στην ομάδα ακυρώνει την ισοτιμία ανάμεσα στα μέλη της, που μοιράζονται τις αποκεντρωμένες αρμοδιότητες και με τον τρόπο αυτό είναι συνυπεύθυνοι για το έργο τους.

Κατά το Marzano (1992b, p. 12) η αποκέντρωση της εξουσίας πρέπει να γίνεται σταδιακά, παράλληλα με την εξάσκηση των μαθητών σε διαδικασίες συλλογικής αυτορρύθμισης. Στην αρχή μπορεί να μη υπάρξει η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα, αλλά το τελικό αποτέλεσμα είναι θετικό, διότι βελτιώνει την αίσθηση της «προσωπικής αυτοεκτίμησης» (self efficacy), η οποία αποτελεί προϋπόθεση μάθησης και ανάπτυξης.

Η δημιουργία ομοιογενών ομάδων δεν βοηθά τους καλούς μαθητές, και επιπλέον δημιουργεί ψυχολογικά, κοινωνικά και μαθησιακά προβλήματα στους αδύνατους, διότι τους περιθωριοποιεί και τους στιγματίζει και επιπλέον τους στερεί τη δυνατότητα επαφής με ανώτερου επιπέδου ερεθίσματα. Αντίθετα, οι ανομοιογενείς ομάδες προσφέρουν στους αδύνατους μαθητές ψυχολογική ασφάλεια, τους απαλλάσσουν από το άγχος της αποτυχίας και τους εξασφαλίζουν βοήθεια και υποστήριξη στην προσπάθειά τους να προσπελάσουν το μαθησιακό αντικείμενο (Johnson & Ahlgren, 1976).

Γενικά, στην ομαδοκεντρική διδασκαλία ο δάσκαλος δεν χειραγωγεί βήμα προς βήμα τους μαθητές στη μάθηση, αλλά απλώς διευκολύνει τις μαθησιακές δραστηριότητες που αναπτύσσουν οι μαθητές. Οι τελευταίοι μετατρέπονται σε ερευνητές, που συλλέγουν και κατατάσσουν το αναγκαίο υλικό, διατυπώνουν υποθέσεις, προβαίνουν σε επαληθεύσεις και αξιολογούν τα συμπεράσματά τους.

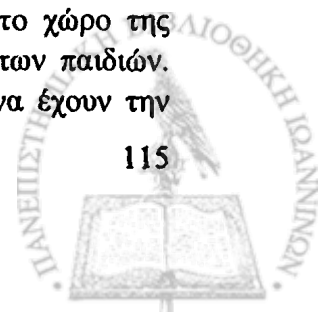
Το έργο του δασκάλου και των μαθητών είναι πολύ δυσκολότερο στην ομαδοσυνεργατική διδασκαλία απ' ό,τι είναι στην κατευθυνόμενη, διότι ο δάσκαλος καλείται να δημιουργήσει τον προβληματισμό, που θα κινητοποιήσει τη διερευνητική διαδικασία των μαθητών, να βοηθήσει την ομάδα στην οργάνωση των νοητικών τακτικών που θα ακολουθήσουν και των διαδικασιών που θα εφαρμόσουν. Οι μαθητές από την άλλη πλευρά καλούνται να αναπτύξουν δραστηριότητες που προϋποθέτουν ανώτερες νοητικές λειτουργίες, αναπτυγμένες μεθοδολογικές στρατηγικές και απαιτητικές κοινωνικές δεξιότητες.

Οι δυσκολίες αυτές, μαζί με την έλλειψη υλικοτεχνικής υποδομής, και οι αργοί ρυθμοί διεξαγωγής, είναι βασικές αιτίες που αποθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς να εφαρμόσουν τέτοιες ομαδοκεντρικές διδακτικές στρατηγικές.

#### 4.10 Επιπτώσεις της συνεργατικής μάθησης στη κοινωνική συμπεριφορά του ατόμου

Η κοινωνικοποίηση του αναπτυσσόμενου ατόμου αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη σημερινή εποχή και είναι ένας από τους βασικούς σκοπούς της σχολικής αγωγής.

Η συρρίκνωση των μελών της σύγχρονης οικογένειας, τα ωράρια εργασίας των γονέων και η εξαφάνιση των παιδικών και εφηβικών συναναστροφών στο χώρο της γειτονιάς, περιόρισαν τις εκτός σχολείου δυνατότητες κοινωνικοποίησης των παιδιών. Από την άλλη πλευρά η σύγχρονη αγορά εργασίας αναζητά άτομα που να έχουν την



ικανότητα να συνεργάζονται ομαλά μέσα από πολύπλοκα δίκτυα επικοινωνίας. Τα παραπάνω στοιχεία ενισχύουν το ομαδοσυνεργατικό σύστημα και κάνουν επιτακτική την ανάγκη το σχολείο να καλύψει το έλλειμμα κοινωνικοποίησης, που δημιουργεί το νέο ευρύτερο κοινωνικό περιβάλλον. Μερικοί, μάλιστα θεωρούν την τάση για συνεργασία εγγενές στοιχείο της ανθρώπινης φύσης και εξαρτούν την επιβίωση του ανθρώπινου γένους από τις μορφές συνεργασίας που θα επικρατήσουν (Samples, 1992).

Η συνεργατική οργάνωση καθιστά το σχολείο αποτελεσματικότερο διότι: α) Προσφέρει ευκαιρίες για να μάθει το άτομο να επιλύει ομαλά συγκρούσεις απόψεων, στάσεων και προτιμήσεων τις οποίες δεν προσφέρει η ανταγωνιστική σχολική τάξη. Έτσι λειτουργεί στη μείωση της αντικοινωνικής συμπεριφοράς είτε αυτή εκδηλώνεται με παθητικό τρόπο (απομόνωση, δυσκολία επικοινωνίας, τάση για αυτοκαταστροφή κ.ά.), είτε ενεργητικά (βία, παραβατικότητα). β) Προσφέρει δυνατότητες θεώρησης των πραγμάτων από τη σκοπιά των άλλων, που διευκολύνει την επίλυση διαπροσωπικών συγκρούσεων και επηρεάζει τη γνωστική συμπεριφορά του ατόμου και, κυρίως, τον τρόπο κατανόησης και παρουσίασης των πληροφοριών (Ματσαγγούρας, 2000, σ. 519).

#### 4.11 Στοιχεία από το μοντέλο γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών

Για τη βαθμολόγηση, ποιοτικών και ποσοτικών προβλημάτων η απάντηση του κάθε προβλήματος χωρίζεται σε δομικές μονάδες- νοητικά σχήματα, που σχετίζονται με τη γνώση του γνωστικού υπόβαθρου που απαιτούν καθώς και με την οργάνωση των δομικών μονάδων-αριθμός βημάτων. Επιπλέον στις απαντήσεις-λύσεις των ποσοτικών προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες λαμβάνονται υπόψη οι αριθμητικές πράξεις, οι μονάδες και το τελικό αριθμητικό αποτέλεσμα, ως νοητικά βήματα.

Ως σχήμα (schema) στο πλαίσιο του μοντέλου γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών (information processing model), ορίζουμε τα νοητικά οργανωμένα σύνολα με τα οποία η ανθρώπινη νόηση προσπαθεί να κατανοήσει τον κόσμο ή τις σχέσεις της μ' αυτόν. Τα σχήματα χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν τη δράση και να κάνουν κατανοητή τη σχέση ανάμεσα στα γεγονότα. Ένα σχήμα θα μπορούσε να συμπεριλάβει όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται μ' ένα συγκεκριμένο γεγονός ή τύπο γεγονότος που συμπεριλαμβάνει αναπαραστάσεις των προηγούμενων ενεργειών, θεωρητικές και πρακτικές γνώσεις για το γεγονός, ιδέες και γνώμες γι' αυτό κ.λ.π. (Banyard & Hayes, 1994, σ. 17-18 & 38).

Ανάλογα με το περιεχόμενο του σχήματος, αυτό μπορεί να αντιστοιχεί σε αντίληψη, γνώση, συμπεριφορά ή σε διαδικασία. Επίσης ένα σχήμα μπορεί να αντιστοιχεί σε μια αναπαράσταση, εικονικό σχήμα (figurative scheme) ή να αντιστοιχεί σε μετασχηματισμό άλλων σχημάτων, λειτουργικό σχήμα (operative scheme) ή ακόμη να εμπλέκεται σε διαδικασίες δόμησης ή ελέγχου της δομής άλλων σχημάτων, εκτελεστικό σχήμα (executive scheme). Όταν ένα υποκείμενο αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα ενεργοποιεί ένα σύνολο σχημάτων (ρεπερτόριο-repertoire) προκειμένου να το αντιμετωπίσει.

Οι νέο-πιαζέτειες θεωρίες (Pascual-Leone, 1970, Baddeley, 1983) θεωρούν ότι η γνωστική λειτουργία αναλύεται και περιγράφεται με το ρόλο και τη δραστηριότητα των



σχημάτων. Κατά την είσοδο ενός συνόλου πληροφοριών στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας, ο νοητός «χώρος» που ενυπάρχουν μεγάλα οργανωμένα σχήματα (υπέρ-σχήματα) ενεργοποιεί ένα αριθμό σχετικών σχημάτων. Τα σχήματα αυτά είναι αποκτημένα και αποθηκευμένα με τη διαδικασία της αφομοίωσης (assimilation). Στη συνέχεια ένας αριθμός αποδεσμεύεται, ως μη σχετικός με την επεξεργασία των εισερχομένων πληροφοριών και ένας αριθμός σχημάτων προσαρτάται στη δεδομένη κατάσταση.

Από το βαθμό επεξεργασίας, τον οποίο θα υποστούν οι προσλαμβανόμενες πληροφορίες και από το βαθμό συσχέτισής τους με την ήδη υπάρχουσα γνώση, εξαρτάται και ο βαθμός πρόσληψης του σημασιολογικού περιεχομένου τους, δηλαδή η κατανόησή τους (Πόρποδας, 1993, σ. 224-225). Ο βαθμός μάθησης των ομάδων στην παρούσα εργασία, όπως αυτή αναμένεται να εκτιμηθεί από την επίδοσή τους στα θέματα που τέθηκαν προς εξέταση, σχετίζεται με το χρόνο που κάθε άτομο αφιερώνει για τη μάθηση και την απόκτηση της γνώσης καθώς και από την άσκηση που γίνεται κατά την διάρκειά της (Baddeley, 1982, pp. 211-213).

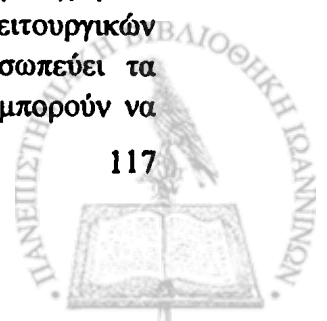
Επιπλέον η κατανόηση και η μνημονική συγκράτηση των σημασιολογικών πληροφοριών συνδέονται στενά. Το βάθος επεξεργασίας των πληροφοριών θεωρείται από τους γνωσιακούς ψυχολόγους ότι βρίσκεται σε αιτιώδη σχέση με τη μνημονική συγκράτηση. Κατά συνέπεια και ο βαθμός κατανόησης των πληροφοριών θα βρίσκεται σε αιτιώδη σχέση με το βαθμό συγκράτησης των πληροφοριών στη μνήμη (Johnston & Jenkins, 1971, Schulman, 1971). «Η ερμηνεία των παραπάνω φαινομένων θα πρέπει να αναζητηθεί στο γεγονός ότι κατά την επεξεργασία των πληροφοριών οι προσλαμβανόμενες πληροφορίες συσχετίζονται και τροποποιούν τα ήδη υπάρχοντα σχετικά γνωστικά σχήματα. Επομένως όσο πιο βαθιά είναι η επεξεργασία και η κατανόηση των προσλαμβανόμενων πληροφοριών τόσο πιο έντονη είναι η συσχέτισή τους με τις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες και, κατά συνέπεια, τόσο πιο ξεκάθαρη είναι η διαμόρφωση των νέων γνωστικών σχημάτων με αποτέλεσμα η συγκράτηση των πληροφοριών αυτών να είναι διαρκέστερη» (Πόρποδας, 1993, σ. 226).

Τέλος η αποτελεσματικότητα της μάθησης και της μνημονικής συγκράτησης διασφαλίζεται, όταν το άτομο που μαθαίνει μπορεί να μεταβιβάσει (transfer) τη γνώση που αποκτά σε άλλες συγγενείς καταστάσεις, όπου αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η ενεργοποίηση εκτελεστικών σχημάτων είναι το πρώτο βήμα της νοητικής διαδικασίας, προκειμένου ένα υποκείμενο να αντιμετωπίσει τη λύση ενός προβλήματος (Case, 1974). Η ενεργοποίηση των σχημάτων αυτών εξαρτάται κυρίως από τους παρακάτω παράγοντες:

- από τη φύση του προβλήματος
- την προηγούμενη εμπειρία του ατόμου
- τις νοητικές ικανότητες του λύτη
- και από τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου στη δεδομένη στιγμή

Τα εκτελεστικά σχήματα καθορίζουν την ενεργοποίηση των εικονικών και λειτουργικών σχημάτων με μια ιεραρχημένη ακολουθία. Η ιεράρχηση αυτή αντιπροσωπεύει τα διακριτά βήματα που οδηγούν στη δημιουργία νέων σχημάτων, τα οποία μπορούν να



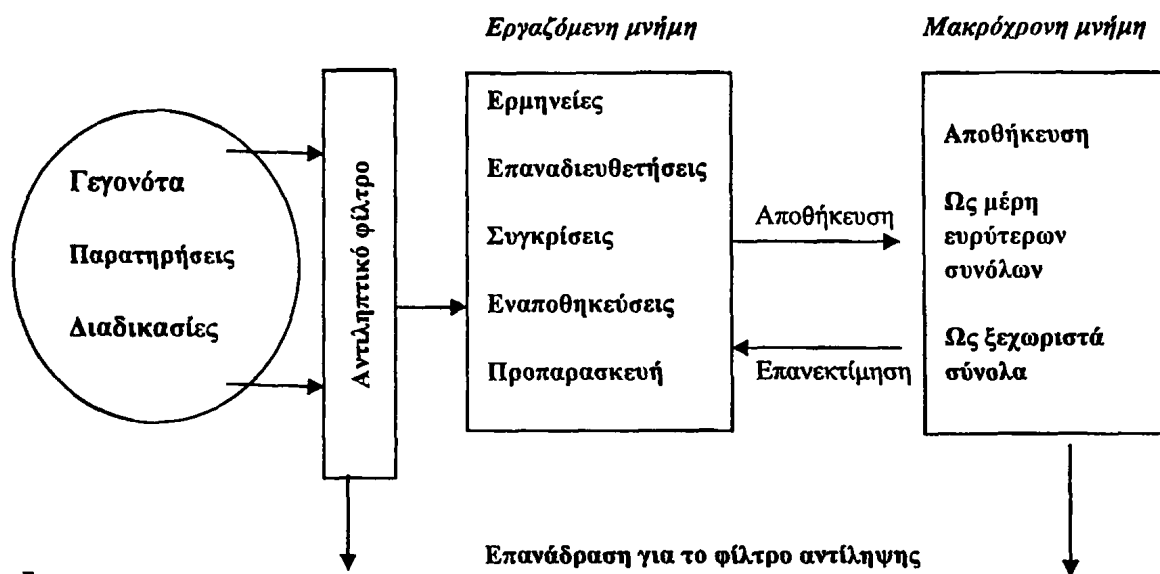
διατηρηθούν ενεργοποιημένα ή να τροποποιηθούν από άλλα λειτουργικά σχήματα. Η συνεχής προσπάθεια τέτοιων νοητικών διαδικασιών για την αντιμετώπιση νοητικών έργων απαιτεί προσπάθεια, η οποία περιορίζεται από τον αριθμό των σχημάτων που μπορεί ένα συγκεκριμένο υποκείμενο να ενεργοποιήσει ταυτόχρονα σε κάθε βήμα. Ο μέγιστος αριθμός των νοητικών βημάτων και πράξεων που πρέπει να ενεργοποιηθούν από το λιγότερο ικανό λύτη, με βάση τα όσα έχει διδαχθεί, αποτελεί τη λεγόμενη απαίτηση-Z του προβλήματος (Johnstone & El-Banna, 1989, Scardamalia, 1977).

Η εύρεση της απαίτησης-Z γίνεται με την επιλογή της διαθέσιμης και επαρκούς στρατηγικής, που μπορούν να ακολουθήσουν τα υποκείμενα, τη βήμα προς βήμα εκτέλεση του έργου, και την άθροιση των επιμέρους σχημάτων κάθε βήματος (Bereiter & Scardamalia, 1989). Στην περίπτωση λύσης χημικών προβλημάτων, για τον υπολογισμό της απαίτησης-Z έχει προταθεί ο τρόπος της διαστατικής ανάλυσης (dimensional analysis) από τον Niaz (1989). Οι έμπειροι λύτες επιλέγουν ευέλικτες και πιο σύντομες στρατηγικές, όταν αντιμετωπίζουν ένα πρόβλημα. Έτσι μειώνουν την απαίτηση-Z του προβλήματος. Η διαδικασία αυτή ερμηνεύεται με τη λεγόμενη ικανότητα «σβολοποίησης» (chunking) των υπό επεξεργασία πληροφοριών ή σχημάτων που έχουν αποκτήσει λόγω εμπειρίας. Δηλαδή τις πληροφορίες τις επεξεργάζονται ως ολόκληρες, γεγονός που επιτυγχάνει τη μείωση του αριθμού των ενεργοποιημένων σχημάτων και την ταχύτερη και ευκολότερη εκτέλεση του έργου.

Την άποψη αυτή επιβεβαιώνουμε και από τη μελέτη του τρόπου λύσης προβλημάτων φυσικής και χημείας από έμπειρους (διδάσκοντες) και άπειρους (μαθητές) λύτες. Οι μεν έμπειροι χρησιμοποιούν γενικές αρχές και νόμους οι δε άπειροι προσπαθούν να «πιαστούν» από επιμέρους νόμους και από την εκτέλεση αριθμητικών πράξεων. Παραθέτουμε (Διάγραμμα 4.3) μια αναπαράσταση του μοντέλου γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών κατά τον Johnstone (1997).

Η διδακτική διαδικασία που ακολουθήσαμε στην παρούσα έρευνα λαμβάνει υπόψη της ένα εποικοδομητικό πλαίσιο μάθησης. Στο πλαίσιο της εποικοδομητικής διδασκαλίας, η μάθηση προσδιορίζεται ως η δόμηση της γνώσης με τη βοήθεια δεδομένων μέσω των αισθήσεων, τα οποία πρέπει να εννοηθούν στο πλαίσιο της προϋπάρχουσας γνώσης. Η αντιμετώπιση των θεμάτων, τα οποία τίθενται υπό μορφή προβλημάτων στους φοιτητές της δικής μας έρευνας, είναι μια ερμηνευτική διαδικασία, που περιλαμβάνει ατομική δόμηση και κοινωνική αλληλεπίδραση, η οποία πραγματώνεται τόσο με τη συνεργασία μεταξύ των μελών της κάθε ομάδας όσο και με τη συνεργασία της ομάδας με το διδάσκοντα.





**Διάγραμμα 4.3** Μοντέλο γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών του A. H. Johnstone, από το *J. Chem. Educ.* 1977, 74, 262-268.

Η κύρια ιδέα της εποικοδομητικής επιστημολογίας είναι ότι η γνώση δημόσια ή ατομική δομείται σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικό πλαίσιο και τα άτομα δομούν νοητικά μοντέλα για το περιβάλλον τους. Οι νέες εμπειρίες τους ερμηνεύονται και κατανοούνται σε σχέση με τα υπάρχοντα νοητικά μοντέλα και σχήματα (Driver, 1988). Ο Millar (1989) έχει επισημάνει την πολύτιμη συνεισφορά αυτής της άποψης στη σκέψη της διδακτικής. «Η εποικοδομητική προσέγγιση ρίχνει φως, το οποίο είναι εξαιρετικά πολύτιμο, με το να δίνει έμφαση στο ότι οποιαδήποτε γνώση πρέπει κατ' ανάγκη να αναδομείται από το μαθητευόμενο σε μια μαθησιακή διαδικασία. Δεν μπορούμε να διδάξουμε ένα σώμα γνώσης με το να το μεταβιβάζουμε άμεσα. Η μάθηση πάντοτε συμπεριλαμβάνει αναδόμηση προσωπικών σημασιών».

Αν και η εποικοδομητική επιστημολογία δεν είναι διεθνώς αποδεκτή (Matthews, 1993) ο Duit (1994) συμφωνεί ότι έχει υπάρξει ως η πιο ισχυρή και αποδοτική καθοδηγητική δύναμη στην έρευνα πάνω στις έννοιες των σπουδαστών και των δασκάλων, ενώ ο Summers (1992) διατείνεται ότι αυτή τώρα ευρέως εκτιμάται ως μια θεωρητική βάση για την ανάπτυξη των ιδεών των μαθητών στην επιστήμη. Στις μέρες μας, η εποικοδομητική σκέψη ασκεί επιρροή στις απόψεις όσων διδάσκουν επιστήμη, στην ανάπτυξη αναλυτικών προγραμμάτων και στη διδασκαλία και μάθηση της επιστήμης στις αίθουσες διδασκαλίας. Αυτή η επιρροή έχει επεκταθεί και στην εκπαίδευση των δασκάλων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης για την διδασκαλία της επιστήμης στο Ηνωμένο Βασίλειο (Summers & Kruger, 1994).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ

##### 5.1 Γενικά στοιχεία του δείγματος

Ως δείγμα για τη διερεύνηση της επίδρασης των τριών διαφορετικών διδακτικών μοντέλων στην κατανόηση και επίλυση προβλημάτων, που σχετίζονται με την αέρια κατάσταση, χρησιμοποιήσαμε πρωτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Π.Τ.Π.Ε.) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2003-04.

Οι φοιτητές του παραπάνω τμήματος, στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών τους, στο β' εξάμηνο διδάσκονται το μάθημα «Βασική Φυσική Ι». Το περιεχόμενο του μαθήματος αυτού περιλαμβάνει:

1. Βασικές έννοιες της μηχανικής (μελέτη της κίνησης, νόμοι της κίνησης του Νεύτωνα, ορμή, ενέργεια).
2. Ιδιότητες της ύλης (ατομική δομή της ύλης, στερεά, υγρά, αέρια).
3. Θερμότητα (θερμοκρασία, θερμότητα και διαστολή, διάδοση της θερμότητας, αλλαγή κατάστασης).

Διατίθεται δε για τις ανάγκες του μαθήματος αυτού ως σύγγραμμα το βιβλίο του P. G. Hewitt (1985) «Οι Έννοιες της Φυσικής», τόμος Ι (Μηχανική, Θερμότητα, Ήχος).

Στο πλαίσιο της διδακτέας ύλης οι φοιτητές διδάχτηκαν από το γράφοντα, στη διάρκεια τεσσάρων διδακτικών ενοτήτων, όπου κάθε ενότητα διήρκεσε ένα πλήρες δίωρο, συνολικά οκτώ ώρες, θέματα σχετικά με την αέρια κατάσταση. Το περιεχόμενο και η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφονται αναλυτικά στα κεφάλαια 6 και 7 (Το περιεχόμενο και η μεθοδολογία της διδακτικής παρέμβασης «Α» και το περιεχόμενο και η διδακτική μέθοδος της παρέμβασης «Β»).

Για τη σκιαγράφηση του προφίλ του δείγματός μας και για την περαιτέρω βέλτιστη διαχείρισή του στο πλαίσιο της έρευνας, πριν ξεκινήσουμε την διδακτική μας παρέμβαση, ζητήσαμε από τους φοιτητές να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο. Το ερωτηματολόγιο παρατίθεται στη σελίδα 113 του παρόντος κεφαλαίου. Στο ερωτηματολόγιο, από κάθε φοιτητή εξητείτο, εκτός από τη συμπλήρωση των ατομικών του στοιχείων (επώνυμο, όνομα, όνομα πατέρα και έτος γέννησης), να απαντήσει σε



δώδεκα ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις ήταν τύπου συμπλήρωσης κενών και πολλαπλής επιλογής και χωρίζονταν σε τρεις ομάδες. Στην πρώτη ομάδα εξητούντο κοινωνικο-πολιτιστικά χαρακτηριστικά του κάθε φοιτητή, όπως η περιοχή προέλευσής του (αστική, ημιαστική, αγροτική), επάγγελμα και επίπεδο σπουδών των γονέων του. Στη δεύτερη ομάδα εξητούντο στοιχεία που αφορούσαν τη γνωστική υποδομή του φοιτητή, τον τύπο λυκείου (Ενιαίο, Τ.Ε.Ε. κ.ά.) που αποφοίτησε και την κατεύθυνση που παρακολούθησε (θετική, τεχνολογική, θεωρητική), καθώς και τα μόρια με τα οποία εισήχθη στο Π.Τ.Π.Ε. Στην τρίτη ομάδα εξητούντο στοιχεία που αφορούσαν τη στάση και το ενδιαφέρον του φοιτητή σε σχέση με τις φυσικές επιστήμες, σε ποια βαθμίδα της εκπαίδευσης το ενδιαφέρον του ήταν μεγαλύτερο για τις φυσικές επιστήμες, σε ποιο βαθμό πιστεύει ότι τα φυσικά μαθήματα θα του είναι χρήσιμα ως αυριανού δασκάλου / δασκάλας, και τέλος ποια ήταν η σειρά προτίμησης του τμήματος που εισήχθη σε σχέση με τις άλλες επιλογές του ως υποψήφιος φοιτητής. Τα στοιχεία που προέκυψαν από το ερωτηματολόγιο παραθέτουμε στη συνέχεια.

Στην έρευνα πήραν μέρος 151 φοιτητές. Με εξαίρεση ένα μικρό ποσοστό (2,6%) που είχε εισαχθεί στο τμήμα με κατατακτήριες εξετάσεις, όλοι οι άλλοι εισαχθέντες στο Π.Τ.Π.Ε. ήταν απόφοιτοι Ενιαίου Λυκείου και εισήχθησαν σ' αυτό με το σύστημα των Πανελλαδικών Εξετάσεων. Οι φοιτητές προέρχονται και από τις τρεις κατευθύνσεις (θετική, τεχνολογική, θεωρητική) στις οποίες χωρίζεται το λύκειο στις δύο τελευταίες τάξεις. Η κατανομή των σπουδαστών ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο και ανά φύλο, παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1. Ας σημειωθεί ότι ο αριθμός των εισαχθέντων φοιτητών το ακαδημαϊκό έτος 2003-04 ήταν 175, όμως στις διάφορες διδακτικές παρεμβάσεις που εφαρμόσαμε ενεπλάκησαν μόνο οι 151 φοιτητές, καθόσον οι παρακολουθήσεις δεν είναι υποχρεωτικές.

**Πίνακας 5.1** Κατανομή των φοιτητών του δείγματός μας σε σχέση με το φύλο και την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση \ Φύλο	Θετική	Τεχνολογική	Θεωρητική	
Κορίτσια (81,5%)	19	26	78	123
Αγόρια (18,5%)	6	15	7	28
	25	41	85	151

Εκ των 151 φοιτητών πέντε είχαν εισαχθεί με κατατακτήριες εξετάσεις και ήταν απόφοιτοι τμημάτων ανθρωπιστικών και κοινωνικών επιστημών. Οι φοιτητές αυτοί κατατάχθηκαν στην έρευνα μας ως απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης. Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα το 81,5% είναι κορίτσια και το 18,5% αγόρια. Λίγο παραπάνω από τους μισούς, 56,3% είναι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης, το 27,1% είναι απόφοιτοι τεχνολογικής και το 16,6% θετικής κατεύθυνσης. Τα ποσοστά των φοιτητών που ήταν απόφοιτοι τεχνολογικής και θετικής κατεύθυνσης μπορούν να θεωρηθούν



σχετικά υψηλά, αν λάβουμε υπόψη μας ότι στα παιδαγωγικά τμήματα από παράδοση η συντριπτική πλειονότητα των φοιτητών προερχόταν από τη θεωρητική κατεύθυνση.

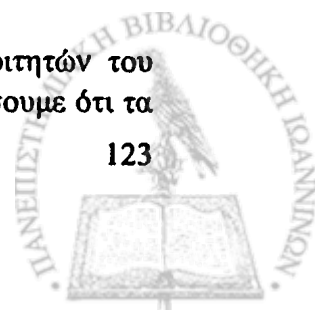
## 5.2 Η γνωστική υποδομή των υποκειμένων της έρευνας

Οι φοιτητές του δείγματός μας ξεκινούν τα μαθήματα των φυσικών επιστημών στο παιδαγωγικό τμήμα με διαφορετική υποδομή. Ως μαθητές στην α' λυκείου, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση που θα ακολουθήσουν στις δύο επόμενες τάξεις του λυκείου, διδάχθηκαν τα μαθήματα της Φυσικής και της Χημείας. Οι μαθητές που ακολούθησαν τη θεωρητική κατεύθυνση στη β' και γ' λυκείου διδάχθηκαν και εξετάστηκαν στις πανελλαδικές εξετάσεις «Φυσική γενικής παιδείας». Στη β' λυκείου διδάχθηκαν επίσης «Χημεία γενικής παιδείας» και «Βιολογία γενικής παιδείας» τα οποία εξετάστηκαν μόνο σε επίπεδο σχολικής μονάδας. Τέλος διδάχθηκαν «Βιολογία γενικής παιδείας» στη γ' τάξη, στην οποία εξετάστηκαν σε επίπεδο πανελλαδικών εξετάσεων. Το περιεχόμενο των παραπάνω μαθημάτων σκοπό έχει να αποκτήσουν οι απόφοιτοι της λυκειακής βαθμίδας γενικές γνώσεις σε σχέση με θέματα φυσικής, χημείας και βιολογίας.

Οι φοιτητές που αποφοίτησαν από τη θετική και τεχνολογική κατεύθυνση στη β' και γ' λυκείου διδάχθηκαν και εξετάστηκαν τα μαθήματα Φυσική, Χημεία και Βιολογία γενικής παιδείας, όπως οι μαθητές της θεωρητικής κατεύθυνσης. Επιπλέον όμως οι προερχόμενοι από τη θετική κατεύθυνση στη β' τάξη διδάχθηκαν και εξετάστηκαν σε επίπεδο πανελλαδικών εξετάσεων «Χημεία κατεύθυνσης» και «Φυσική κατεύθυνσης». Τέλος στη γ' λυκείου διδάχθηκαν και εξετάστηκαν «Φυσική κατεύθυνσης», «Χημεία κατεύθυνσης» και «Βιολογία κατεύθυνσης» σε επίπεδο πανελλαδικών εξετάσεων. Οι φοιτητές που αποφοίτησαν από την τεχνολογική κατεύθυνση στη β' και γ' λυκείου διδάχθηκαν και εξετάστηκαν σε πανελλαδικές εξετάσεις, όπως οι απόφοιτοι της θετικής, «Φυσική κατεύθυνσης». Στη β' λυκείου αντί του μαθήματος «Χημεία κατεύθυνσης», που διδάσκονται οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης, διδάχθηκαν το μάθημα «Τεχνολογία Επικοινωνιών», και στη γ' λυκείου το μάθημα, «Ανάπτυξη Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον», στα οποία και εξετάστηκαν στις πανελλαδικές εξετάσεις. Τα μαθήματα κατεύθυνσης διαπραγματεύονται απαιτητικές έννοιες και σκοπεύουν να προετοιμάσουν τους υποψήφιους φοιτητές για σπουδές σε πανεπιστημιακά τμήματα θετικών επιστημών.

Οι φοιτητές οι προερχόμενοι από τη θετική κατεύθυνση έχουν μια καλή υποδομή στα φυσικά μαθήματα από το λύκειο. Οι φοιτητές οι προερχόμενοι από την τεχνολογική κατεύθυνση έχουν μια ικανοποιητική υποδομή στα φυσικά μαθήματα και γνωρίζουν επιπλέον στοιχεία από την επιστήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ενώ οι προερχόμενοι από τη θεωρητική κατεύθυνση έχουν μια στοιχειώδη υποδομή στα παραπάνω μαθήματα. Οι φοιτητές όμως οι προερχόμενοι από τη θεωρητική κατεύθυνση έχουν πολύ καλύτερη υποδομή στα θεωρητικά μαθήματα (αρχαία ελληνικά, ιστορία, φιλοσοφία, λατινικά), σε σχέση με τους συμφοιτητές τους που αποφοίτησαν από τις άλλες κατευθύνσεις.

Παρά τις διαφοροποιήσεις ως προς τη γνωστική υποδομή των φοιτητών του δείγματός μας στα μαθήματα των φυσικών επιστημών, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα



μόρια που απαιτούνταν για την εισαγωγή των φοιτητών στο Παιδαγωγικό Τμήμα Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, για το έτος 2003, ήταν σχετικά υψηλά. Ένα ποσοστό υποψηφίων φοιτητών επέλεξαν το τμήμα αυτό, έναντι άλλων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2 αν και θα μπορούσαν να εισαχθούν με τα μόρια που συγκέντρωσαν σε ένα μεγάλο αριθμό άλλων σχολών. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι βάσεις μορίων εισαγωγής στις σχολές του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά τα έτη 2002 και 2003.

Το Τμήμα Παιδαγωγικής Δημοτικής Εκπαίδευσης από το έτος 2003 εμφάνισε αύξηση στις προτιμήσεις των αποφοίτων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, με συνέπεια την άνοδο της βαθμολογικής βάσης εισαγωγής στο τμήμα αυτό. Η αιτία βρίσκεται στη λειτουργία των ολόημερων δημοτικών που δημιούργησαν θέσεις εργασίας στους αποφοίτους των τμημάτων αυτών και για πρώτη φορά τα τελευταία χρόνια οι απόφοιτοι των παιδαγωγικών τμημάτων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης βρίσκουν με ευκολία εργασία στην εκπαίδευση.

Πίνακας 5.2 Βάσεις μορίων εισαγωγής στα τμήματα του Παν/μίου Ιωαννίνων στις πανελλαδικές εξετάσεις κατά τα έτη 2002 και 2003.

Σχολή	2002	2003
Ιατρική	18160	18769
Πληροφορικής	16946	17276
Οικονομικών Επιστημών	15783	16316
Βιολογικών Εφαρμ. & Τεχνολογιών	15329	16093
Π.Τ.Π.Ε	13421	15466*
Φυσικό	14452	15240
Μαθηματικό	14096	15089
Χημείας	13972	14789
Επιστήμης & Τεχνολογίας Υλικών	13412	13951
Φιλολογίας	14065	13874
Διαχείριση Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων	13283	13643
Οργάνωση & Διαχείριση Αγροτ. Εκμεταλλεύσεων	13081	13546
Παιδαγωγικής Νηπιαγωγών	12167	13474
Φιλοσοφίας- Παιδαγωγικής- Ψυχολογίας (Φ.Π.Ψ.)	13313	13467
Ιστορίας -Αρχαιολογίας	12684	13085
Πλαστικών Τεχνών & Επιστημών Τέχνης	11713	12846

\* Η βάση εισαγωγής το 2004 παρουσίασε άνοδο 406 μορίων, ήτοι 15872 μόρια και το έτος 2005 μια επιπλέον άνοδο 492 ανέβασε τα μόρια στα 16364.

Τα μόρια εισαγωγής για το τμήμα αυτό προβλέπεται να διατηρηθούν υψηλά και για τα επόμενα χρόνια, με ενδεχόμενη περαιτέρω άνοδο, με αποτέλεσμα να εισάγονται στο τμήμα αυτό μαθητές με καλή γενική υποδομή. Τα παραπάνω ενισχύονται και από το γεγονός ότι το 72,8% των πρωτοετών φοιτητών του τμήματος αυτού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3, είχαν δηλώσει τα παιδαγωγικά τμήματα πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στην



πρώτη ομάδα των σχολών προτίμησής τους και το 21,2% στη δεύτερη για εισαγωγή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

**Πίνακας 5.3** Σειρά δήλωσης προτίμησης της ομάδας των Π.Τ.Π.Ε. στο δελτίο υποψηφίου για εισαγωγή σε σχολή Α.Ε.Ι. των φοιτητών του δείγματος.

Φύλο	Σειρά προτίμησης				
	1η	2η	3η	4η -7η	
A	17	9	1	1	28
K	93	23	5	2	123
	110	32	6	3	151
	(72,8%)	(21,2%)	(4,0%)	2,0%)	(100,0%)

### 5.3 Κοινωνικο-πολιτιστικά χαρακτηριστικά των υποκειμένων της έρευνας

Η μέση ηλικία των φοιτητών του δείγματος μας ήταν 19,3 ετών, εκ των οποίων το 71,5% είχαν μέση ηλικία 19 ετών και το 13,2% μέση ηλικία 18. Η κατανομή του αριθμού των σπουδαστών σε σχέση με το έτος γέννησής τους φαίνεται στον Πίνακα 5.4

Περίπου οι μισοί φοιτητές (47,0%) του δείγματός μας προέρχονται από αστικές περιοχές, το 30,5% από ημιαστικές και το 22,5% από αγροτικές (Πίνακας 5.5). Η κατανομή αυτή σε μεγάλο βαθμό αντικατοπτρίζει και την παρατηρούμενη τις τελευταίες δεκαετίες συσσώρευση μεγάλων τμημάτων του γενικού πληθυσμού της χώρας προς τα αστικά και ημιαστικά κέντρα. Ως αστική θεωρείται η περιοχή που έχει περισσότερους από 10.000 κατοίκους, ημιαστική η περιοχή που έχει λιγότερους από 10.000 και περισσότερους από 3.000 κατοίκους και αγροτική η περιοχή που έχει λιγότερους από 3.000 κατοίκους.

**Πίνακας 5.4** Κατανομή των φοιτητών του δείγματος ανά έτος γέννησης και φύλο (μέση ηλικία 19,3 ετών).

Φύλο	Έτος γέννησης								
	1968	1977	1980	1981	1983	1984	1985	1986	
A	0	1	1	1	2	3	14	6	28
K	1	0	3	0	2	9	94	14	123
	1	1	4	1	4	12	108	20	151
	0,7%	0,7%	2,6%	0,7%	2,6%	7,9%	71,5%	13,2%	

Για τη σκιαγράφηση της κοινωνικο-πολιτιστικής προέλευσης των φοιτητών του δείγματός μας καταγράψαμε την εκπαιδευτική βαθμίδα που ήταν απόφοιτοι οι γονείς τους. Στη χώρα μας το επίπεδο σπουδών των ατόμων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το επάγγελμα και την κοινωνική τους θέση. Από την κατανομή των εκπαιδευτικών βαθμίδων που είναι απόφοιτοι οι γονείς των φοιτητών φαίνεται ότι το μέσο μορφωτικό



**Πίνακας 5.5** Περιοχή προέλευσης των φοιτητών του δείγματος ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο και ανά φύλο.

Κατεύθυνση \ Περιοχή	Αστική (N=71)		Ημιαστική (N=46)		Αγροτική (N=34)	
	Α	Κ	Α	Κ	Α	Κ
Θετική (N=25)	4	6	1	5	1	8
Τεχνολογική (N=41)	10	9	4	7	1	10
Θεωρητική (N=85)	4	38	3	26	0	14
	18	53	8	38	2	32
	47,0%		30,5%		22,5%	

τους επίπεδο βρίσκεται σε μια περιοχή μεταξύ μέτριου και χαμηλού. Το ποσοστό των φοιτητών που και οι δύο γονείς τους είναι απόφοιτοι των δύο χαμηλότερων βαθμίδων εκπαίδευσης (δημοτικό ή γυμνάσιο) είναι το 28,5% και το ποσοστό των φοιτητών που ο ένας τουλάχιστον γονέας είναι απόφοιτος λυκείου και ο άλλος είναι απόφοιτος λυκείου ή χαμηλότερης βαθμίδας εκπαίδευσης είναι 60,3%. Το δε ποσοστό που και οι δύο γονείς είναι απόφοιτοι Α.Ε.Ι. ή κάτοχοι μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών είναι το 12,6%. Γενικά οι φοιτητές του Π.Τ.Π.Ε. προέρχονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από μεσαία και χαμηλά κοινωνικά στρώματα και αποβλέπουν σε μια επαγγελματική αποκατάσταση στο χώρο της εκπαίδευσης.

**Πίνακας 5.6** Μορφωτικό επίπεδο των γονέων των φοιτητών του δείγματος.

Μητέρα \ Πατέρα	Διδ/κό Μετ/κό	ΑΕΙ	ΤΕΙ	ΛΥΚ.	ΓΥΜΝ.	ΔΗΜΟΤ.	
Διδακτορικό	0	1	0	0	0	1	
Μεταπ/κό							
ΑΕΙ	3	15	3	2	3	0	26
ΤΕΙ	0	1	3	1	0	2	7
ΛΥΚΕΙΟ	2	10	5	16	10	9	52
ΓΥΜΝΑΣΙΟ	0	2	4	6	6	6	24
ΔΗΜΟΤΙΚΟ	0	0	3	11	11	16	41
	5	29	18	36	30	33	151

#### 5.4 Η στάση των φοιτητών του δείγματος σε σχέση με τις φυσικές επιστήμες

Για τη διερεύνηση της στάσης των φοιτητών σε σχέση με τις φυσικές επιστήμες στο ερωτηματολόγιο υπήρχαν δύο ερωτήσεις. Στην πρώτη ζητούσαμε την άποψή τους ως μελλοντικών δασκάλων / δασκαλισσών για τη χρησιμότητα των φυσικών μαθημάτων, που θα διδαχθούν στο Πανεπιστήμιο. Το 73,5% δήλωσε ότι θεωρούν τα φυσικά μαθήματα πολύ έως πάρα πολύ χρήσιμα, το 23,8% ότι θα έχουν γι'αυτούς μια μέτρια χρησιμότητα και το 2,6% ότι θα τους είναι λίγο έως ελάχιστα χρήσιμα. Επίσης, οι φοιτητές που προέρχονται από θετική και τεχνολογική κατεύθυνση εμφανίζονται να έχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό την άποψη ότι τα φυσικά μαθήματα θα τους είναι πολύ



έως πάρα πολύ χρήσιμα σε σχέση με τους συμφοιτητές τους που προέρχονται από τη θεωρητική κατεύθυνση. Τα ποσοστά δε μεταξύ αγοριών και κοριτσιών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

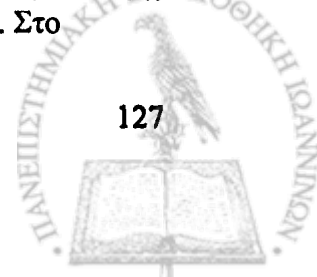
Πίνακας 5.7 Η πεποίθηση των φοιτητών για τη χρησιμότητα των φυσικών μαθημάτων ως μελλοντικών δασκάλων.

Φύλο	Περιοχή χρησιμότητας			
	Ελάχιστα - λίγο	Μέτρια	Πολύ - πάρα πολύ	
A	0	6	22	28
K	4	30	89	123
	4 (2,6%)	36 (23,8%)	111 (73,5%)	151

Στη δεύτερη ερώτηση της κατηγορίας αυτής εξητείτο από τους φοιτητές να σημειώσουν σε ποια βαθμίδα της εκπαίδευσης που διάνυσαν είχαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες. Ο όρος «ενδιαφέρον» στο ερωτηματολόγιο δεν οριοθετήθηκε και συνεπώς αφέθηκε να σημαίνει αυτό που κοινώς αντιλαμβανόμαστε, δηλαδή μαθήματα στα οποία έδιναν ιδιαίτερη προσοχή, που προσέλκυαν το ενδιαφέρον τους. Από τον Πίνακα 5.8 φαίνεται ότι καθώς οι μαθητές κινούνται από το δημοτικό προς το λύκειο το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες μεγαλώνει.

Οι φοιτητές που προέρχονταν από τη θεωρητική κατεύθυνση δήλωσαν ότι είχαν αυξημένο ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες στις χαμηλότερες βαθμίδες εκπαίδευσης, στο δημοτικό και στο γυμνάσιο, σε ποσοστό 68,7%. Το γεγονός αυτό συνηγορεί και με την επιλογή τους να ακολουθήσουν στις δύο τελευταίες τάξεις του λυκείου θεωρητική κατεύθυνση, όπου διδάσκονται τα φυσικά μαθήματα σε επίπεδο γενικής παιδείας. Βέβαια, ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι ένας στους τρεις περίπου σπουδαστές που φοίτησε στη θεωρητική κατεύθυνση δηλώνει ότι το ενδιαφέρον του για τις φυσικές επιστήμες ήταν υψηλότερο στο λύκειο. Όταν ζητήθηκε από τους φοιτητές αυτούς να εξηγήσουν γιατί δηλώνουν ότι το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες στο λύκειο ήταν μεγάλο, αν και ακολούθησαν θεωρητική κατεύθυνση, απάντησαν ότι: «από την α' λυκείου και μετά καταλάβαιναν καλύτερα τα σχετικά μαθήματα, ενώ στο δημοτικό και στο γυμνάσιο τα μάθαιναν απέξω». Οι φοιτητές που προέρχονται από τη θετική και τεχνολογική κατεύθυνση δήλωσαν σε πολύ μικρότερα ποσοστά, 28,6% και 8,4% αντίστοιχα, ότι είχαν υψηλό ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες στις χαμηλές βαθμίδες εκπαίδευσης.

Έρευνα που έγινε από τους Σάββα και Καλκάνη (1998) για την αποτύπωση της στάσης των Ελλήνων μαθητών στο μάθημα της Φυσικής έδειξε «μια σταδιακή μετατόπιση προς λιγότερη θετική αντιμετώπιση στις μεγαλύτερες τάξεις». Ως δείγμα στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 516 μαθητές από 16 σχολεία της Αττικής, που ευρίσκοντο στην Ε' τάξη δημοτικού, στη β' γυμνασίου και στη β' λυκείου. Οι μαθητές της Ε' τάξης φαίνεται να προτιμούν ακραίες τοποθετήσεις (μεγάλο / καθόλου ενδιαφέρον). Στο



**Πίνακας 5.8** Σε ποια βαθμίδα της προηγούμενης εκπαίδευσής τους το ενδιαφέρον των φοιτητών ήταν εντονότερο για τις φυσικές επιστήμες.

Φύλο	Εκπ/κή βαθμίδα	ΔΗΜ.	ΓΥΜΝ.	ΛΥΚ.	ΓΥΜΝ+ΛΥΚ.	ΔΗΜ.+ ΓΥΜΝ.+ ΛΥΚ.
A		7	4	16	0	1 28
K		19	41	60	1	2 123
		26	45	76	1	3 151
		17,2%	29,8%	50,3%	0,7%	2,0%

γυμνάσιο η θετική στάση εμφανίζεται συγκρατημένη, και στο λύκειο η μείωση του ενδιαφέροντος παίρνει υψηλές τιμές. Η διαφοροποίηση του ενδιαφέροντος αγοριών και κοριτσιών είναι σημαντική στο γυμνάσιο και ακόμη μεγαλύτερη στο λύκειο, με το ενδιαφέρον των αγοριών να υπερτερεί των κοριτσιών. Αξιοσημείωτο είναι ότι η διαφοροποίηση του ενδιαφέροντος σε σχέση με το φύλο είναι πολύ μικρότερη στο δημοτικό, όπου και η στάση απέναντι στο μάθημα εμφανίζεται ιδιαίτερα θετική.

Μια από τις σημαντικότερες έρευνες σχετικά με τη μελέτη του ενδιαφέροντος των μαθητών για τα φυσικά μαθήματα και ειδικότερα για τη φυσική είναι αυτή του I.P.N. (Hoffmann 1986, Hoffmann 1989). Το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε από την παραπάνω έρευνα είναι η αναντιστοιχία της εξέλιξης του ενδιαφέροντος με την εξέλιξη της αντίληψης για τη σημαντικότητα του μαθήματος της φυσικής. Ενώ η υποκειμενική στάση των μαθητών (ενδιαφέρον) εξελίσσεται αρνητικά με τις βαθμίδες εκπαίδευσης, η αναγνώριση για την αξία του μαθήματος (σημαντικότητα) εξελίσσεται θετικά. Με απλά λόγια θα μπορούσε κανείς να διατυπώσει την άποψη των μαθητών «το μάθημα είναι πολύ σημαντικό, εγώ προσωπικά όμως δε θέλω να έχω σχέση μ' αυτό» (Σάββας & Καλκάνης, 1998).

Επανερχόμενοι στο δείγμα μας, οι 151 πρωτοετείς φοιτητές που ήταν απόφοιτοι και από τις τρεις κατευθύνσεις του λυκείου, 16,6% από τη θετική, 27,1% από την τεχνολογική και 56,3% από την θεωρητική, παρακολούθησαν όλοι μαζί τη διδακτική παρέμβαση «Α» και στη συνέχεια στη διδακτική παρέμβαση «Β» είχε προγραμματιστεί να ισοκατανεμηθούν σε ομάδες, για τη μελέτη των ίδιων προβλημάτων με την εφαρμογή διαφορετικών διδακτικών μεθόδων.

### 5.5 Έλεγχος ισοδυναμίας των ομάδων που πήραν μέρος στις διδακτικές μεθόδους σε σχέση με τον αριθμό τους, ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο

Όπως ήδη αναφέραμε το συνολικό δείγμα (N=151) συμμετείχε σε δύο διδακτικές παρεμβάσεις. Στην πρώτη, όλοι οι φοιτητές διδάχθηκαν βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης. Στη δεύτερη οι φοιτητές είχε προγραμματιστεί να χωριστούν σε τρεις ομάδες, όπου η κάθε μια θα αντιμετώπιζε τα ίδια προβλήματα με διαφορετική διδακτική μέθοδο. Όμως ένας αριθμός φοιτητών και από τις τρεις ομάδες κατά την εξέλιξη της όλης





διαδικασίας δεν προσήλθε και έτσι αυτοσχηματίστηκε η τέταρτη ομάδα, η «ομάδα ελέγχου». Η ομάδα αυτή συμμετείχε μόνο στην πρώτη διδακτική παρέμβαση και στην εξέταση κατά την εξεταστική περίοδο του Ιουνίου. Ο σχηματισμός της «ομάδας ελέγχου» ήταν αναμενόμενος, δοθέντος ότι η παρακολούθηση των μαθημάτων δεν είναι υποχρεωτική, όμως ο αριθμός τους καθώς και το ποσοστό τους ανά κατεύθυνση αποφοίτησης δεν ήταν δυνατό να προβλεφθεί εξ' αρχής.

Μετά από τροποποίηση που έγινε στην αρχική σύνθεση των τριών ομάδων και με βάση τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα από τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, προέκυψε η τελική σύνθεση των τεσσάρων ομάδων (Πίνακας 5.9). Περισσότερα στοιχεία για τη σύνθεση των τεσσάρων ομάδων αναφέρονται στο κεφάλαιο 7, 7.1 (Το περιεχόμενο και η μέθοδος της διδακτικής παρέμβασης «B»).

Οι φοιτητές απόφοιτοι της κάθε κατεύθυνσης που συμμετείχαν στην έρευνα είχαν διαφορετική υποδομή στα φυσικά μαθήματα. Για να εξασφαλιστεί η ισοδυναμία των ομάδων που παρακολούθησαν τις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους και στη συνέχεια αξιολογήθηκαν στα ίδια θέματα εξέτασης, φροντίσαμε σε κάθε επιμέρους ομάδα να υπάρχει περίπου ίδιος αριθμός φοιτητών, που να είχε αποφοιτήσει από την ίδια κατεύθυνση. Διαφορετικά, η επίδοση στα θέματα που εξετάστηκαν οι φοιτητές, για να αξιολογηθεί η επίδραση των διαφορετικών διδακτικών μεθόδων, θα μπορούσε να αποδοθεί σε ένα βαθμό και στη μεταβλητή κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο. Για να ελέγξουμε κατά πόσο οι ομάδες είναι εξαρτημένες ή ανεξάρτητες από την ποσοστιαία σύνθεσή τους σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών του δείγματος από το λύκειο, εφαρμόσαμε το απαραμετρικό κριτήριο  $\chi^2$  (Chi Sq). Ως μεταβλητές θεωρήσαμε την ομάδα διδακτικής μεθόδου και την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο κάθε μέλους της ομάδας. Με βάση τη σύνθεση των ομάδων έχουμε τον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5.9** Σύνθεση των ομάδων που παρακολούθησαν κάθε διδακτική μέθοδο, σε σχέση με τον αριθμό τους και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση αποφ. από το λύκειο	Ομάδα			
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)
	<b>Ποσοστό % (αριθμός)</b>			
<b>Θετική (N=25)</b>	18,6 (8)	16,2 (6)	15,6 (5)	15,4 (6)
<b>Τεχνολογική (N=41)</b>	25,6 (11)	29,7 (11)	31,2 (10)	23,1 (9)
<b>Θεωρητική (N=85)</b>	55,8 (24)	54,1 (20)	53,1 (17)	61,5 (24)

Η μηδενική υπόθεση  $H_0$  για τον έλεγχο της ανεξαρτησίας των δύο μεταβλητών θεωρεί ότι αυτές είναι στατιστικά ανεξάρτητες και η εναλλακτική  $H_1$  ότι μεταξύ των μεταβλητών υπάρχει εξάρτηση. Κάποιος παράγοντας π.χ. οι φοιτητές απόφοιτοι της θετικής κατεύθυνσης είναι περισσότερο σημαντικός από τους φοιτητές που είναι



απόφοιτοι των άλλων κατευθύνσεων. Οι παρατηρούμενες και αναμενόμενες συχνότητες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (crosstabulation) (Πίνακας 5.10).

**Πίνακας 5.10** Μετρούμενες και αναμενόμενες συχνότητες των φοιτητών κάθε ομάδας που πήραν μέρος στην έρευνα.

		Κατεύθυνση				
		Θετική	Τεχνολογική	Θεωρητική	Σύνολο	
Ομάδα	Ελέγχου	Μετρούμενη	6,0	9,0	24,0	39,0
		Αναμενόμενη	6,5	10,6	22,0	39,0
	Συμβατικής διδασκαλίας	Μετρούμενη	5,0	10,0	17,0	32,0
		Αναμενόμενη	5,3	8,7	18,0	32,0
	Επίδειξης πειραμάτων	Μετρούμενη	6,0	11,0	20,0	37,0
		Αναμενόμενη	6,1	10,0	20,8	37,0
	Πειραμάτων	Μετρούμενη	8,0	11,0	24,0	43,0
		Αναμενόμενη	7,1	11,7	24,2	43,0
	Σύνολο	Μετρούμενη	25,0	41,0	85,0	151,0
		Αναμενόμενη	25,0	41,0	85,0	151,0

Το μέγεθος του δείγματός μας είναι μεγαλύτερο από το 50 και καμιά επιμέρους συχνότητα δεν είναι μικρότερη από 5. Συνεπώς το κριτήριο  $\chi^2$  μπορεί να μας δώσει έγκυρο αποτέλεσμα. Η υπολογισθείσα τιμή του  $\chi^2$  (Pearson Chi-Square) είναι:  $\chi^2=1,009$  και οι βαθμοί ελευθερίας είναι έξι [d.f. =6, βαθμοί ελευθερίας = (αριθ. σειρών -1).(αριθ. στηλών -1)] Αποδεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση, δηλαδή την ανεξαρτησία των μεταβλητών σε επίπεδο σημαντικότητας 1%, καθόσον  $\chi^2 < \chi^2_{0,05}(6) = 16,81$ .

Το διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής των φοιτητών σε κάθε ομάδα, από διαφορετικές κατευθύνσεις αποφοίτησης από το λύκειο έχει πιθανότητα να επηρεάζει τη σύνθεση των ομάδων σε ποσοστό μικρότερο του 1%.

### 5.6 Έλεγχος ισοδυναμίας των ομάδων που πήραν μέρος στις διδακτικές μεθόδους σε σχέση με τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών στο πανεπιστήμιο και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο

Ο παραπάνω έλεγχος για την ισοδυναμία των δειγμάτων δεν είναι επαρκής, καθόσον αυτός αξιολογεί ένα μόνο χαρακτηριστικό, την αριθμητική σύσταση των ομάδων ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο. Οι μεταβλητές, αριθμός φοιτητών σε κάθε ομάδα διδακτικής μεθόδου και ο αριθμός φοιτητών ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, δεν αξιολογεί με επάρκεια και το επίπεδο των γνωστικών ικανοτήτων των μελών κάθε ομάδας. Προς τούτο από τη γραμματεία του Π.Τ.Δ.Ε. πήραμε αντίγραφο των μηχανογραφικών καταστάσεων με τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών στο τμήμα αυτό.

Όπως ήδη, έχουμε αναφέρει η βάση μορίων εισαγωγής στο Π.Τ.Δ.Ε., κατά τις πανελλαδικές εξετάσεις του έτους 2003 ήταν 15.466 μόρια, για όσους είχαν φοιτήσει σε



σχολεία στην Ελλάδα. Στο τμήμα αυτό, όπως και στα άλλα τμήματα των ανωτάτων και ανωτέρων σχολών, εισάγονται ως φοιτητές και απόφοιτοι λυκείου από την Κύπρο, από ελληνικά σχολεία του εξωτερικού (ομογενείς), απόφοιτοι από λύκεια της Ελλάδας παρελθόντων ετών (σε ποσοστό 10%), άτομα που υπάγονται σε ειδικές κατηγορίες (π.χ. άτομα με ειδικές ανάγκες) καθώς και ένα μικρό ποσοστό αποφοίτων άλλων πανεπιστημιακών τμημάτων με κατατακτήριες εξετάσεις. Το ποσοστό των φοιτητών που πήραν μέρος στην έρευνά μας και προέρχονται από τις παραπάνω ειδικές κατηγορίες είναι το 28,5%. Μεγαλύτερη συνεισφορά στο ποσοστό αυτό έχουν οι φοιτητές που προέρχονται από την Κύπρο (γύρω στο 50%).

Τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών των παραπάνω ειδικών κατηγοριών, στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι χαμηλότερα σε σχέση μ' αυτούς που εισάγονται με το σύστημα των πανελλαδικών εξετάσεων ή υπολογίζονται με διαφορετική βαθμολογική κλίμακα. Για τους φοιτητές που εισήχθησαν ως ομογενείς τα μόρια εισαγωγής τους μετρούνται σε ογδονταβάθμια κλίμακα, και των Κυπρίων με εκατοεξηνταβάθμια κλίμακα. Για την ισοδυναμία των κλιμάκων έγινε αναγωγή των μορίων εισαγωγής των φοιτητών αυτών στην κλίμακα μορίων εισαγωγής με το σύστημα των πανελλαδικών εξετάσεων, που ο μέγιστος αριθμός μορίων είναι 20.000. Τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών του δείματός μας, ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, περιγράφονται στους πίνακες 5.11, 5.12 και 5.13.

Για την αξιολόγηση της ισοδυναμίας των δειγμάτων-ομάδων συγκρίναμε τις μέσες τιμές των μορίων εισαγωγής των φοιτητών, που αποφοίτησαν από την ίδια κατεύθυνση σε κάθε ομάδα διδακτικής μεθόδου, με τη στατιστική μέθοδο ANOVA (βλ. Στατιστική μεθοδολογία, κεφ. 5, 5.7-5.10). Δηλαδή στην περίπτωση μας έχουμε τη σύγκριση των μέσων τιμών των μορίων εισαγωγής τεσσάρων ανεξαρτήτων δειγμάτων - όσες και οι ομάδες διδακτικής μεθόδου σε σχέση με έναν παράγοντα κάθε φορά - την κατεύθυνση αποφοίτησης των υποκειμένων από το λύκειο (Πίνακες 5.11, 5.12, 5.13). Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης για κάθε μία από τρεις δοκιμασίες, έδωσε τις παρακάτω τιμές (Πίνακας 5.14).

**Πίνακας 5.11** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του δείματός μας, αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης, ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=8)	15828,2	643,6	17104,0	14765,0
Επίδειξης (N=6)	14559,7	2584,5	16851,0	10300,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=5)	15165,6	1873,5	16676,0	13105,0
Ελέγχου (N=6)	15601,3	547,0	16117,0	14956,0
Σύνολο (N=25)	15336,8	1553,9	17104,0	10300,0

**Πίνακας 5.12** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του δείγματός μας, αποφοίτων τεχνολογικής κατεύθυνσης ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου.

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=11)	15628,8	574,9	16763,0	14400,0
Επίδειξης (N=11)	15949,5	592,3	17216,0	14770,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=10)	15917,3	923,2	17042,0	13891,2
Ελέγχου (N=9)	15410,2	439,4	16010,0	14787,0
Σύνολο (N=41)	15737,2	669,7	17216,0	13891,2

**Πίνακας 5.13** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του δείγματος μας, αποφοίτων θεωρητικής κατεύθυνσης ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου.

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=24)	15511,9	1667,4	18563,0	11450,0
Επίδειξης (N=20)	15022,9	1157,5	16545,0	13151,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=17)	15661,6	1902,9	19837,0	10502,0
Ελέγχου (N=24)	14921,8	1744,9	17238,0	10825,0
Σύνολο (N=85)	15264,2	1636,7	19837,5	10502,0

Από τη σύγκριση των τιμών του δείκτη  $W$  με τις κρίσιμες τιμές της κατανομής  $F$ , για τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας και για επίπεδο σημαντικότητας 5% προκύπτει ότι:

α) Στην περίπτωση των φοιτητών που προέρχονται από τη θετική κατεύθυνση δύο τουλάχιστον διακυμάνσεις δειγμάτων από τις τέσσερις διαφέρουν σημαντικά.

**Πίνακας 5.14** Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης των μορίων εισαγωγής των φοιτητών που αποτέλεσαν τα τέσσερα ανεξάρτητα ανισοπληθή δείγματα (ομάδες) και ήταν απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης.

Κατεύθυνση αποφοίτησης	Ομάδες διδακτικής μεθόδου			Επίπεδο σημαντικότητας
	Levene - $W$	$df_1 = k-1$	$df_2 = N-k$	
Θετική	8,598	3	21	0,001
Τεχνολογική	0,907	3	37	0,447
Θεωρητική	0,177	3	81	0,912



Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται οι φοιτητές θετικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες είναι ανομοιογενείς ( $W > F_{5\%, 3, 21} = 3,07$ ,  $p > 0,05$ ). Η διαφορά των πληθυσμών ως προς τη διασπορά (τις διακυμάνσεις) μπορεί ν' αποδοθεί και στο μικρό αριθμό των φοιτητών, αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης που συμμετείχαν στη σύνθεση των ομάδων, αφού μόνο το 16,6 % των φοιτητών του συνολικού δείγματός μας προερχόταν από τη θετική κατεύθυνση. Γενικά στα Π.Τ.Δ.Ε. η πλειονότητα των φοιτητών είναι κορίτσια και είναι απόφοιτες θεωρητικής κατεύθυνσης.

β) Οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες προέρχονται από πληθυσμούς που είναι ομοιογενείς ( $W < F_{5\%, 3, 37} = 2,838$ ,  $p < 0,05$ ).

γ) Οι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες επίσης προέρχονται από πληθυσμούς που είναι ομοιογενείς ( $W < F_{5\%, 3, 81} = 2,680$ ,  $p < 0,05$ ).

Η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης για τη σύγκριση των μέσων τιμών μορίων εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ανεξαρτήτων δειγμάτων ως προς τον παράγοντα κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, έδωσε τις παρακάτω τιμές.

Α) Για τους αποφοίτους θετικής κατεύθυνσης (Πίνακας 5.15).

Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο σημαντικότητας 1% ( $F < F_{1\%, 3, 21} = 4,8740$ ,  $p < 0,01$ ). Επομένως τα μόρια εισαγωγής των πληθυσμών των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης διαφέρουν μόνο ως προς τη διασπορά των τιμών περί τη μέση τιμή.

**Πίνακας 5.15** Ανάλυση διακύμανσης των μορίων εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που ήταν απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	6122259,44	3	2040753,15		
Μέσα στις ομάδες	51834205,50	21	2468295,45	0,827	0,494
Στο σύνολο των ομάδων	57956464,00	24			

Β) Για τους αποφοίτους τεχνολογικής κατεύθυνσης, στις τέσσερις ομάδες, η ανάλυση διακύμανσης (Πίνακας 5.16) έδωσε τιμή  $F=1,471$ . Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο 1% ( $F < F_{1\%, 3, 37} = 4,3126$ ,  $p < 0,01$ ).

Γ) Για τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης, στις τέσσερις ομάδες, η ανάλυση διακύμανσης (Πίνακας 5.17) έδωσε τιμή  $F=0,998$ . Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο 1% ( $F < F_{1\%, 3, 81} = 3,9491$ ,  $p < 0,01$ ).

**Πίνακας 5.16** Ανάλυση διακύμανσης των μορίων εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που ήταν απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	1911465,05	3	637155,017		
Μέσα στις ομάδες	16030018,90	37	433243,755	1,471	0,238
Στο σύνολο των ομάδων	17941484,00	40			

**Πίνακας 5.17** Ανάλυση διακύμανσης των μορίων εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που ήταν απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	8017827,52	3	2672609,17		
Μέσα στις ομάδες	214323121	81	2679039,02	0,998	0,398
Στο σύνολο των ομάδων	222340949	83			

Από τον παραπάνω έλεγχο προκύπτει ότι οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα τέσσερα δείγματα της έρευνάς μας είναι ισοδύναμοι. Κάθε δείγμα συντίθεται από φοιτητές που είναι απόφοιτοι και των τριών κατευθύνσεων του λυκείου και ο στατιστικός έλεγχος για τους φοιτητές της ίδιας κατεύθυνσης, σε κάθε μια από τις τέσσερις ομάδες, έδειξε ότι τα επιμέρους υποσύνολά τους είναι ισοδύναμα. Συνεπώς και οι ομάδες θα είναι ισοδύναμες. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και όταν ενώσουμε τους φοιτητές – αποφοίτους κάθε μιας κατεύθυνσης από το λύκειο για κάθε ομάδα και συγκρίνουμε τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων, θεωρώντας την κάθε ομάδα ως ένα σύνολο. Η ανάλυση διακύμανσης δείχνει ότι οι ομάδες είναι ομοιογενείς, η τιμή του δείκτη W βρίσκεται ίση με 0,666 με 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή και είναι μικρότερη από την αντίστοιχη κρίσιμη τιμή F, σε επίπεδο σημαντικότητας 1% ( $W < F_{1\%, 3, 147} = 3,7816$ ,  $p < 0,01$ ). Επίσης η σύγκριση των διαφορών των μέσων τιμών των μορίων των ομάδων έδωσε τιμή  $F=1,282$ , που είναι μικρότερη της αντίστοιχης κρίσιμης τιμής  $F=3,7816$  για επίπεδο σημαντικότητας 1% ( $F < F_{1\%, 3, 147} = 3,7816$ ,  $p < 0,01$ ). Συνεπώς οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα μας είναι ισοδύναμοι, ως προς το επίπεδο των γνωστικών ικανοτήτων τους, με κριτήριο τα μόρια εισαγωγής τους στο Π.Τ.Π.Ε.



### 5.7 Περαιτέρω επεξεργασία της ισοδυναμίας των δειγμάτων - Ισοστάθμιση των δειγμάτων.

Στην προηγούμενη ενότητα δείξαμε τη στατιστική ισοδυναμία των ομάδων που πήραν μέρος στην έρευνα με δύο κριτήρια. Πρώτον με τη συσχέτιση του αριθμού των φοιτητών, που είναι απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης σε κάθε ομάδα και δεύτερον με τη σύγκριση των μορίων εισαγωγής των φοιτητών στο πανεπιστήμιο, που είναι απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης κατά μήκος των τεσσάρων ομάδων.

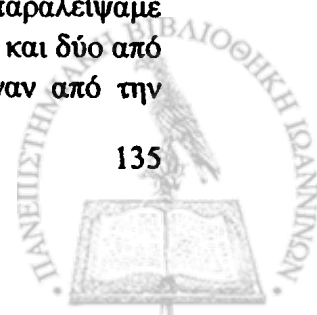
Η παρατήρηση ότι ο αριθμός των φοιτητών που είναι απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης στην «ομάδα πειραμάτων» είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον αριθμό των φοιτητών της ίδιας κατεύθυνσης στις άλλες ομάδες, είναι πιθανό να εγείρει ένα βαθμό δυσπιστίας ως προς την πραγματική ισοδυναμία των ομάδων. Περαιτέρω δε να υπάρξει ο ισχυρισμός ότι η πιθανόν καλύτερη επίδοση στην τελική εξέταση της «ομάδας πειραμάτων» να οφείλεται στο ότι σ' αυτή συμμετείχε μεγαλύτερος αριθμός φοιτητών με ενισχυμένη γνωστική υποδομή στα φυσικά μαθήματα. Προς τούτο επιχειρήσαμε για τις ανάγκες των ποσοτικών συγκρίσεων μια μορφή «ισοστάθμισης» των τεσσάρων ομάδων με σκοπό αφ' ενός ο αριθμός των φοιτητών, αποφοίτων της ίδιας κατεύθυνσης από το λύκειο σε κάθε ομάδα να διαφέρει λιγότερο και αφ' ετέρου το εύρος των μορίων εισαγωγής τους να γίνει στενότερο.

Από την «ομάδα πειραμάτων» παραλείψαμε τρεις φοιτητές θετικής κατεύθυνσης που είχαν τα υψηλότερα μόρια εισαγωγής και από την «ομάδα επίδειξης» ένα φοιτητή της ίδιας κατεύθυνσης με τα χαμηλότερα μόρια εισαγωγής. Η κατανομή των φοιτητών, αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στον πίνακα 5.18. Το εύρος των μέσων τιμών των μορίων εισαγωγής μειώθηκε από 1268,5 στα 584,7 (βλέπε για σύγκριση πίνακα 5.11) ο δε αριθμός των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης σε κάθε ομάδα είναι ο ίδιος με εξαίρεση την «ομάδα ελέγχου» που έχει έναν επιπλέον.

**Πίνακας 5.18** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του ισοσταθμισμένου δείγματός μας, αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης, ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=5)	15750,4	141,2	15919,0	15590,0
Επίδειξης (N=5)	15411,6	1704,8	16851,0	12675,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=5)	15165,7	1873,3	16676,0	13105,0
Ελέγχου (N=6)	15601,3	547,0	16117,0	14956,0
Σύνολο (N=21)	15487,9	1187,6	16676,0	13105,0

Ανάλογα από τους φοιτητές αποφοίτους τεχνολογικής κατεύθυνσης παραλείψαμε δύο από την «ομάδα πειραμάτων» που είχαν τα υψηλότερα μόρια εισαγωγής και δύο από την «ομάδα επίδειξης» με επίσης τα υψηλότερα μόρια εισαγωγής και έναν από την



«ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» που είχε τα χαμηλότερα μόρια. Με τον τρόπο αυτό το εύρος των μορίων εισαγωγής μειώθηκε από τα 539,3 στα 381,7 (βλέπε για σύγκριση πίνακα 5.12) και επιπλέον ο αριθμός των φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες έγινε ο ίδιος. Η νέα κατανομή αποφοίτων τεχνολογικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες φαίνεται στον πίνακα 5.19.

**Πίνακας 5.19** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του ισοσταθμισμένου δείγματός μας, αποφοίτων τεχνολογικής κατεύθυνσης ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου.

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=9)	15596,3	209,3	15932,0	15300,0
Επίδειξης (N=9)	15764,7	424,2	16267,0	14770,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=9)	15791,9	885,9	17036,0	13887,5
Ελέγχου (N=9)	15410,2	439,4	16010,0	14787,0
Σύνολο (N=36)	15640,8	546,5	17036,0	13887,0

Από τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης παραλείψαμε δύο φοιτητές από την «ομάδα πειραμάτων» με τα υψηλότερα μόρια εισαγωγής και δύο από την «ομάδα ελέγχου» με τα χαμηλότερα μόρια. Το εύρος των μορίων εισαγωγής των φοιτητών που είναι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης μειώθηκε από 739,4 στα 683,6 μόρια. Ο δε διαφορά στον αριθμό των φοιτητών, αποφοίτων θεωρητικής κατεύθυνσης σε κάθε ομάδα ελαττώθηκε. Η νέα κατανομή φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης παρουσιάζεται στον πίνακα 5.20.

**Πίνακας 5.20** Χαρακτηριστικές παράμετροι των τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών του ισοσταθμισμένου δείγματος μας, αποφοίτων θεωρητικής κατεύθυνσης ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου.

Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=22)	15372,8	1608,5	18563,0	11450,0
Επίδειξης (N=20)	15120,3	1139,3	16545,0	13150,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=17)	15661,6	1902,9	19837,5	10502,0
Ελέγχου (N=22)	14977,6	1747,0	17238,0	10050,0
Σύνολο (N=81)	15260,2	1607,6	19837,5	10050,0

Η σύνθεση των «ισοσταθμισμένων ομάδων» που συμμετείχαν σε κάθε διδακτική μέθοδο σε σχέση με τον αριθμό τους και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο παρουσιάζεται στον πίνακα 5.21. Ο συνολικός αριθμός του δείγματος μειώθηκε από 151 φοιτητές σε 138 ανάλογα μειώθηκε και ο αριθμός φοιτητών κάθε διδακτικής ομάδας.





όμως με την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω έχουμε την πεποίθηση ότι τα ποσοτικά μας συμπεράσματα θα είναι ασφαλέστερα.

**Πίνακας 5.21** Σύνθεση των ισοσταθμισμένων ομάδων που παρακολούθησαν κάθε διδακτική μέθοδο, σε σχέση με τον αριθμό τους και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση αποφ. από το λύκειο	Ομάδα			
	Πειραμάτων (N=36)	Επίδειξης πειραμάτων (N=34)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=31)	Ελέγχου (N=37)
	Ποσοστό % (αριθμός)			
Θετική (N=21)	13,9 (5)	14,7 (5)	16,1 (5)	15,8 (6)
Τεχνολογική (N=36)	25,0 (9)	26,5 (9)	29,0 (9)	23,7 (9)
Θεωρητική (N=81)	61,1 (22)	58,8 (20)	54,8 (17)	60,5 (22)

- Ο στατιστικός έλεγχος ισοδυναμίας μεταξύ των ισοσταθμισμένων ομάδων τόσο σε σχέση με τον αριθμό των φοιτητών που είναι απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης κατά μήκος των ομάδων, όσο και σε σχέση με τα μόρια εισαγωγής τους στο πανεπιστήμιο είναι βέβαιο ότι θα επαναβεβαιώσει την κατά μείζονα λόγω την ισοδυναμία τους. Αφού ήδη η ισοδυναμία αυτή δείχθηκε ότι ισχύει για τα πραγματικά δείγματα (φοιτητές που πήραν μέρος στην έρευνα).

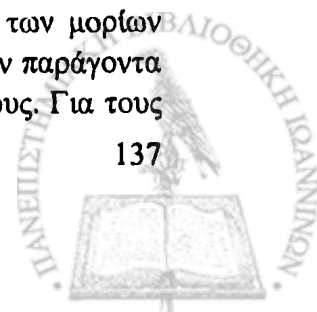
Πράγματι, η επανάληψη του στατιστικού ελέγχου σε σχέση με τον αριθμό των φοιτητών σε κάθε ομάδα ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, έδωσε με το κριτήριο  $\chi^2$  (Pearson Chi-Square) τιμή  $\chi^2 = 1,142$ . Το διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής των φοιτητών σε κάθε διδακτική ομάδα, από διαφορετικές κατευθύνσεις αποφοίτησης από το λύκειο έχει πιθανότητα να επηρεάζει τη σύνθεση των ομάδων σε ποσοστό μικρότερο του 1% ( $\chi^2 < \chi^2_{0,01}(6) = 16,81$ ).

Ο έλεγχος ισοδυναμίας των ομάδων σε σχέση με τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών στο πανεπιστήμιο ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο έδειξε ότι:

1) Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται οι φοιτητές θετικής κατεύθυνσης είναι ανομοιογενείς, η τιμή W του κριτηρίου του Levene υπολογίστηκε ίση με 11,907 ( $W > F_{1\%, 3, 17} = 5,18$ ,  $p > 0,01$ ). Το ίδιο διαπιστώθηκε και στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων.

2) Το κριτήριο του Levene έδωσε τιμές 1,785 και 0,185 για τους φοιτητές τεχνολογικής και θεωρητικής κατεύθυνσης αντίστοιχα. Οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες προέρχονται από πληθυσμούς που είναι ομοιογενείς ( $W < F_{1\%, 3, 32} = 4,46$ ,  $p < 0,01$ ) και οι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης στις τέσσερις ομάδες επίσης προέρχονται από πληθυσμούς που είναι ομοιογενείς ( $W < F_{1\%, 3, 17} = 4,04$ ,  $p < 0,01$ ).

Η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης για τη σύγκριση των μέσων τιμών των μορίων εισαγωγής των φοιτητών των τεσσάρων ανεξαρτήτων δειγμάτων ως προς τον παράγοντα κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, επαναβεβαίωσε την ισοδυναμία τους. Για τους



αποφοίτους θετικής κατεύθυνσης, στις τέσσερις ομάδες, υπολογίστηκε η τιμή  $F=0,202$ . Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο 1% ( $F < F_{1\%, 3, 17} = 5,18, p < 0,01$ ).

Για τους αποφοίτους τεχνολογικής κατεύθυνσης, στις τέσσερις ομάδες, η τιμή  $F$  υπολογίστηκε ίση με 0,932. Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο 1% ( $F < F_{1\%, 3, 32} = 5,34, p < 0,01$ ). Τέλος για τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης, στις τέσσερις ομάδες υπολογίστηκε τιμή  $F=0,668$ . Οι μέσες τιμές των μορίων δεν διαφέρουν σημαντικά ούτε σε επίπεδο 1% ( $F < F_{1\%, 3, 77} = 4,04, p < 0,01$ ).



## ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑ

## «ΒΑΣΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι»

Ακαδημαϊκό έτος 2003-04 (β' εξάμηνο)

Στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής να κυκλώσεις αυτή που αντιστοιχεί στη δική σου περίπτωση ή στην περίπτωση που εσύ εκτιμάς.

Επώνυμο: ..... Όνομα: .....

Όνομα πατέρα: ..... Έτος γέννησης: .....

Τόπος κατοικίας κατά τη φοίτηση σου στο λύκειο (πόλη - νομός): .....

Περιοχή: Αγροτική Ημιαστική Αστική

Επάγγελμα πατέρα:.....

Σπουδές πατέρα: Δημοτικό Γυμνάσιο Λύκειο ΤΕΙ ΑΕΙ Μεταπ/κό  
Διδακτορικό.....

Επάγγελμα μητέρας: .....

Σπουδές μητέρας: Δημοτικό Γυμνάσιο Λύκειο ΤΕΙ ΑΕΙ Μεταπ/κό Διδακτορικό

Μόρια εισαγωγής από τις Πανελλαδικές Εξετάσεις: .....

Το τμήμα που φοιτάς ήταν: στην ομάδα των σχολών πρώτης, δεύτερης, τρίτης, τέταρτης, πέμπτης προτίμησης

Τι τύπο Λυκείου που τελείωσες: Ενιαίο Τ.Ε.Ε, Άλλο τύπο λυκείου, ποιο;  
.....

Τι κατεύθυνση τελείωσες στο λύκειο: Θεωρητική Τεχνολογική Θετική

Το ενδιαφέρον σου για τις φυσικές επιστήμες ήταν μεγαλύτερο:

στο Δημοτικό στο Γυμνάσιο στο Λύκειο

Τα φυσικά μαθήματα πιστεύεις ότι θα σου είναι χρήσιμα όταν θα εργαστείς ως δάσκαλος / δασκάλα;

Πάρα πολύ πολύ μέτρια λίγο ελάχιστα

## Στατιστική μεθοδολογία - Ανάλυση διακύμανσης ή διασποράς (ANOVA)

### 5.8 Σύγκριση μέσων τιμών πολλών δειγμάτων ανεξάρτητων πολυπαραγοντικών

Τα αριθμητικά δεδομένα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, αφορούν τις επιδόσεις των φοιτητών του δείγματός μας στα θέματα που τους τέθηκαν, μετά τις δύο διδακτικές παρεμβάσεις. Οι αριθμητικές επιδόσεις σε κάθε ένα από τα επτά θέματα που τέθηκαν, για κάθε ομάδα κατ' αρχήν περιγράφονται και συνοψίζονται, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία της περιγραφικής στατιστικής. Επιπλέον, η επίδοση και των τεσσάρων ομάδων σε κάθε θέμα συνοψίζεται εικονικά σε ένα διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού» και σε ένα διάγραμμα που δείχνει τις θέσεις των μέσων τιμών και το εύρος των επιδόσεων σε μια περιοχή με μια τυπική απόκλιση πάνω και κάτω από τη μέση τιμή. Το πρώτο διάγραμμα προβάλλει κυρίως τις κεντρικές τάσεις των επιδόσεων και το δεύτερο τις τάσεις διασποράς.

Σε κάποιες περιπτώσεις για την αξιολόγηση της διαφοράς ποσοστιαίων αναλογιών μεταξύ των ομάδων, όπου η κάθε ομάδα έχει περισσότερες των δύο κατηγορίες, εφαρμόσαμε το στατιστικό δείκτη  $\chi^2$  (Chi-square) (Cohen & Holliday, 1982, p. 132-134 και p. 278-279, Salkind, 2000).

Για τη στατιστική σύγκριση της διαφοράς των μέσων τιμών δύο δειγμάτων στη διατριβή μεταπτυχιακής ειδίκευσης εφαρμόσαμε κυρίως το τεστ t (Καμπουράκης, 2001, Μ. Δ. Ε., κεφ. 4, σ. 81-86). Στην περίπτωση που έχουμε την εξέταση της στατιστικής σημαντικότητας της διαφοράς των μέσων τιμών επίδοσης περισσότερων των δύο δειγμάτων, όπως στην παρούσα έρευνα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τους αντίστοιχους πληθυσμούς εφαρμόσαμε τη μέθοδο διακύμανσης ή διασποράς (ANOVA). Τη σχετική θεωρία της στατιστικής αυτής μεθόδου περιγράφουμε εν συντομία παρακάτω.

Η ανάλυση διακύμανσης ή διασποράς είναι μια μέθοδος της επαγωγικής στατιστικής για την εκτίμηση των διαφορών μεταξύ δύο ή περισσότερων πληθυσμών που προέρχονται από αντίστοιχα δείγματα. Στην περίπτωση στατιστικών επαγωγών της μέσης τιμής πολλών δειγμάτων, οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών όλων των δυνατών συνδυασμών των δειγμάτων αξιολογούνται στατιστικώς, αρχικά κατά τρόπο συνολικό και ενιαίο, για να καθοριστεί κατά πόσο τα δείγματα αυτά προέρχονται όλα από τον ίδιο πληθυσμό ή κατά πόσο όλα τα δείγματα δεν προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό. Μερικά από τα εξεταζόμενα δείγματα (ίσως και μόνο ένα) να προέρχεται από πληθυσμό με διαφορετική μέση τιμή. Αν αποδειχθεί ότι τα δείγματα δεν προέρχονται όλα από τον ίδιο πληθυσμό, κάθε διαφορά μεταξύ δύο δειγμάτων, σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς τους, αξιολογείται στατιστικώς, σε μια δεύτερη φάση, για να καθοριστεί ποια συγκεκριμένα δείγματα προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς.

Οι περιπτώσεις σύγκρισης των μέσων τιμών πολλών δειγμάτων διαφοροποιούνται κυρίως σε δύο σημεία.



A) Ως προς την ύπαρξη ή μη συνάφειας μεταξύ των δειγμάτων, οπότε έχουμε ανεξάρτητα και εξαρτημένα. Στα ανεξάρτητα δείγματα όλα τα υποκείμενα σε κάθε δείγμα έχουν ληφθεί τυχαία και δεν υπάρχει καμία συνάφεια ανάμεσα στις ομάδες που λαμβάνονται οι μετρήσεις. Αντίθετα, στα εξαρτημένα δείγματα, τα υποκείμενα έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο, ώστε για κάθε υποκείμενο του ενός δείγματος να υπάρχει ένα άλλο σε όλα τα άλλα δείγματα, το οποίο να έχει εξισωθεί ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά.

B) Έχουμε διαφοροποίηση ανάλογα με τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών (παραγόντων-factors), με βάση τις οποίες ορίζονται τα δείγματα που χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό πρόβλημα. Έτσι, έχουμε τις περιπτώσεις που τα δείγματα είναι μονοπαραγοντικά (univariate), τα υποκείμενα τους διαφοροποιούνται με βάση μια μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή και τις περιπτώσεις που είναι πολυπαραγοντικά (multivariate), τα υποκείμενα τους διαφοροποιούνται με βάση περισσότερες της μιας μεταβλητές.

Το στατιστικό τεστ για την ανάλυση της διασποράς διαφέρει από το τεστ t. Με το τεστ t συγκρίνουμε τη διαφορά των μέσων τιμών δύο πληθυσμών, ενώ για περισσότερους πληθυσμούς χρησιμοποιούμε την ανάλυση διακύμανσης. Η ανάλυση διακύμανσης παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στον ερευνητικό σχεδιασμό και στην ερμηνεία αποτελεσμάτων. Στο τεστ t υπολογίζουμε το λόγο:

**Διαφορά μεταξύ των δειγματικών μέσων τιμών / Αναμενόμενες διαφορές (σφάλμα)**

ενώ για την ανάλυση διασποράς υπολογίζεται ο λόγος F, που ισούται:

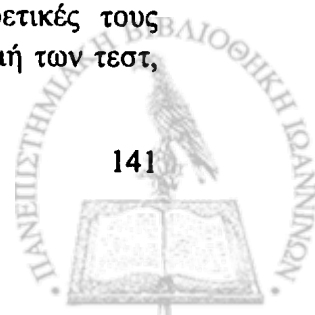
**Διακύμανση μεταξύ δειγματικών μέσων τιμών / Αναμενόμενη διακύμανση (σφάλμα) ή διακύμανση εντός των δειγμάτων.**

Και στις δύο περιπτώσεις ο αριθμητής του λόγου μετρά την πραγματική διαφορά που προκύπτει από τα δειγματικά δεδομένα και ο παρονομαστής μετρά τη διαφορά που αναμένεται κατά τύχη. Μια μεγάλη τιμή του στατιστικού t είτε του λόγου F παρέχει ενδείξεις ότι η διαφορά των δειγματικών μέσων τιμών δεν οφείλεται στην τυχαία διακύμανση των τιμών του δείγματος.

Σύμφωνα με το τεστ t θα μπορούσαμε να συγκρίνουμε τις μέσες τιμές πολλών ομάδων ανά δύο. Αυτή η διαδικασία είναι κοπιαστική. Όταν έχουμε να συγκρίνουμε τέσσερα δείγματα, οι συγκρίσεις ανά δύο είναι έξι. Για πέντε δείγματα οι συγκρίσεις είναι δέκα. Το πιο σημαντικό όμως μειονέκτημα των συγκρίσεων ανά δύο είναι ότι η πιθανότητα να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση (οι μέσες επιδόσεις όλων των δειγμάτων είναι ίσες) αυξάνει με την αύξηση των συγκρίσεων. Αν έχουμε π.χ. πέντε δείγματα το συνολικό σφάλμα θα καταλήξει περίπου σε 40%, αν κάθε δυαδική σύγκριση γίνεται σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (Ρετινιώτης, 2004, σ. 271).

Η ανάλυση διακύμανσης εξετάζει τις διαφορές στις μέσες τιμές των δειγμάτων που μπορεί να οφείλονται:

A) Στη μεταβλητότητα μεταξύ των δειγμάτων (between groups) που αυτή με τη σειρά τους μπορεί να οφείλεται: α) στην επίδραση ενός συστηματικού παράγοντα, π.χ. στη διδακτική μέθοδο β) στα υποκείμενα αυτά καθ'αυτά, π.χ. στις διαφορετικές τους ικανότητες, διαθέσεις, υποδομή γ) στην ερευνητική διαδικασία, π.χ. στη δομή των τεστ, στην υπερ-εκτίμηση ή υπο-εκτίμηση των βαθμολογιών κ.ά.



B) Στη μεταβλητότητα μέσα σε κάθε δείγμα (within groups). Αυτή μπορεί να οφείλεται στη μεταβλητότητα των τιμών μέσα σε κάθε δείγμα που και αυτή με τη σειρά της να οφείλεται: α) στις ατομικές διαφορές μεταξύ των υποκειμένων β) στο σφάλμα που υπεισέρχεται λόγω των διαφόρων φάσεων της ερευνητικής διαδικασίας και του τρόπου αξιολόγησης κάθε μιας.

### 5.9 Έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς πολλών πληθυσμών

Πριν προχωρήσουμε στη διατύπωση των υποθέσεων, θα πρέπει οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα α) να ακολουθούν την κανονική κατανομή και β) να έχουν την ίδια διακύμανση (variance)  $\sigma^2$  (η ποσότητα  $\sigma^2$  ισούται με τη μέση τιμή των τετραγώνων των αποκλίσεων των επιμέρους τιμών της μεταβλητής από τη μέση τιμή της και χαρακτηρίζει καλύτερα από κάθε άλλη παράμετρο τη διασπορά των τιμών της μεταβλητής περί τη μέση τιμή της).

Για τον έλεγχο της ισοδυναμίας της διακύμανσης μεταξύ των δειγμάτων έχουν προταθεί διάφορες στατιστικές μέθοδοι, όπου συγκρίνονται οι τυπικές αποκλίσεις όλων των ομάδων συγχρόνως. Το τεστ του Levene χρησιμοποιείται για να εξετάσουμε αν  $k$  δείγματα έχουν ισοδυναμία στη διακύμανση. Η ισοδυναμία διακύμανσης στα δείγματα ονομάζεται και ομοιογένεια της διακύμανσης (homogeneity of variance). Η ανάλυση διακύμανσης προϋποθέτει ότι οι διακυμάνσεις είναι ίσες κατά μήκος των ομάδων ή των δειγμάτων.

Εκτός από το τεστ του Levene χρησιμοποιείται εναλλακτικά και το τεστ του Bartlett. Όμως το τεστ του Levene είναι λιγότερο ευαίσθητο από το τεστ του Bartlett για αποκλίσεις των δειγμάτων από την κανονικότητα. Αν έχουμε ισχυρή απόδειξη ότι τα δεδομένα πράγματι ακολουθούν την κανονική κατανομή ή είναι πολύ κοντά στην κανονική, τότε το τεστ του Bartlett έχει πάρα πολύ καλή επίδοση. Για τον έλεγχο της ομοιογένειας των δικών μας μετρήσεων εφαρμόσαμε το τεστ του Levene

Έστω ότι μια μεταβλητή  $x$  σε δείγμα μεγέθους  $N$  (το πλήθος των μετρήσεων σε όλες τις ομάδες) που είναι χωρισμένο σε  $k$  ομάδες (δείγματα), και  $N_i$  είναι το μέγεθος του δείγματος σε κάθε μια από τις  $k$  ομάδες. Το τεστ Levene απορρίπτει την μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ), ότι οι διακυμάνσεις είναι ίσες  $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k$ , και δέχεται την εναλλακτική, ότι τουλάχιστον δύο διακυμάνσεις διαφέρουν,  $\sigma_i \neq \sigma_j$ , όταν ο δείκτης  $W$  στο τεστ του Levene έχει τιμή μεγαλύτερη της τιμής της κατανομής  $F$  των Snedecor-Fischer με βαθμούς ελευθερίας  $k-1$  για τον αριθμητή και  $N-k$  για τον παρονομαστή, για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  % ( $W > F(\alpha, k-1, N-k)$ ,  $p > 0,0\alpha$ ). Όταν εξασφαλιστεί η ομοιογένεια μεταξύ των πληθυσμών των δειγμάτων, τότε μπορούμε να εξετάσουμε αν διαφορές οφείλονται στις μέσες τιμές. Διαφορετικά οι διαφορές μπορεί να οφείλονται είτε στις μέσες τιμές, είτε στις τυπικές αποκλίσεις, είτε και στα δύο.

Εναλλακτικά για τον έλεγχο της ομοιογένειας υπολογίζουμε τη διακύμανση για κάθε δείγμα και στη συνέχεια σχηματίζουμε το λόγο  $F_{\max}$ , όπου  $F_{\max} = H$  μεγαλύτερη τιμή διακύμανσης από όλα τα δείγματα / μικρότερη τιμή διακύμανσης από όλα τα δείγματα. Η τιμή που προκύπτει συγκρίνεται με την αντίστοιχη κρίσιμη τιμή της



κατανομής  $F$  για να προσδιοριστεί η σημαντικότητα της  $F_{\max}$ . Αν η αποκτηθείσα τιμή  $F_{\max}$  είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή της  $F$  (με  $N_i - 1$  στον αριθμητή και  $N_j - 1$  στον παρονομαστή και για επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha\%$ ), αποδεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις διακυμάνσεις των ομάδων μας

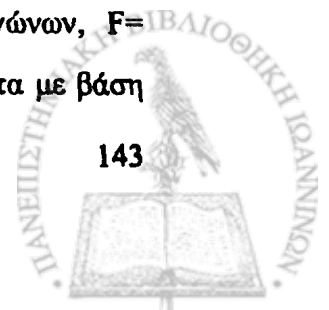
Στις περιπτώσεις που η τιμή της  $F_{\max}$  με τις δύο ακραίες τιμές διακυμάνσεων είναι στατιστικώς σημαντική, δεν είναι βέβαιο ότι, αν εφαρμόζαμε ένα στατιστικό κριτήριο ταυτόχρονης-ενιαίας σύγκρισης όλων των ομάδων (όπως είναι το κριτήριο του Levene ή του Bartlett), θα βρίσκαμε σημαντικές διαφορές. «Γενικώς, στις συνήθεις πειραματικές συνθήκες, όπου τα υποκείμενα λαμβάνονται με τυχαία δειγματοληψία, υπάρχει ομοιογένεια στους πληθυσμούς. Μόνο σε ελάχιστες, ακραίες περιπτώσεις, συμβαίνει το αντίθετο. Αλλά και στις περιπτώσεις που θα βρεθούν σημαντικές διαφορές στις διακυμάνσεις, έχει αποδειχθεί ότι μια ανομοιογένεια στη διασπορά των ομάδων ελάχιστα επηρεάζει την τιμή  $F$  της ανάλυσης διακύμανσης. Το κριτήριο  $F$ , θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι «σκληροτράχηλο» στατιστικό κριτήριο (η τιμή θέλουμε να εκφράζει μόνο τις υπάρχουσες διαφορές στις μέσες τιμές) και η τιμή του δεν διαφοροποιείται κάτω από τέτοιες μικρές παραμετρικές παρεκκλίσεις» (Παρασκευόπουλος, 1993, σ. 179, ανάλογη παρατήρηση γίνεται και από τους Cohen & Holliday, 1982, p. 260).

### 5.10 Ανάλυση διακύμανσης

Αν εξασφαλιστεί η ομοιογένεια των πληθυσμών μεταξύ των δειγμάτων προχωρούμε στη συνεξέταση των μέσων τιμών όλων των δειγμάτων. Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) θεωρεί ότι οι μέσες τιμές των δειγμάτων (ομάδων) είναι ίσες και η εναλλακτική ( $H_1$ ) ότι τουλάχιστον δύο μέσες τιμές διαφέρουν μεταξύ τους. Αν η τιμή του λόγου  $F$  είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής της κατανομής  $F$ , για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας  $\alpha\%$  και για βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή  $k-1$ , και για  $N-k$  στο παρονομαστή, όπου  $k$  ο αριθμός των ομάδων και  $N$  το σύνολο των υποκειμένων σε όλα τα δείγματα, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και γίνεται δεκτή η εναλλακτική.

Για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης το υπολογιστικό μέρος στηρίζεται στο γεγονός ότι το άθροισμα των τετραγώνων, των αποκλίσεων των τιμών όλων των ομάδων μαζί από τον μέσο όρο τους, το λεγόμενο ολικό άθροισμα τετραγώνων (total sum of squares—TSS), χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο ένα μέρος έχουμε το άθροισμα των τετραγώνων που δίνει τη διασπορά μέσα σε κάθε μια ομάδα χωριστά, το λεγόμενο άθροισμα τετραγώνων εντός των ομάδων (sum of squares with groups—SSW), στο άλλο άθροισμα τετραγώνων έχουμε τη διασπορά μεταξύ των μέσων τιμών των διαφόρων ομάδων, το λεγόμενο άθροισμα μεταξύ των ομάδων (Sum of squares between groups —SSB). Από τα δύο τελευταία αθροίσματα υπολογίζουμε δύο ανεξάρτητες εκτιμήσεις της διακύμανσης  $\sigma^2$  του πληθυσμού. Καθένα από τα αθροίσματα αυτά το διαιρούμε με τον αντίστοιχο βαθμό ελευθερίας, οπότε βρίσκουμε το λεγόμενο μέσο τετράγωνο μεταξύ των ομάδων και το λεγόμενο μέσο τετράγωνο εντός των ομάδων αντίστοιχα. Τέλος, βρίσκουμε το πηλίκο της διαίρεσης των δύο παραπάνω μέσων τετραγώνων,  $F =$

$$\frac{SSB/(k-1)}{SSW/(N-k)}$$
. Το πηλίκο αυτό το αξιολογούμε για στατιστική σημαντικότητα με βάση



τις κρίσιμες τιμές της κατανομής F (Sheskin, 1997). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 5. 18.

**Πίνακας 5.22** Υπολογιστικές διαδικασίες στην ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

Πηγή μεταβολής	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέση μεταβολή
Μεταξύ των δειγμάτων	SSB	k-1	SSB / k-1
Εντός των δειγμάτων	SSW	N-k	SSW / N-k
Συνολική διακύμανση	TSS	N-1	TSS / N-1

### 5.11 Πολλαπλές συγκρίσεις μέσων τιμών

Η στατιστικώς σημαντική τιμή του F (σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  %) μεταξύ των δειγμάτων, συνεξεταζομένων ταυτόχρονα, δείχνει ότι οι μέσες τιμές δεν είναι ίσες, χωρίς να καθορίζει ποια ζεύγη διαφέρουν συστηματικά μεταξύ τους. Όμως τουλάχιστον δύο ζεύγη δειγμάτων θα διαφέρουν σημαντικά.

Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται για τις πολλαπλές συγκρίσεις των ζευγών ανά δύο. Η μέθοδος ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least Significant Difference - L.S.D.) και η μέθοδος Tukey είναι οι πιο εύχρηστες για πολλαπλές συγκρίσεις. Η μέθοδος του Scheffe είναι μια γενική μέθοδος σύγκρισης των μέσων τιμών των πληθυσμών και δεν συνιστάται για πολλαπλές συγκρίσεις.

Η μέθοδος L.S.D. είναι σχετικά απλή, έχει όμως το μειονέκτημα ότι υπάρχει πιθανότητα να κάνουμε λάθος σε ένα τουλάχιστον από τα ζεύγη που συγκρίνουμε. Η μέθοδος Tukey είναι πιο φειδωλή, δηλαδή εμφανίζει λιγότερες σημαντικές διαφορές στα ζεύγη των μέσων τιμών από την μέθοδο L.S.D. Η βασική αρχή της μεθόδου Tukey είναι ότι η πιθανότητα για να διαπιστώσει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ οποιωνδήποτε ζευγών μέσων τιμών αυτή θα πρέπει είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας που διαλέξαμε. Υπάρχει ένας σημαντικός περιορισμός στην εφαρμογή της μεθόδου Tukey, ότι όλα τα δείγματα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό παρατηρήσεων. Αν τα μεγέθη των δειγμάτων δεν διαφέρουν πάρα πολύ, θεωρούμε ότι το κοινό μέγεθος του δείγματος δίνεται από το μέσο αρμονικό μεγέθους των δειγμάτων, που ορίζεται από τον αριθμό των δειγμάτων προς το άθροισμα των αντίστροφων αριθμών του πλήθους κάθε δείγματος.

Στη δική μας έρευνα για τις δυαδικές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων εφαρμόζουμε κατ'αρχήν τη μέθοδο Tukey και αν αυτή δεν δίνει στατιστικά σημαντικές διαφορές τότε εφαρμόζουμε τη λιγότερο αυστηρή μέθοδο L.S.D. (Παρασκευόπουλος, 1993, σ. 163-245, Καραγεώργος, 2002, σ. 257-267, Cohen & Holliday, 1982, pp. 257-266 και Ρετινώτης, 2004, σ. 267-284).





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ «Α»

#### 6.1 Γενικά για την ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε

Μετά την επεξεργασία του ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν οι φοιτητές του δείγματός μας, προχωρήσαμε στην κυρίως έρευνα. Με βάση το σχεδιασμό της έρευνας, ακολουθήθηκαν τρεις διδακτικές παρεμβάσεις. Στην πρώτη παρέμβαση (Παρέμβαση Α) έγινε διδασκαλία θεμελιωδών εννοιών της αέριας κατάστασης με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης στο σύνολο των φοιτητών του δείγματος στο αμφιθέατρο του Π.Τ.Π.Ε. Για τη δεύτερη παρέμβαση (Παρέμβαση Β) το συνολικό δείγμα κατ'αρχήν το είχαμε χωρίσει σε τρεις μεγάλες ομάδες, την «ομάδα πειραμάτων», την «ομάδα επίδειξης πειραμάτων» και την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας». Η κάθε ομάδα περιελάμβανε γύρω στους 50 φοιτητές. Οι ομάδες αυτές ανακοινώθηκαν στους φοιτητές στο τέλος της διδακτικής παρέμβασης Α. Αναμενόταν δε ότι ένας αριθμός φοιτητών δεν θα προσήρχετο να συμμετάσχει σε κάποια από τις παραπάνω ομάδες, καθόσον η παρακολούθηση των μαθημάτων δεν είναι υποχρεωτική. Τελικά η σύνθεση των φοιτητών που συμμετείχε σε κάθε μια από τρεις παραπάνω ομάδες διαμορφώθηκε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 5, Πίνακας 5.9. Στην τελική διαμόρφωση των ομάδων λάβαμε υπόψη μας τα στοιχεία που διαθέταμε για κάθε φοιτητή, όπως κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, μόρια εισαγωγής του στο πανεπιστήμιο, ώστε οι ομάδες να είναι όσο το δυνατό πιο ισοδύναμες. Οι φοιτητές που δεν συμμετείχαν σε κάποια ομάδα της παρέμβασης Β, αλλά παρακολούθησαν την παρέμβαση Α και πήραν μέρος στη γραπτή εξέταση (Παρέμβαση Γ) αποτέλεσαν την τέταρτη ομάδα, την «ομάδα ελέγχου». Σε κάθε ομάδα, οι φοιτητές διδάχθηκαν τα ίδια θέματα-προβλήματα αλλά με διαφορετική διδακτική μεθοδολογία.

Στην πρώτη ομάδα (ομάδα πειραμάτων), τους φοιτητές που πήραν μέρος τους χωρίσαμε περαιτέρω σε έξι μικρότερες ομάδες και σε κάθε ομάδα δόθηκε η εκφώνηση ενός προβλήματος. Από τους φοιτητές κάθε ομάδας ζητήθηκε να συνεργαστούν και να επινοήσουν ένα πείραμα με τη βοήθεια του οποίου να δίνουν απάντηση στο πρόβλημα που τους τέθηκε. Στη συνέχεια η κάθε ομάδα παρουσίασε τη λύση της στις άλλες ομάδες. Η όλη διδασκαλία έγινε στο Εργαστήριο Φυσικοχημείας του Τμήματος Χημείας. Η δεύτερη ομάδα (ομάδα επίδειξης πειραμάτων), επίσης την χωρίσαμε σε έξι ομάδες, και σε



κάθε ομάδα δόθηκε ένα από τα προβλήματα που δόθηκαν στις επιμέρους ομάδες της «ομάδας πειραμάτων». Το κάθε πρόβλημα λύθηκε από μια ομάδα φοιτητών με τη βοήθεια καθοδηγούμενου διαλόγου από το διδάσκοντα μπροστά στις υπόλοιπες ομάδες με τη χρήση πειραμάτων επίδειξης. Στην τρίτη ομάδα (ομάδα συμβατικής διδασκαλίας), οι φοιτητές επίσης του χωρίσαμε σε έξι ομάδες και η κάθε ομάδα έλυσε με τη βοήθεια καθοδηγούμενου διαλόγου από το διδάσκοντα μπροστά στις υπόλοιπες ομάδες από ένα πρόβλημα, χωρίς όμως τη χρήση πειραματικών διατάξεων αλλά με «κιμωλία και πίνακα». Η όλη διδασκαλία της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» έγινε στο αμφιθέατρο του Π.Τ.Π.Ε. Αναλυτικά στοιχεία για την οργάνωση της διαδικασίας και τη διδακτική μέθοδο που ακολουθήθηκε περιγράφονται στο κεφάλαιο 7 (Το περιεχόμενο και η διδακτική μέθοδος της παρέμβασης Β). Τέλος στην τρίτη παρέμβαση (παρέμβαση Γ) οι φοιτητές εξετάστηκαν γραπτώς σε ερωτήσεις και σε προβλήματα που αφορούσαν την αέρια κατάσταση και ήταν σχετικά με όσα διδάχθηκαν στις παρεμβάσεις Α και Β, στο πλαίσιο των εξετάσεων του εξαμήνου στο μάθημα Βασική Φυσική Ι.

Η όλη ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε, με τις τρεις διδακτικές παρεμβάσεις, το διδακτικό αντικείμενο, ο χρόνος που διατέθηκε, το διδακτικό μοντέλο που ακολουθήθηκε, η οργάνωση της διδασκαλίας σε κάθε παρέμβαση και ο αριθμός των φοιτητών που πήραν μέρος σε κάθε παρέμβαση, περιγράφονται συνοπτικά στο Διάγραμμα 6.1.

## 6.2 Εφαρμογή του διαλεκτικού μοντέλου στη Διδακτική Παρέμβαση «Α»

Στην παρέμβαση Α, όπως ήδη αναφέραμε πήρε μέρος το σύνολο του δείγματος (N=151). Η διδασκαλία έγινε στο αμφιθέατρο του Π.Τ.Π.Ε. και είχε διάρκεια 120 min. Σκοπός της παρέμβασης ήταν η υπενθύμιση και η βελτίωση της κατανόησης θεμελιωδών εννοιών που χαρακτηρίζουν την αέρια κατάσταση. Οι περισσότερες έννοιες στις οποίες αναφερθήκαμε είναι βασικές και οι σπουδαστές έρχονται σε επαφή μ' αυτές από τις τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου. Επίσης το αναλυτικό πρόγραμμα των μαθημάτων φυσικής και χημείας στην β' και γ' γυμνασίου τις επαναλαμβάνει, στη συνέχεια αυτές θεωρούνται γνωστές και αποτελούν το γνωστικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η διδασκαλία πιο προχωρημένων εννοιών στο λύκειο.

Από την προέρευνα που προηγήθηκε (βλέπε Παράρτημα ΙΙΙ), την εμπειρία που αποκομίσαμε κατά την έρευνα που περιγράφεται στο Μ.Δ.Ε (Καμπουράκης, 2001, Μ.Δ.Ε), πολλές θεμελιώδεις έννοιες σχετικές με την αέρια κατάσταση δεν έχουν κατανοηθεί από μεγάλο ποσοστό μαθητών και αυτή η αδυναμία λειτουργεί καταστρεπτικά σε κάποιο σημείο της πορείας λύσης σχετικών προβλημάτων. Επιπλέον το 56,3% των φοιτητών του δείγματος μας προέρχονται από θεωρητική κατεύθυνση, γεγονός που συνεπάγεται μια ασθενή εννοιολογική υποδομή σε έννοιες της αέριας κατάστασης που είναι πράγματι αφηρημένες.

Στη δική μας περίπτωση ως εποπτικό υλικό χρησιμοποιήσαμε πειράματα επίδειξης, που εκτελούσε ο διδάσκων με μια ομάδα φοιτητών που κάθε φορά καλούσε



από το ακροατήριο. Συγκεκριμένα κατά την παρέμβαση Α, προκειμένου να διδαχθούν βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης, παρουσιάστηκαν επτά πειράματα και με βάση τις παρατηρήσεις σ' αυτά ξεκινούσε ένας διάλογος μεταξύ του διδάσκοντα και των μελών της κάθε ομάδας, που είχε σκοπό να φωτίσει έννοιες, να γίνουν ποιοτικές συσχετίσεις μεγεθών που υπεισέρχονταν σε κάθε πείραμα, να αναζητηθούν αίτια, να διατυπωθούν υποθέσεις για τη μικροσκοπική δομή της ύλης κ.ά.

Με την επίδειξη πειραμάτων (αρχή της εποπτείας) στην αρχή κάθε θέματος, που διδάξαμε, επιδιώκεται η παρουσίαση του θέματος όχι μόνο με το λόγο αλλά με θέαση πραγματικών παραστάσεων, ώστε ο μαθητής να αντιλαμβάνεται το ίδιο το φαινόμενο και όχι μόνο γλωσσικές περιγραφές γι' αυτό. Επιπλέον το πείραμα στόχευε να δημιουργήσει κίνητρο για να ξεκινήσει ο προβληματισμός που είναι αναγκαίος για τη διαλογική-διαλεκτική διαπραγμάτευση του θέματος που θα συζητηθεί.

Για την επίδειξη και τη συζήτηση κάθε πειράματος ο διδάσκων και η ομάδα των φοιτητών στέκονταν πίσω από τον πάγκο, ώστε να κοιτάζουν προς το αμφιθέατρο και οι υπόλοιποι φοιτητές να μπορούν να παρακολουθούν τα πειράματα και τη συζήτηση του διδάσκοντα με την ομάδα των φοιτητών. Οι υπόλοιποι φοιτητές παρακολουθούσαν και κρατούσαν σημειώσεις. Σε αρκετές δε περιπτώσεις, όταν η συζήτηση του διδάσκοντος με την ομάδα συναντούσε δυσκολίες, φοιτητές από κάτω που ζητούσαν το λόγο παρενέβαιναν και συνεισέφεραν στο διάλογο.

Κάθε ομάδα είχε από πριν συγκροτηθεί με βάση τα στοιχεία του ερωτηματολογίου που είχαν συμπληρώσει οι φοιτητές σε προηγούμενα μαθήματα. Για τη συγκρότηση των ομάδων, το σύνολο των φοιτητών χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες ανάλογα με την κατεύθυνση αποφοίτησης τους από το λύκειο. Οι φοιτητές κάθε ομάδας μπήκαν κατ' απόλυτη αλφαβητική σειρά, αριθμήθηκαν και από κάθε ομάδα επελέγησαν με το πρόγραμμα RAND (Microsoft Excel) 7 φοιτητές από τη θετική, 14 από την τεχνολογική και 28 από τη θεωρητική. Οι φοιτητές αυτοί αποτέλεσαν 7 ομάδες, με 7 άτομα η κάθε μια, μια για κάθε θέμα που διαπραγματευτήκαμε. Έτσι σε κάθε ομάδα υπήρχε ένας φοιτητής από τη θετική, δύο από την τεχνολογική και τέσσερις από την θεωρητική. Επιπλέον φροντίσαμε σε κάθε ομάδα να υπάρχει και τουλάχιστον ένα αγόρι. (λόγω της μεγάλης πλειονότητας των κοριτσιών, από τους 151 φοιτητές που πήραν μέρος στην παρέμβαση Α, το 81,5% ήταν κορίτσια).

Με τη διαδικασία αυτή πήρε ενεργά μέρος στη συζήτηση, κατά τη διάρκεια των 120 min, το 1/3 περίπου των φοιτητών και ένας μικρότερος αριθμός φοιτητών που δεν ήταν στις ομάδες αλλά παρενέβαινε από το αμφιθέατρο και ζητούσε διευκρινίσεις ή έκανε σύντομες συμπληρωματικές τοποθετήσεις.

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τις επιδείξεις των πειραμάτων ήταν γνωστά στους φοιτητές. Καταβλήθηκε δε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν αντικείμενα (πλαστική φιάλη αναψυκτικού, σύριγγα, μανόμετρο σχήματος U με νερό κ.ά.) που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή, ώστε η προσοχή των φοιτητών να εστιάζεται στο αντικείμενο που θέλουμε να διδάξουμε και όχι στις συσκευές.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Ημερομηνία	Διδακτικό αντικείμενο	Χρόνος	Διδακτικό Μοντέλο	Οργάνωση της διαδικασίας	Ομάδα / Αριθμός φοιτητών
21 & 28 /4/ 04	Συμπλήρωση ερωτηματολογίου από τους φοιτητές του δείγματος για τη βέλτιστη διαχείριση του στην ερευνητική διαδικασία				
4/5/04	Διασκαλία θεμελιωδών εννοιών στην αέρια κατάσταση	120 min	Διαλεκτικό με τη βοήθεια επτά πειραμάτων επίδειξης	Κάθε θέμα διαπραγματεύτηκε από μια ομάδα φοιτητών με καθοδηγούμενο διάλογο από το διδάσκοντα ενώπιον των υπολοίπων φοιτητών	Όλες οι ομάδες, το σύνολο του δείγματος (N=151)
11/5/04	Παρέμβαση A Επίλυση έξι προβλημάτων σχετικών με την αέρια κατάσταση	120 min	Διαλεκτικό με τη βοήθεια έξι πειραμάτων επίδειξης	Κάθε πρόβλημα λύθηκε από μια ομάδα φοιτητών με καθοδηγούμενο διάλογο από το διδάσκοντα ενώπιον των υπολοίπων ομάδων	Ομάδα E (N=37) (ΕΠΙΛΕΞΙΜΗ) Η ομάδα χωρίστηκε σε έξι υποομάδες
18/5/04	Παρέμβαση B Επίλυση των ίδιων έξι προβλημάτων σχετικών με την αέρια κατάσταση	120 min	Διερευνητικό ή ανακαλυπτικό	Ομαδοσυνεργατική Από κάθε ομάδα φοιτητών ζητήθηκε να επινοήσουν στο εργαστήριο μια πειραματική διάταξη που να δίνει απάντηση σε ένα πρόβλημα που της τέθηκε	Ομάδα Π (N=43) (ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ) Η ομάδα χωρίστηκε σε έξι υποομάδες

25/5/04	Επλυση των ιδίων έξι προβλημάτων σχετικών με την αέρια κατάσταση	120 min	Διαλεκτικό (χωρίς τη βοήθεια πειραματικών διατάξεων)	Κάθε πρόβλημα λύθηκε από μια ομάδα φοιτητών στον πίνακα με καθοδηγούμενο διάλογο από το διδάσκοντα ενώπιον των υπολοίπων ομάδων	Ομάδα Σ (N=32) (ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ) Η ομάδα χωρίστηκε σε έξι υποομάδες
17/6/04	Τέθηκαν για εξέταση εννιά θέματα εκ των οποίων τα επτά αφορούσαν την έρευνα	180 min	Παρέμβαση Γ	Γραπτή εξέταση στο μάθημα β' εξαμήνου «Βασική Φυσική Ι». Τέθηκαν τέσσερις ερωτήσεις και οι τρεις ασκήσεις που αναφέρονταν στην αέρια κατάσταση	Εκ των 151 γραπτών τα 112 προέρχονταν από τους φοιτητές που συμμετείχαν στις παρεμβάσεις Α, Β. Οι υπόλοιποι 39 φοιτητές συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α
					Ομάδα ΕΛ. (ΕΛΕΓΧΟΥ) (N=39) (Συμμετείχε μόνο στην παρέμβαση Α και Γ)

### 6.3 Τα θέματα που διδάχτηκαν κατά την παρέμβαση «Α»

**Από την υγρή στην αέρια κατάσταση**

**Πείραμα 1.** Εξαέρωση ακετόνης – Ο ρόλος της θερμότητας

**Από τη στερεά στην αέρια κατάσταση**

**Πείραμα 2.** Εξάχνωση ιωδίου – Ο ρόλος της θερμότητας

**Τα αέρια είναι εκτατά και διαχέονται**

**Πείραμα 3.** Εξαέρωση αιθέρα σε συνθήκες δωματίου

**Τα αέρια είναι συμπιεστά και ελαστικά**

**Πείραμα 4.** Ο όγκος του αέρα σε μια σύριγγα μπορεί να περιορίζεται αλλά και να επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα

**Τα αέρια διαστέλλονται και συστέλλονται**

**Πείραμα 5.** Θέρμανση / ψύξη αέρα σε φιάλη που συνδέεται με μανόμετρο

**Αισθητοποίηση της ύπαρξης της ατμοσφαιρικής πίεσης**

**Πείραμα 6.** Γιατί δεν χύνεται το νερό σ'ένα ανεστραμμένο ποτήρι που καλύπτεται με χαρτόνι

**Προσομοίωση της κίνησης μορίων αερίου (Χρησιμοποίηση της συσκευής, Kinetic theory model-vibrating ball type)**

**Πείραμα 7.** Τα μόρια αερίου εκτελούν τυχαία κίνηση. Η μέση ταχύτητα των μορίων αερίου αυξάνεται με την προσφορά θερμότητας σ'αυτό.

Στα δύο πρώτα πειράματα παρουσιάζεται η αέρια κατάσταση ως αποτέλεσμα της εξαέρωσης υγρού και της εξάχνωσης στερεού. Στα επόμενα τρία πειράματα περιγράφονται και συζητούνται έξι θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες των αερίων, ήτοι εκτατικότητα, διάχυση, συμπιεστότητα, ελαστικότητα, διαστολή, συστολή. Το έκτο πείραμα αναφέρεται στην ατμοσφαιρική πίεση και το τελευταίο, ως ανακεφαλαιωτικό, στοχεύει να ενισχύσει τη νοητική εικόνα της αέριας κατάστασης σε μικροσκοπικό επίπεδο και στη σύνδεση της κίνησης των μορίων με τη θερμοκρασία. Το πλέγμα των εννοιών που περιελάμβανε η παρέμβαση Α φαίνεται και στο Διάγραμμα 6.2.

Στην αρχή κάθε θέματος ο διδάσκων έκανε μια ολιγόλεπτη εισήγηση-παρουσίαση του θέματος και έγραφε το γενικό τίτλο του θέματος στον πίνακα (π.χ. από τη στερεά στην αέρια κατάσταση). Στη συνέχεια ο διδάσκων παρουσίαζε τις ουσίες που θα χρησιμοποιούσαν (π.χ. έδειξε μια μικρή ποσότητα ιωδίου και τους εξήγησε ότι αυτό το μαύρο μαλακό στερεό είναι ιώδιο, πολλοί φοιτητές συγγέουν το βάμμα ιωδίου με το ιώδιο) και εξηγούσε τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών που θα χρησιμοποιούσαν (π.χ.



στη συσκευή προσομοίωσης της κίνησης των μορίων αερίου εξηγήσαμε ότι ο στρεφόμενος διακόπτης μεταβάλλει την ένταση του ρεύματος (ροοστάτης) και αυτό αντιστοιχεί σε προσφορά θερμότητας στο αέριο). Αν και οι συσκευές ήταν απλούστατες, η παραπάνω τακτική εφαρμόστηκε, ώστε η προσοχή των φοιτητών να εστιάζεται στο φαινόμενο που θα μελετούσαμε και όχι στη συσκευή.

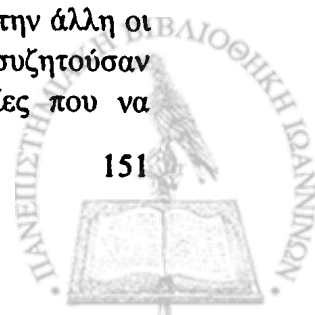
Στη συνέχεια ο διδάσκων με τη βοήθεια των φοιτητών της ομάδας προετοίμαζε το σχετικό πείραμα και πριν το εκτελέσουν ζητούσε από τους φοιτητές της ομάδας να κάνουν προβλέψεις (π.χ. τι προβλέπεται ότι θα συμβεί στο ιώδιο που βάλαμε στη σφαιρική φιάλη και θα το θερμάνουμε με τη βοήθεια θερμαντικής ηλεκτρικής πλάκας;). Οι προβλέψεις συνοπτικά γράφονταν στον πίνακα, χωρίς να χαρακτηρίζονται σωστές ή λάθος. Ακολουθούσε η εκτέλεση του πειράματος και διαγράφονταν από τον πίνακα οι υποθέσεις που δεν συμφωνούσαν με την πειραματική πραγματικότητα που διαπίστωναν. Εδώ έχουμε μια πρώτη επαφή ανάμεσα στα υπάρχοντα νοητικά σχήματα των φοιτητών, που κάνουν λάθος προβλέψεις (π.χ., στην περίπτωση του ιωδίου ένας φοιτητής πρόβλεψε ότι θα έλυνε σαν καραμέλα) και σ' εκείνα που στοχεύουμε να αποκτήσουν.

- Ακολουθούσε μια σειρά ερωτήσεων και ερωταποκρίσεων-αντιπαραθέσεων μεταξύ του διδάσκοντος και των φοιτητών της ομάδας. Αρχικά ζητήθηκε από ένα φοιτητή να περιγράψει το φαινόμενο που παρατήρησαν και να το ονομάσει (π.χ. η απ' ευθείας μετατροπή στερεού σε ατμούς ονομάζεται εξάχνωση). Επίσης να αναφέρουν ουσίες που εμφανίζουν το φαινόμενο της εξάχνωσης και ουσίες που δεν το εμφανίζουν. Στην περίπτωση της εξάχνωσης του ιωδίου, από τους φοιτητές ζητήθηκε εν συνεχεία να εξηγήσουν το ρόλο της θερμότητας και να κάνουν μια εκτίμηση για την ισχύ των μοριακών δυνάμεων που συγκρατούν τα μόρια του ιωδίου, αφού είχαμε διαπιστώσει ότι το ιώδιο είναι μαλακό και το θερμάνουμε πολύ λίγο.

Η τελευταία φάση του διαλόγου εστιάζεται στο μικροσκοπικό επίπεδο. Στην περίπτωση της εξάχνωσης του ιωδίου, που αναφέρουμε ως παράδειγμα για να δείξουμε τη διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήσαμε ζητήθηκε να αναφέρουν ομοιότητες και διαφορές της διεύθησης των μορίων του ιωδίου στο χώρο, στη στερεά και στην αέρια κατάσταση. Για να βεβαιωθούμε ότι έγινε κατανοητή η διαφορά των αερίων και των στερών σε μικροσκοπικό επίπεδο, ζητήθηκε να σχεδιάσουν στον πίνακα σε δύο τετράγωνα ίσων επιφανειών μια εικόνα των μορίων ιωδίου σε στερεά και μια σε αέρια κατάσταση.

Η παρουσίαση του κάθε θέματος έκλεινε με μια ανακεφαλαίωση των βασικότερων συμπερασμάτων που προέκυπταν από το διδάσκοντα. Η όλη διαδικασία για κάθε θέμα που συζητήθηκε διαρκούσε από 14-18 min. Στα πειράματα που παρουσιάστηκαν στην παρέμβαση αυτή δεν γίνονταν μετρήσεις και στη συζήτηση-ερμηνεία κάθε πειράματος δινόταν έμφαση σε ποιοτικές εξηγήσεις.

Κατά το διάλογο οι φοιτητές ενθαρρύνονταν να εκφράσουν τις ιδέες τους. Οι ιδέες και οι ερωτήσεις των φοιτητών συντηρούσαν ένα κλίμα συνεύρεσης φοιτητή και διδάσκοντα και τροφοδοτούσαν το διάλογο και τη συμμετοχή σ' αυτόν. Από την άλλη οι παρεμβάσεις του διδάσκοντα ήταν να κατευθύνει το διάλογο στο θέμα που συζητούσαν και να διαμεσολαβεί για να βρουν οι φοιτητές κριτήρια και διαδικασίες που να



καταλήγουν σε αποδεκτές ερμηνείες και αναπαραστάσεις. Η διατύπωση και η επιγραμματική αναγραφή των συμπερασμάτων σε μια διαλογική συζήτηση κρίθηκε αναγκαία, διότι συχνά οι μαθητές δυσκολεύονται να συνάγουν, μέσα από αντικρουόμενες απόψεις και συχνά άσχετα στοιχεία που ακούγονται, συστηματοποιημένα συμπεράσματα. Η χρησιμότητα αυτής της διδακτικής πρακτικής έχει και ερευνητικά επιβεβαιωθεί (Ματσαγγούρας, 1987α). Η διδακτική παρέμβαση έκλεισε με την προτροπή οι φοιτητές να διαβάσουν τα θέματα που διδάχτηκαν από τις αντίστοιχες ενότητες στο βιβλίο του P. G. Hewitt οι «Έννοιες της Φυσικής, τόμος Ι».

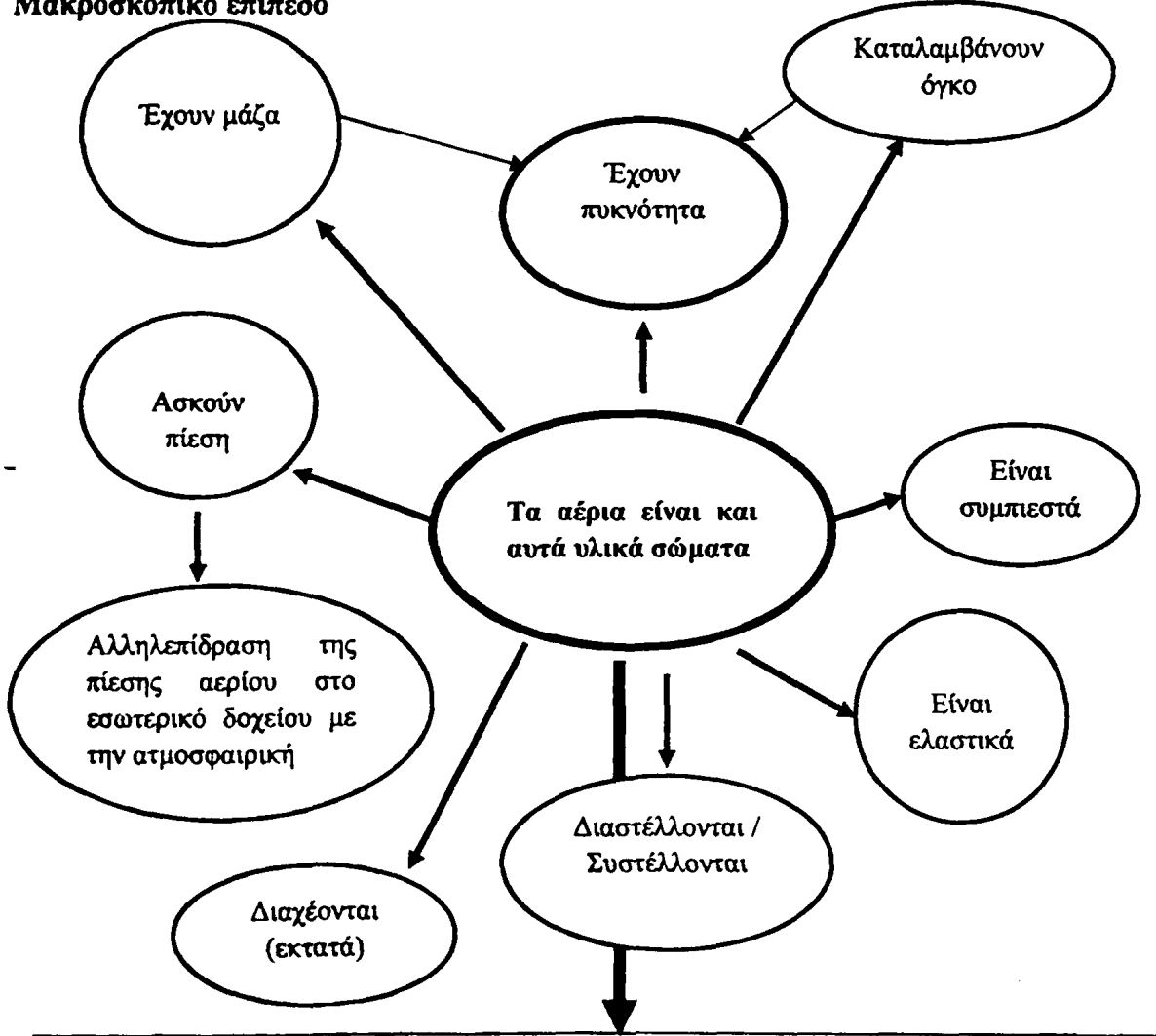
Μια διαγραμματική παρουσίαση της διδακτικής μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.4. Τα σχέδια μαθημάτων που χρησιμοποίησε ο διδάσκων για τα επτά θέματα της παρέμβασης Α περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Ι.



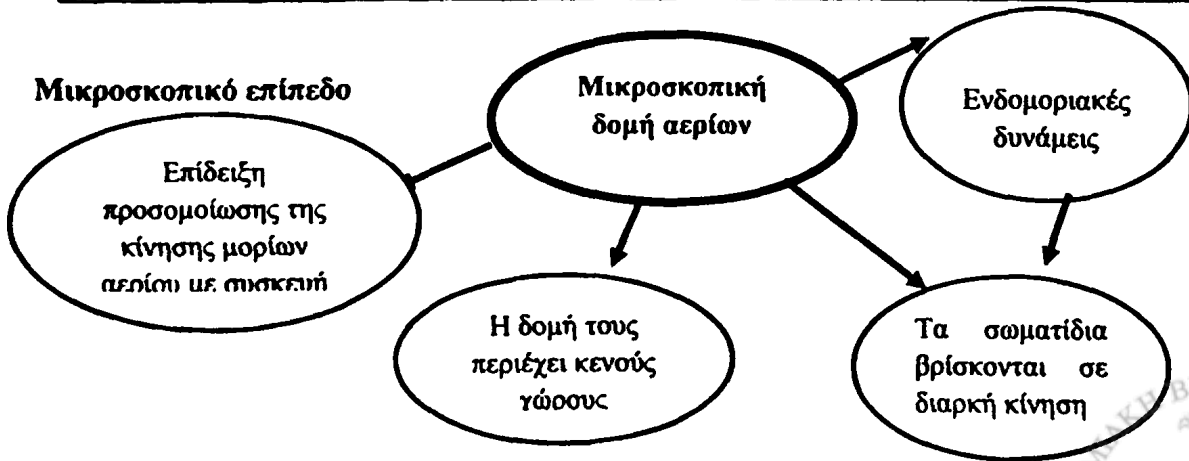


**Διάγραμμα 6.2** Παρουσίαση των εννοιών της Παρέμβασης «Α»  
(Ενίσχυση του εννοιολογικού υπόβαθρου των φοιτητών σε θεμελιώδεις φυσικές έννοιες των αερίων).

**Μακροσκοπικό επίπεδο**

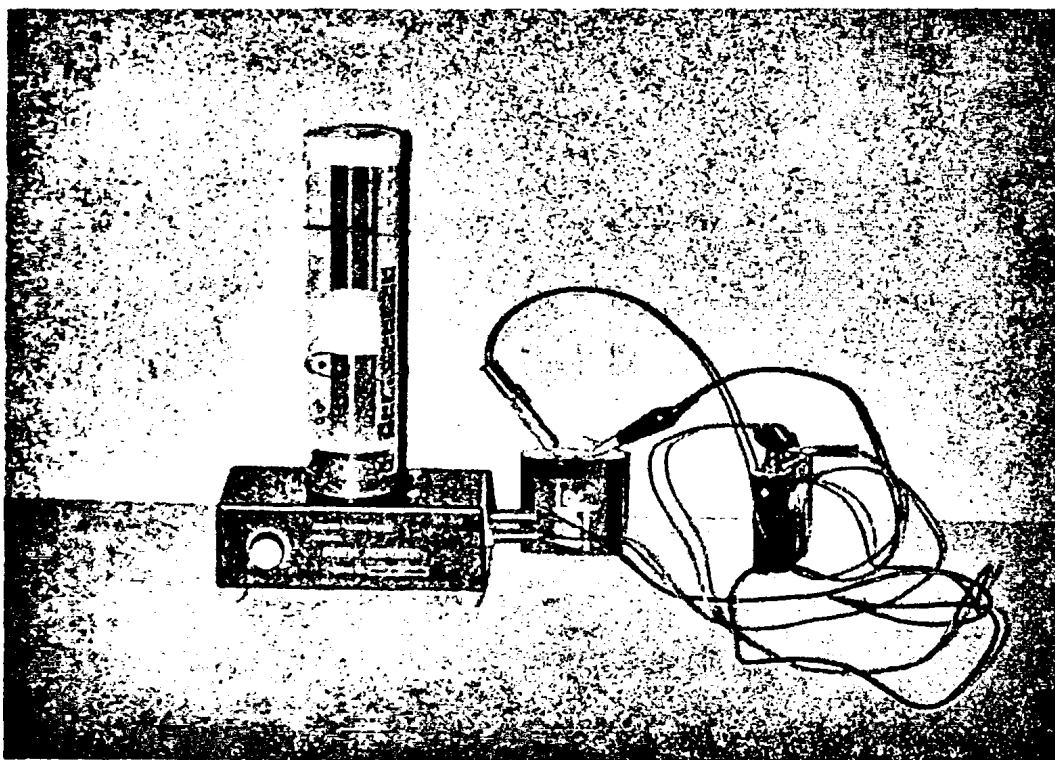


**Μικροσκοπικό επίπεδο**



Διάγραμμα 6.3 Παρουσίαση της διδακτικής μεθοδολογίας κατά την παρέμβαση «Α» - μια απόπειρα μοντελοποίησης. (Στα ορθογώνια πλαίσια περιγράφονται οι δραστηριότητες του διδάσκοντα, στα κυκλικά των φοιτητών και στα πολυγωνικά δραστηριότητες που γίνονται από κοινού).





Εικόνα 6.1 Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της κίνησης των μορίων αερίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΤΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ «Β»

#### 7.1 Τρόπος συγκρότησης των ομάδων – Τα προβλήματα που διδάχθηκαν

Με το πέρας της διδακτικής παρέμβασης Α ενημερώσαμε τους φοιτητές ότι στα επόμενα μαθήματα θα χωριστούν σε τρεις ομάδες, όπου θα λάβει χώρα η διδασκαλία της δεύτερης ενότητας (παρέμβαση Β). Έτσι κάθε εβδομάδα είχε προγραμματιστεί να παρακολουθούν τη διδασκαλία το 1/3 των φοιτητών που συμμετείχαν στην παρέμβαση Α (50 περίπου φοιτητές). Τα ονόματα δε των φοιτητών που θα συμμετείχαν σε κάθε ομάδα ανακοινώθηκαν.

Τελικά οι φοιτητές που προσήλθαν σε κάθε μια από τις τρεις ομάδες, όπως ήδη αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ήταν λιγότεροι από όσους είχαν αρχικά προγραμματιστεί (η παρακολούθηση δεν είναι υποχρεωτική). Οι φοιτητές που δεν συμμετείχαν στην παρέμβαση Β, αλλά συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α και πήραν μέρος στην εξέταση της περιόδου του Ιουνίου, σε θέματα που στην πλειονότητά τους αναφέρονταν σε όσα είχαν διδαχθεί κατά τις παρεμβάσεις Α και Β (βλ. κεφ. 9, Παρουσίαση των προβλημάτων-θεμάτων που τέθηκαν στην εξέταση – Βαθμολογικά σχήματα), τους εντάξαμε σε μια ιδιαίτερη ομάδα, την «Ομάδα Ελέγχου».

Κάθε μια από τις τρεις πρώτες ομάδες, που συμμετείχαν στην παρέμβαση Β, είχε χωριστεί σε έξι επιμέρους μικρότερες ομάδες, που αποτελούνταν από 5-8 άτομα. Σε κάθε επιμέρους ομάδα φροντίσαμε να υπάρχει ένας έως δύο φοιτητές / τριες που ήταν απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης (με εξαίρεση την έκτη υποομάδα της ομάδας συμβατικής διδασκαλίας που δεν ήταν κανένας απόφοιτος θετικής κατεύθυνσης), και ένας έως δύο φοιτητές / τριες που ήταν απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης. Οι φοιτητές απόφοιτοι της θεωρητικής κατεύθυνσης σε κάθε επιμέρους ομάδα ήταν από δύο έως τέσσερις (με εξαίρεση την έκτη υποομάδα της ομάδας πειραμάτων που οι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης ήταν πέντε). Επίσης σε κάθε επιμέρους ομάδα κάθε ομάδας φροντίσαμε να υπάρχει και ένα τουλάχιστον αγόρι, αφού η πλειονότητα του δείγματος αποτελούνταν από κορίτσια. Τελικά ο τρόπος κατανομής των φοιτητών του δείγματος μας κατά την παρέμβαση Β διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.1.



Σε κάθε μια από τις τρεις ομάδες (ομάδα πειραμάτων, ομάδα επίδειξης πειραμάτων και ομάδα συμβατικής διδασκαλίας) οι φοιτητές διδάχθηκαν τα ίδια γνωστικά αντικείμενα, υπό μορφή λύσης προβλήματος με διαφορετική όμως διδακτική μέθοδο, από τον ίδιο διδάσκοντα (τον γράφοντα) και διατέθηκε για κάθε ομάδα ο ίδιος χρόνος (καθαρός χρόνος διδασκαλίας 120 λεπτά). Η διδασκαλία σε κάθε ομάδα αποτελούνταν από έξι ενότητες που αναφέρονταν στην αέρια κατάσταση και προέκτειναν τις έννοιες και τις μεταξύ τους σχέσεις, που είχαν διδαχθεί οι φοιτητές κατά την παρέμβαση Α. Σκοπός των παρεμβάσεων Α, Β ήταν να ενεργοποιήσουν και να αναδομήσουν την προϋπάρχουσα γνώση των φοιτητών σε σχέση με έννοιες φυσικής και χημείας, ιδιαίτερα δε αυτές που σχετίζονταν με την αέρια κατάσταση, από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια βαθμίδα εκπαίδευσης που είχαν διανύσει.

Αναμένεται με βάση όσα έχουν αναφερθεί στο θεωρητικό πλαίσιο (βλέπε, κεφ. 2, κεφ. 3 και κεφ. 4) οι τρεις διαφορετικές εφαρμοζόμενες διδακτικές μέθοδοι να έχουν διαφοροποιημένες επιπτώσεις στην κατανόηση εννοιών της αέριας κατάστασης, που διδάχθηκαν οι φοιτητές κατά τη διδακτική παρέμβαση Β.

Τα προβλήματα που διδάχθηκαν ήταν:

- Να βρεθεί η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Να διαπιστωθεί η ύπαρξη του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και να μετρηθεί η περιεκτικότητά του.
- Να μετρηθεί η πίεση σε mm Hg που ασκεί αέριο σε ένα δοχείο.
- Να διογκώσουμε ένα φουσκωμένο μπαλόνι, χωρίς να εισάγουμε σ' αυτό επιπλέον όγκο αέρα. Να συνθλίψουμε ένα αλουμινένιο κουτί αναφυκτικού με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης.
- Να βρεθεί η σχέση πίεσης –όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου.
- Να βρεθεί η περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα μπουκάλι coca-cola.



**Πίνακας 7.1** Συγκρότηση των ομάδων για τη λύση προβλημάτων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο και το φύλο κατά την παρέμβαση -B

ΠΡΟΒΛ.	ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ (N=43)			ΟΜΑΔΑ ΕΠΙΔΕΙΞ. ΠΕΙΡΑΜ. (N=37)			ΟΜΑΔΑ ΣΥΜΒΑΤ. ΔΙΔΑΣ/ΛΙΑΣ (N=32)		
	ΘΕΤ.	ΤΕΧΝ.	ΘΕΩΡ.	ΘΕΤ.	ΤΕΧΝ.	ΘΕΩΡ.	ΘΕΤ.	ΤΕΧΝ.	ΘΕΩΡ.
1	K, A	A, K	K, K, K, K	K	K, A	K, K, A	K	K	K, K, K
2	K	A, K	K, K, K, K	A	K, K	K, K, K	K	A, K	K, K
3	K, A	K, K	K, K, K, K	A	K, A	K, K, K, K	K	K	K, K, K
4	K	K, A	K, K, K, K	A	K	K, K, K, K	K	K	A, K, K
5	A	K, K	K, K, K, K	K	K, K	A, K, K,	K	K, K	K, K, K
6	K	K	K, K, K, K, A	K	K, A	K, K, K	-	K, A	K, K, K
	8 (5K, 3A)	11 (8K, 3A)	24 (23K, 1A)	6 (3K, 3A)	11 (8K, 3A)	20 (18K, 2A)	5 (5K, 0A)	10 (8K, 2A)	17 (16K, 1A)
	43 (36K, 7A)			37 (29K, 8A)			32 (29K, 3A)		

ΟΜΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ (N=39) [6 ΘΕΤ., 9 ΤΕΧΝ., 24 ΘΕΩΡ. (29K, 10A)]



Η όλη διδακτική διαδικασία που ακολουθήθηκε λαμβάνει υπόψη της ένα εποικοδομητικό πλαίσιο μάθησης, το οποίο είναι έντονο στη διδασκαλία της «ομάδας πειραμάτων» και στην «ομάδα επίδειξης πειραμάτων» και σε μικρότερο βαθμό συμμετέχει στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας».

## 7.2 Η διδασκαλία στην «ομάδα επίδειξης»

Η πρώτη διδασκαλία έγινε με την «ομάδα επίδειξης πειραμάτων». Ο διδάσκων (Κ. Καμπουράκης) έγραφε κάθε φορά στον πίνακα τον τίτλο ενός προβλήματος και ζητούσε μια από τις ήδη συγκροτημένες ομάδες να έρθει για να το διαπραγματευτούν. Οι υπόλοιπες πέντε ομάδες παρακολουθούσαν την όλη διαδικασία και κάποιος φοιτητής /τρια απ' αυτές μπορούσε να παρέμβει μόνο όταν η συζήτηση του διδάσκοντα με την ομάδα που συνεργαζόταν έφτανε σε αδιέξοδο ή ήθελε να διατυπώσει κάποια συμπληρωματική παρατήρηση.

Το διδακτικό μοντέλο που εφαρμόστηκε και η μορφή οργάνωσης της διδακτικής διαδικασίας είναι τα ίδια με εκείνα που περιγράφονται κατά τη διδασκαλία της παρέμβασης Α. Για διασαφήνιση περιγράφουμε τη διδακτική μέθοδο που ακολουθήσαμε για τη λύση του προβλήματος που ζητούσε από τους φοιτητές να μετρήσουν την περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα της coca-cola. Οι διάλογοι που παρατίθενται προέρχονται από απομαγνητοφώνηση.

## 7.3 Μέτρηση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα μπουκάλι coca-cola – ομάδα επίδειξης

1<sup>η</sup> φάση – Πώς γνωρίζουμε ότι στην coca-cola περιέχεται διοξείδιο του άνθρακα;

*Διδάσκων:* Πώς γνωρίζουμε ότι σε ένα μπουκάλι coca-cola υπάρχει διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα;

*Φοιτήτρια:* Όταν «κουνήσουμε» το μπουκάλι και στη συνέχεια το ανοίξουμε τότε η coca-cola χύνεται και μπορεί να λερωθούμε.

*Διδάσκων:* Μπορούμε να εκτελέσουμε ένα πείραμα για να βεβαιωθούμε ότι το αέριο που διαφεύγει από την coca-cola είναι το διοξείδιο του άνθρακα και όχι κάποιο άλλο αέριο; Πώς τα σχολικά σας βιβλία περιέγραφαν την ανίχνευση του διοξειδίου του άνθρακα;

*Φοιτήτρια:* Να φυσήσουμε με ένα καλαμάκι...

*Διδάσκων:* Πού; μέσα στην coca-cola;

*Φοιτητής (από κάτω):* Το διοξείδιο του άνθρακα ανιχνεύεται με ασβεστόνερο.

*Διδάσκων:* Ο διδάσκων πήρε ένα μπουκάλι coca-cola των 750ml έβγαλε το πώμα και προσάρμοσε στο στόμιό του ένα πλαστικό πώμα στο οποίο είχε από πριν περάσει έναν πλαστικό σωλήνα. Άνοιξε το πώμα ενός γυάλινου δοχείου που περιείχε ασβεστόνερο και εισήγαγε για λίγο το ένα άκρο του πλαστικού σωλήνα στο ασβεστόνερο. Το ασβεστόνερο θόλωσε.



**2<sup>η</sup> φάση – Γιατί μόλις ανοίξουμε ένα μπουκάλι coca-cola το διοξείδιο του άνθρακα αρχίζει και διαφεύγει;**

Ο διδάσκων υπενθύμισε ότι τα αέρια μπορούν και διαλύονται στα υγρά και ότι στο λύκειο είχαν διδαχθεί εκτός από τη διαλυτότητα των στερεών και υγρών σε υγρά και τη διαλυτότητα των αερίων σε υγρά. Επιπλέον τα σχολικά βιβλία αναφέρουν τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα των αερίων σε υγρά.

Από το διάλογο με την ομάδα των φοιτητών αλλά και από τους άλλους φοιτητές που ήταν στην αίθουσα και παρακολουθούσαν, φάνηκε ότι δεν είχαν μια καθαρή εικόνα για τη διαλυτότητα αερίου σε υγρό. Θυμούνταν την περίπτωση διάλυσης του αλατιού και της ζάχαρης στο νερό και την αύξηση της διαλυτότητάς τους με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η περίπτωση διάλυσης αερίου σε υγρό εννοιολογικά παρουσιάζεται αρκετά δυσπρόσιτη. Προφανώς ο μηχανισμός διάλυσης αερίου σε υγρό σε μοριακό επίπεδο είναι αρκετά «αθέατος».

Τελικά γράψαμε στον πίνακα ότι:

- α) η διαλυτότητα αερίου σε υγρό ελαττώνεται με τη μείωση της πίεσης πάνω από την επιφάνεια του διαλύματος.
- β) η διαλυτότητα αερίου σε υγρό ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος.
- γ) η διαλυτότητα αερίου σε υγρό εξαρτάται από τη φύση του διαλύτη όσο και από τη φύση της διαλυμένης ουσίας.

Στη συνέχεια εξηγήσαμε γιατί το διοξείδιο του άνθρακα διαφεύγει, όταν ανοίγουμε ένα μπουκάλι coca-cola, και ότι, αν θέλουμε να διαφύγει όλο το διοξείδιο του άνθρακα, θα πρέπει το διάλυμα να το θερμάνουμε.

**3<sup>η</sup> φάση – Πώς θα συλλέξουμε το διοξείδιο του άνθρακα και πώς θα μετρήσουμε τον όγκο του;**

Αυτό που για ένα χημικό, όταν θέλει να μετρήσει τον όγκο ενός αερίου, γίνεται με τρόπο μηχανικό δεν είναι αυτονόητο για αποφοίτους δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που δεν έχουν ή έχουν δει ελάχιστα πειράματα στο σχολικό εργαστήριο.

*Διδάσκων:* Με ποιο τρόπο μπορούμε να συλλέξουμε ένα αέριο που περιέχεται σ' ένα δοχείο και να μετρήσουμε τον όγκο του;

**Φοιτητής:** Να ρίξουμε όλη την coca-cola σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και να μετρήσουμε αρχικά τον όγκο της. Μετά να θερμάνουμε την coca-cola στο σωλήνα οπότε όλο το διοξείδιο του άνθρακα θα φύγει. Μετά την θέρμανση, αφού θα φύγει το διοξείδιο του άνθρακα, ο όγκος θα είναι μικρότερος. Η διαφορά του όγκου θα ισούται με τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα.

Μια τέτοια απάντηση με ξάφνιασε, καθώς δεν ήταν αναμενόμενη. Υπενθύμισα, ότι αν σε 50 mL νερό διαλύσουμε 50 mL οινόπνευμα, ο όγκος του διαλύματος δεν θα είναι 100 mL και ότι, αν σε 50 mL νερό διαλύσουμε μικρούς κύβους ζάχαρης συνολικού όγκου 5 mL, ο όγκος του διαλύματος δεν θα είναι 55 mL. Η ασυνεχής δομή της ύλης, οι κενοί χώροι μεταξύ των μορίων ενός υγρού (διαλύτη) είναι θεμελιώδεις χημικές έννοιες



και φαίνεται ότι δεν μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν ως πληροφοριακό υλικό στην ερμηνεία σχετικών φαινομένων.

Τελικά σχεδίασα στον πίνακα τα μόρια του υγρού σ' ένα δοχείο σαν μικρές σφαίρες που σχεδόν εφάπτονται μεταξύ τους, αλλά η διάταξή τους να αφήνει κάποια κενά. Στο μεγαλύτερο μέρος των κενών σχεδίασα επίσης σαν μικρές σφαίρες με διαφορετικό χρώμα κιμωλίας τα μόρια του διαλυμένου οξυγόνου.

Στη συνέχεια ζήτησα από τους φοιτητές να θυμηθούν κάποια σχήματα ή εικόνες από τα σχολικά βιβλία χημείας, που περιγράφουν συλλογή αερίου και ιδιαίτερα το πείραμα συλλογής του υδρογόνου κατά την αντίδραση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος σε ψευδάργυρο. Την αντίδραση αυτή δεν την παραλείπει σχεδόν κανένα εγχειρίδιο και τη σχετική πειραματική διάταξη την περιγράφουν σχηματικά. Οι εικονικές αναπαραστάσεις πειραμάτων φαίνεται ότι δεν προσφέρουν, σε πολλές περιπτώσεις κάτι περισσότερο από τη διακόσμηση των σχολικών βιβλίων και δεν ανακαλούνται εύκολα από τη μνήμη, αν οι μαθητές δεν έχουν εκτελέσει οι ίδιοι το πείραμα.

#### 4<sup>η</sup> φάση – Εκτέλεση του πειράματος - μέτρηση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα

*Διδάσκων:* Με ποιο τρόπο αντιλαμβανόμαστε την είσοδο ενός αερίου σε υγρό;

*Φοιτήτρια:* Σχηματίζονται φυσαλίδες, που πηγαίνουν προς τα πάνω.

Με τη βοήθεια των φοιτητών της ομάδας γεμίσαμε με νερό έναν ογκομετρικό κύλινδρο φροντίζοντας να μην περιέχει αέρα (να μη σχηματίζονται φυσαλίδες) και τον αντιστρέψαμε μέσα σε λεκάνη γεμάτη κατά το 1/3 περίπου με νερό. Στερεώσαμε τον κύλινδρο με τη βοήθεια λαβίδας προχοϊδας σε ορθοστάτη, ώστε να παραμένει σε κατακόρυφη θέση και περάσαμε το άκρο πλαστικού σωλήνα κάτω από το ανοιχτό άκρο του κυλίνδρου.

Σημειώσαμε αρχικά τη στάθμη του διαλύματος της coca-cola στο μπουκάλι μ' ένα μαρκαδόρο. Βγάλαμε το καπάκι από ένα κρύο μπουκάλι coca-cola (750ml) και αμέσως προσαρμόσαμε στο άνοιγμα του μπουκαλιού πώμα με γυάλινο σωλήνα. Το άκρο του γυάλινου σωλήνα μέσα στο μπουκάλι φροντίσαμε να φτάνει λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα του μπουκαλιού. Στο άλλο άκρο του γυάλινου σωλήνα προσαρμόσαμε τον πλαστικό σωλήνα του οποίου το άλλο άκρο είχαμε εισάγει στη βάση του ογκομετρικού κυλίνδρου. Σε όλη τη διαδικασία φροντίζουμε το μπουκάλι με την coca-cola να βρίσκεται σε χαμηλότερη θέση από τη βάση του ογκομετρικού σωλήνα, ώστε μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα να παρασέρνεται μικρή ποσότητα coca-cola στον ογκομετρικό κύλινδρο.

Αρχικά παρατηρήσαμε φυσαλίδες να βγαίνουν από το άκρο του πλαστικού σωλήνα που είναι μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και μια μικρή ποσότητα νερού στον ογκομετρικό κύλινδρο να εκτοπίζεται. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε το μπουκάλι σε γυάλινο δοχείο που περιείχε θερμό νερό (θερμοκρασίας γύρω στους 60°C) και ευρίσκετο πάνω σε θερμαντική πλάκα. Όταν οι φυσαλίδες σταμάτησαν να βγαίνουν από το άκρο του σωλήνα και η στάθμη του νερού στον ανεστραμμένο κύλινδρο παρέμεινε σταθερή, σημειώσαμε τη στάθμη του νερού στον κύλινδρο μ' ένα μαρκαδόρο.

Το διοξείδιο του άνθρακα συνήθως παρασέρνει και διάλυμα coca-cola και την



εισάγει στον ογκομετρικό κύλινδρο. Έτσι το νερό στον κύλινδρο και στη λεκάνη χρωματίζεται προς το καφέ. Η όλη πειραματική διάταξη απεικονίζεται στην Εικόνα 7.1.

### 5η φάση – υπολογισμός της % v/v περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην coca-cola

*Διδάσκων:* Ποια έκφραση περιεκτικότητας θα χρησιμοποιήσουμε για να υπολογίσουμε τώρα την περιεκτικότητα της coca-cola σε διοξείδιο του άνθρακα;

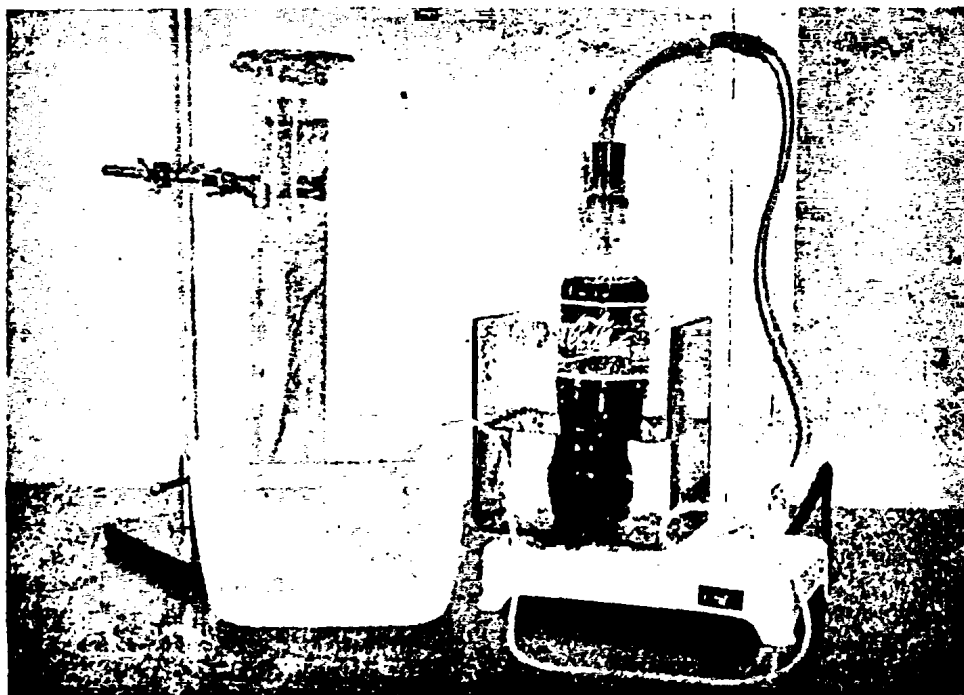
*Φοιτήτρια:* Ο ογκομετρικός κύλινδρος, μέχρι εκεί που έφτασε η στάθμη του νερού, μας δίνει τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα που ήταν στη φιάλη. Ο όγκος του διαλύματος είναι γραμμένος στη φιάλη, είναι 750 mL.

*Διδάσκων:* Εμείς θα υπολογίσουμε σε 100 mL διαλύματος τον όγκο, σε mL του διαλυμένου αερίου.

*Διδάσκων:* Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι ο όγκος του διαλύματος είναι πράγματι όσος γράφει η φιάλη;

*Φοιτητής:* Να αδειάσουμε τελείως από το μπουκάλι την coca-cola που έμεινε, να το γεμίσουμε με νερό μέχρι το σημείο που είχαμε αρχικά σημαδέψει και στη συνέχεια να το ρίξουμε σε ένα ογκομετρικό σωλήνα.

Τελικά το διάλυμα είχε όγκο 745 mL, κάτι λιγότερο απ'όσο ανέγραφε το μπουκάλι. Η δε περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο διάλυμα βρέθηκε ίση με 95,3% v/v.



Εικόνα 7.1 Η πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην coca-cola.

Στην περίπτωση της συμβατικής διδασκαλίας, το ίδιο πρόβλημα το διαπραγματεύτηκα με μια επιμέρους ομάδα. Ειπώθηκαν από το διδάσκοντα τα ίδια σημεία, με τη διαφορά ότι δεν υπήρχε καμία συσκευή στο αμφιθέατρο διδασκαλίας. Τόσο η διαπίστωση του διοξειδίου του άνθρακα στο διάλυμα της coca-cola όσο και η «μέτρηση» του όγκου του διοξειδίου στο διάλυμα σχεδιάστηκαν και «υπολογίστηκαν» στον πίνακα. Ανάλογη διδακτική μέθοδος ακολουθήθηκε και για τη διδασκαλία των υπόλοιπων θεμάτων-προβλημάτων.

Στη συνέχεια περιγράφουμε τη διδακτική ακολουθία για τη διδασκαλία του προβλήματος: Εύρεση της σχέσης πίεσης – όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου, στο πλαίσιο της συμβατικής διδασκαλίας.

#### 7.4 Εύρεση της σχέσης πίεσης – όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου – «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας»

##### 1<sup>η</sup> φάση – η προϋπάρχουσα γνώση

Κατ' αρχήν η επιμέρους ομάδα που κλήθηκε στον πίνακα για να διαπραγματευτεί το τεθέν θέμα-πρόβλημα ερωτήθηκε αν γνωρίζει την παραπάνω σχέση.

**Φοιτητής:** Όσο μικραίνει ο όγκος ενός αερίου τόσο μεγαλώνει η πίεσή του.

**Διδάσκων:** Με ποιον ακριβώς τρόπο γίνεται αυτή η μεταβολή; Μπορείς να την προσδιορίσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια;

**Φοιτήτρια:** Τα ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα.

**Διδάσκων:** Γράψε μας στον πίνακα τη μαθηματική σχέση.

Η φοιτήτρια δεν θυμόταν τη σχέση.

**Διδάσκων:** (με την ίδια φοιτήτρια) Αν μας δώσουν έναν αριθμό τιμών από δύο ποσά  $x$  και  $y$ , πώς μπορούμε να ελέγξουμε αν αυτά είναι αντιστρόφως ανάλογα;

**Φοιτήτρια:** Όταν το ένα μέγεθος διπλασιάζεται τότε το άλλο γίνεται το μισό.

**Διδάσκων:** Στα μαθηματικά θυμόσαστε πότε δύο ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα;

**Φοιτητής:** (από αυτούς που παρακολουθούν στην αίθουσα) Δύο ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα όταν το γινόμενό τους είναι σταθερό.

Γράφτηκε η σχέση.

**Διδάσκων:** Δηλαδή, στην περίπτωση μας  $P \cdot V = ct$ . Αυτή η σταθερή ποσότητα στο δεύτερο μέλος με τι ισούται;

**Φοιτήτρια:** Είναι ο νόμος του Boyle και ισχύει, όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή, ισόθερμη μεταβολή αερίου.

**Διδάσκων:** Ωραία, στη σταθερή ποσότητα περιέχεται η θερμοκρασία. Από ποιο άλλο μέγεθος εξαρτάται η σταθερά; Είναι η ίδια για όλα τα αέρια και για κάθε ποσότητα αερίου;

Καμία απάντηση. Ο διδάσκων έγραψε την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων στον πίνακα, και ζήτησε από μια φοιτήτρια να πει τι παριστάνουν τα σύμβολα  $n$  και  $R$  σ' αυτή.



**Φοιτήτρια:** Το  $n$  είναι τα mol του αερίου και  $R$  η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

**Διδάσκων:** Γιατί το  $R$  λέγεται παγκόσμια σταθερά των αερίων;

**Φοιτητής:** Είναι μια σταθερά, έχει ορισμένη τιμή και στα προβλήματα δίνεται.

**Διδάσκων:** Έχει την ίδια τιμή  $R=8,314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$  ή  $0,082 \text{ Atm.lit / mol}^\circ\text{K}$ , για όλα τα αέρια σε μικρές πυκνότητες.

**Διδάσκων:** Επομένως ο νόμος της ισόθερμης μεταβολής αερίου ή νόμος του Boyle μας λέει ότι το γινόμενο της πίεσης επί τον όγκο ορισμένης ποσότητας αερίου είναι σταθερό, όταν η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή. Ο νόμος αυτός είναι γενικώς και ισχύει για όλα τα αέρια που βρίσκονται μακράν των συνηθικών υγροποίησης τους, δηλαδή όταν βρίσκονται σε μικρές πιέσεις και μεγάλες θερμοκρασίες.

### 2<sup>η</sup> φάση – Πειραματική προσέγγιση του νόμου

**Διδάσκων:** Αν θέλαμε να επαληθεύσουμε πειραματικά το νόμο της ισόθερμης μεταβολής, τι όργανα θα χρειαζόσαστε και πώς θα εκτελούσατε το σχετικό πείραμα;

**Φοιτητής:** Ένα όργανο που να μετράει την πίεση και ένα να μετράει τον όγκο.

**Διδάσκων:** Σχεδιάσε μας στον πίνακα πώς είναι μια τέτοια διάταξη, πώς θα μπορούσε να είναι.

**Φοιτητής:** Σχεδιάζει στον πίνακα έναν κύλινδρο με έμβολο, έναν κύκλο με υποδιαίρεσεις (γραμμές) στην περιφέρειά του και τα συνδέει με μια διπλή γραμμή (σωλήνας).

**Διδάσκων:** Εξήγησε μας πως θα εκτελέσουμε το πείραμα.

**Φοιτητής:** Στον κύλινδρο είναι το αέριο και μ' αυτό το όργανο μετράμε την πίεση (δείχνει τον κύκλο).

**Διδάσκων:** Με ποιον τρόπο θα μεταβάλουμε τον όγκο του αερίου; Πρέπει να βρούμε έναν τρόπο να μεταβάλουμε τον όγκο και κάθε φορά να ξέρουμε πόσος είναι, έτσι δεν είναι;

Έδειξα μια πλαστική σύριγγα των 100 ml και εξήγησα ότι, αν κλείσουμε το ένα άκρο της και μετακινούμε το έμβολο κάθε φορά, μπορούμε να διαβάσουμε τον όγκο του εγκλωβισμένου αέρα από τις υποδιαίρεσεις που υπάρχουν στον κύλινδρο της σύριγγας.

### 3<sup>η</sup> φάση – Επαλήθευση του νόμου με δοθέντα δεδομένα

Ας υποθέσουμε ότι εσείς ως ομάδα εκτελέσατε το σχετικό πείραμα και πήρατε τα παρακάτω δεδομένα. Ο διδάσκων έγραψε στον πίνακα τα παρακάτω δεδομένα, πίεσης - όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου (οι δύο πρώτες στήλες του πίνακα 7.2).

Πίνακας 7.2 Τιμές πίεσης –όγκου για την επαλήθευση του νόμου του Boyle.

Όγκος (V, cm <sup>3</sup> )	Πίεση (P, mm Hg)	P.V
84,5	40,5	3422,2
68,0	50,5	3434,0
56,0	61,0	3416,0
45,0	76,0	3420,0
37,5	91,0	3412,5
34,0	101,0	3434,0
29,5	116,0	3422,0

**Διδάσκων:** Πώς μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι παραπάνω μετρήσεις ακολουθούν τον νόμο του Boyle;

**Φοιτήτρια:** Καθώς ο όγκος μικραίνει η πίεση αυξάνεται.

**Διδάσκων:** Υπάρχουν πολλοί τρόποι που ένα μέγεθος μπορεί να αυξάνεται και το άλλο να μικραίνει, όπως π.χ., όταν η απόσταση ανάμεσα σε δύο μαγνήτες μικραίνει η ελκτική ή απωστική δύναμη μεταξύ τους αυξάνεται. Είναι αυτή η περίπτωση μας;

**Φοιτητής:** Να ελέγξουμε αν το γινόμενο των αντίστοιχων ζευγών P, V είναι σταθερό.

Εκτελέσαμε με υπολογιστή τσέπης τους πολλαπλασιασμούς και συμπληρώσαμε την τρίτη στήλη του πίνακα. Ο διδάσκων εξήγησε ότι οι διακυμάνσεις των τιμών στην τρίτη στήλη είναι «φυσιολογικές». Συμβαίνουν πάντοτε, όταν έχουμε πειραματικά δεδομένα, και οφείλονται στα πειραματικά σφάλματα.

Στη συνέχεια προσπαθήσαμε πρόχειρα να σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση της σχέσης P, V από τα δεδομένα του πίνακα. Η γραφική παράσταση είναι μια καμπύλη (υπερβολή).

#### 4<sup>η</sup> φάση – μικροσκοπική εξήγηση της ισόθερμης μεταβολής

Στη συνέχεια ο διδάσκων ζήτησε με βάση τη μικροσκοπική δομή των αερίων να εξηγήσουν οι φοιτητές της ομάδας το νόμο του Boyle.

**Διδάσκων:** Να περιγράψει κάποιος τη μικροσκοπική δομή ενός αερίου, θεωρώντας τα μόριά του σαν πολύ μικρές ελαστικές σφαίρες.

**Φοιτήτρια:** Τα μόρια κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις και χτυπούν μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου.

**Διδάσκων:** Αν μπορούσαμε να συγκεντρώσουμε όλα τα μόρια ορισμένης ποσότητας αερίου, που βρίσκεται σε ένα δοχείο π.χ. ενός λίτρου, τι μέρος του όγκου του δοχείου θα καταλάμβαναν τα μόρια;

**Φοιτητής:** Πολύ λίγο

**Διδάσκων:** Πόσο λίγο, μπορείς να γίνεις ποιο συγκεκριμένος;

Καμιά ποσοτική απάντηση δεν δόθηκε από τους φοιτητές της συμβατικής ομάδας. Εξήγησα ότι ο όγκος των μορίων είναι ένα πολύ μικρό μέρος του όγκου που καταλαμβάνει το αέριο. Για συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ο συνολικός όγκος των μορίων ενός



αερίου είναι μικρότερος από το 1% του όγκου που καταλαμβάνει το αέριο. Το μεγαλύτερο μέρος του χώρου είναι κενό.

*Διδάσκων:* Από τι εξαρτάται η ταχύτητα των μορίων ενός αερίου ορισμένου όγκου;

*Φοιτήτρια:* Η θερμοκρασία αερίου και η ταχύτητα των μορίων του έχουν σχέση.

*Διδάσκων:* Στην κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων που διδαχθήκατε στο

λύκειο είχατε μάθει τη σχέση  $\frac{3}{2}K.T = \frac{1}{2}M\overline{U^2}$ , δηλαδή η μέση κινητική ενέργεια των μορίων (ενός ιδανικού αερίου) που οφείλεται μόνο στη μεταφορική τους κίνηση, εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του αερίου.

*Διδάσκων:* Εφ' όσον δεχθήκαμε σταθερή τη θερμοκρασία του αερίου, πως μπορούμε να εξηγήσουμε ποιοτικά το νόμο της ισόθερμης μεταβολής;

*Φοιτητής:* Όσο το αέριο περιορίζεται, τα μόρια θέλουν να καταλάβουν τον αρχικό όγκο και ασκούν μεγαλύτερη πίεση.

*Διδάσκων:* Τα μόρια δεν έχουν βούληση. Με ποιον τρόπο τα μόρια αερίου ασκούν πίεση;

*Φοιτητής:* Χτυπούν στα τοιχώματα του δοχείου σαν ελαστικές σφαίρες και ανακλώνται.

*Διδάσκων:* Η μέση ταχύτητα των μορίων που χτυπούν στα τοιχώματα είναι σταθερή αφού η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή. Πώς θα εξηγήσουμε ότι η πίεση του αερίου αυξάνεται, όταν ο όγκος του ελαττώνεται;

*Φοιτητής:* Τα μόρια έχουν την ίδια ταχύτητα, αλλά έχουν να κάνουν μικρότερη διαδρομή μέχρι να χτυπήσουν στα τοιχώματα.

*Διδάσκων:* Σωστά, όσο ελαττώνεται ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο τόσο ο αριθμός των κρούσεων ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται.

Τελικά ο διδάσκων συνόψισε τα στοιχεία της συζήτησης και εξήγησε ότι: Τα μόρια αερίου κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις, συγκρούονται με τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο περιέχονται και ασκούν δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας του δοχείου, δηλαδή πίεση, που είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή θεωρήσαμε την θερμοκρασία σταθερή, η μέση ταχύτητα των μορίων του αερίου παραμένει σταθερή. Όταν όμως ο χώρος στον οποίο κινούνται τα μόρια του αερίου ελαττώνεται, τότε ο αριθμός των μορίων ανά μονάδα όγκου αυξάνεται, η πυκνότητα του αερίου αυξάνεται, και ο αριθμός των κρούσεων ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται. Συνεπώς και η πίεση που ασκεί το αέριο αυξάνεται.

Ανάλογη διδακτική μέθοδος ακολουθήθηκε και για τη διδασκαλία των υπόλοιπων θεμάτων-προβλημάτων.

### Διδασκαλία λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο

### 7.5 Δοκιμαστική εφαρμογή διδασκαλίας λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο

Κατά το σχεδιασμό της έρευνας είχε ανακύψει ένας αριθμός ερωτημάτων.

α) Κατά πόσο μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, συνεργαζόμενοι σε ομάδες και με τη βοήθεια του διδάσκοντα θα μπορούσαν εργαζόμενοι στο χώρο του σχολικού εργαστηρίου να φτάσουν σε κάποια απάντηση που θα ήταν σε ένα βαθμό αποδεκτή σ' ένα τιθέμενο πρόβλημα. Ποια θα πρέπει να είναι η ελάχιστη γνωστική υποδομή των μαθητών, πριν εμπλακούν σε μια τέτοια διαδικασία.

Ανάλογες απόπειρες δεν έχουν γίνει στη χώρα μας και επιπλέον η διεθνής βιβλιογραφία στο πεδίο αυτό είναι αρκετά περιορισμένη.

β) Ποια θα είναι η στάση των μαθητών σε μια τέτοια πρωτόγνωρη γι' αυτούς διδακτική μέθοδο;

γ) Σε ποιο βαθμό η υπάρχουσα εργαστηριακή υποδομή των σχολείων μπορεί να υποστηρίξει μια τέτοια απόπειρα και ποια η προετοιμασία του εργαστηρίου από το διδάσκοντα;

δ) Ποια πρέπει να είναι η προετοιμασία και η γνωστική υποδομή του διδάσκοντα, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί ιδέες, προτάσεις, και ενδεχομένως πειραματικές απαιτήσεις των μαθητών, που θα είναι πέρα από τις δεξιότητές τους αλλά και τις δυνατότητες της εργαστηριακής υποδομής του σχολείου.

Σ' αυτή τη φάση της έρευνας, ο γράφων ήταν αρκετά επιφυλακτικός κατά πόσο ένα τέτοιο εγχείρημα θα μπορούσε να είναι πραγματοποιήσιμο και θα έδινε αποτελέσματα που θα μπορούσαν να αξιολογηθούν. Την επιφυλακτικότητα αυτή δε συμεριζόταν ο επιβλέπων καθηγητής. Ήταν αισιόδοξος.

Δοκιμαστική εφαρμογή της λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο από ομάδες μαθητών έγινε από τον γράφοντα και τον επιβλέποντα καθηγητή προς το τέλος του σχολικού έτους 2001-2002 μ' ένα τμήμα α' λυκείου (2<sup>ο</sup> Ενιαίο Λύκειο Φιλιππιάδας) με 18 μαθητές.

Οι μαθητές χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες των 4-5 ατόμων και διατέθηκαν δύο συνεχόμενες διδακτικές ώρες (χρόνος 95 λεπτά). Η όλη διαδικασία διεξήχθη στο εργαστήριο του σχολείου στο οποίο είχε από πριν γίνει μια διευθέτηση του χώρου καθώς και μια προετοιμασία από τον γράφοντα σε όργανα και υλικά που σχετίζονταν με την πειραματική λύση των προβλημάτων που θα ετίθεντο. Σε κάθε μια από τις τέσσερις ομάδες δόθηκε ένας αριθμός λευκών φύλλων, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονταν φύλα καρπονιζέ. Έτσι κάθε ομάδα έγραφε τις ιδέες και τις προτάσεις της καθώς και τις διάφορες φάσεις που θα ακολουθούσε για την επίλυση του προβλήματος. Τα αντίγραφα των φύλλων τα παρέδωσαν στο τέλος της διαδικασίας για περαιτέρω μελέτη. Στο πάνω μέρος των φύλλων που δώσαμε σε κάθε ομάδα είχαμε γράψει τον τίτλο του προβλήματος. Τα τέσσερα προβλήματα που τέθηκαν ήταν τα προβλήματα 1, 2, 3, και 6 που τέθηκαν στους φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» κατά την κανονική έρευνα. Στο πρόβλημα 1 αντί για την εύρεση της πυκνότητας του αέρα, κατά τη δοκιμαστική εφαρμογή, εξητείτο η εύρεση της πυκνότητας του διοξειδίου του άνθρακα.



Για τη λύση κάθε προβλήματος ακολουθήθηκαν οι φάσεις που αναλυτικά περιγράφουμε στην παρακάτω ενότητα (μια απόπειρα μοντελοποίησης της εργασίας στο εργαστήριο). Καμιά ομάδα δεν κατάφερε να δώσει με την πρώτη προσπάθεια μια πρόταση που να ήταν πραγματοποιήσιμη και να δίνει μια αποδεκτή λύση.

Το συμπέρασμα απ' αυτή τη δοκιμαστική απόπειρα με μαθητές α' λυκείου ήταν ότι οι μαθητές συνεργαζόμενοι σε ομάδες και με τη βοήθεια και την ενθάρρυνση των διδασκόντων, αν και δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία, μπόρεσαν να διαρθρώσουν μια πειραματική διαδικασία που να δίνει μια αποδεκτή απάντηση στο πρόβλημα που αντιμετώπισαν. Παρά τη διστακτικότητα που έδειξαν στην αρχή οι ομάδες, το όλο κλίμα μεταξύ των ομάδων και η συνεργασία με τους διδάσκοντες ήταν θετική. Στην τελευταία φάση, φάση κοινωνικοποίησης της λύσης του προβλήματος, όπου η κάθε ομάδα παρουσίαζε στις υπόλοιπες, τη διαδικασία που ακολούθησε για τη λύση του προβλήματος και το αποτέλεσμα που βρήκε, κάποιοι μαθητές από κάθε ομάδα έδειξαν διστακτικότητα και απροθυμία να παρουσιάσουν τι η ομάδα τους έκανε, ενώ κάποιοι άλλοι ήθελαν να μονοπωλήσουν την παρουσίαση.

Οι μαθητές φάνηκε να έχουν τη γνωστική υποδομή για να κινηθούν σ' ένα πλαίσιο λύσης απλών προβλημάτων στο εργαστήριο. Έχουν όμως ελλείψεις σε εργαστηριακή εμπειρία και μικρή δεξιότητα στο χειρισμό συσκευών.

Γενικά οι μαθητές έδειξαν ότι την όλη διαδικασία τη χάρηκαν, πιθανώς επειδή έσπασε η μονοτονία του μαθήματος χημείας με κιμωλία και πίνακα. Μπορεί και ρόλο να έπαιξε η παρουσία δύο νέων δασκάλων (του γράφοντος και του επιβλέποντα καθηγητή) καθώς και ένα κλίμα ελευθερίας που επικράτησε στο εργαστήριο και η μη σύνδεση της όλης διαδικασίας με κάποια μορφή αξιολόγησης. Πάντως η αποκόμιση κάποιας μορφής ευχαρίστησης κατά τη μάθηση στο σχολείο είναι ένας σοβαρός παράγοντας που έχει παραμεληθεί.

Από την εμπειρία της δοκιμαστικής εφαρμογής προέκυψαν χρήσιμα στοιχεία, που τροφοδότησαν και βελτίωσαν το σχεδιασμό της κύριας έρευνας. Εμπλούτισαν και βελτίωσαν τον εργαστηριακό εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Στην περίπτωση του πρώτου πειράματος, εύρεση της πυκνότητας του διοξειδίου του άνθρακα, το πρόβλημα τροποποιήθηκε και στην παρέμβαση Β ζητήθηκε η εύρεση της πυκνότητας του αέρα. Ο κυριότερος λόγος ήταν ότι δεν διαθέταμε το διοξείδιο του άνθρακα έτοιμο σε οβίδα, ώστε να μπορούν να το εισάγουν σε δοχείο. Έτσι η ομάδα δαπάνησε ένα μεγάλο μέρος του χρόνου στο πως θα παρασκευαστεί το διοξείδιο του άνθρακα και πως αυτό θα συλλεχθεί σε ένα δοχείο, ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε τη μάζα και τον όγκο του. Η πραγματοποίηση της χημικής αντίδρασης για την παρασκευή του διοξειδίου του άνθρακα έγινε χρησιμοποιώντας σόδα και οξικό οξύ. Η διαδικασία αυτή έτεινε να μετατοπίσει την ομάδα από τον κύριο στόχο της.

Αυτό ήταν ένα βασικό συμπέρασμα από τη δοκιμαστική φάση. Το κάθε πρόβλημα που τίθεται να μην εμπεριέχει και ένα άλλο πρόβλημα. Διαφορετικά ο χρόνος δεν επαρκεί και επιπλέον οι μαθητές θα πρέπει να ανακαλέσουν ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματικότητα και απογοήτευση.





Τα προβλήματα που τίθενται πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερα και να έχουν κάθε φορά έναν κύριο στόχο.

### 7.6 Λύση προβλημάτων στο εργαστήριο - «Ομάδα πειραμάτων»

Οι φοιτητές που πήραν μέρος σ' αυτή τη μέθοδο διδασκαλίας είχαν χωριστεί σε έξι μικρότερες ομάδες (Πίνακας 7.1) και η όλη διαδικασία έλαβε χώρα στο εργαστήριο φυσικοχημείας του χημικού τμήματος. Κάθε ομάδα ο διδάσκων την τοποθέτησε σε έναν εργαστηριακό πάγκο και της έδωσε έναν αριθμό από φύλλα αναφοράς και γραπτώς την εκφώνηση του προβλήματος που της εξητείτο να λύσει.

Επιπλέον ένας αριθμός από συσκευές και όργανα είχαν συγκεντρωθεί στο βάθος του εργαστηρίου στα οποία είχε πρόσβαση μόνο ο διδάσκων και μια υποψήφια διδάκτωρ (Β. Νταλαούτη), η οποία βοήθησε στην όλη διαδικασία, κυρίως στο χειρισμό συσκευών και σε τεχνικά ζητήματα που προέκυπταν. Οι συσκευές δεν ήταν συναρμολογημένες, όμως είχε προηγηθεί από το διδάσκοντα-ερευνητή μια προετοιμασία, ώστε οι μαθητές να μην ξοδέψουν αρκετό χρόνο σε τεχνικές εργασίες, π.χ. σε πόματα φιαλών είχαν περαστεί σωληνάκια, ώστε να είναι έτοιμα για να συνδεθούν με άλλους σωλήνες εισαγωγής ή εξαγωγής αέρα ή κάποιου αερίου. Οι διατυπώσεις των προβλημάτων σε κάθε ομάδα ήταν ως κάτωθι:

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 1**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πυκνότητας του αέρα. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 2**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής διαπίστωσης του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και προσδιορισμού της περιεκτικότητά του. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 3**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πίεσης που ασκεί αέριο σ' ένα δοχείο σε mmHg (σε χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου). Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 4**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε ένα πείραμα διόγκωσης ενός φουσκωμένου μπαλονιού, χωρίς να εισάγετε επιπλέον ποσότητα αέρα σ' αυτό. Επιπλέον να προτείνετε ένα πείραμα σύνθλιψης αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης, με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στη συνέχεια να εκτελέσετε τα πειράματα.*

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 5**



*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της σχέσης μεταξύ πίεσης και όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 6 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 6**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σ' ένα μπουκάλι coca-cola. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

Οι φάσεις που ακολουθήθηκαν από κάθε ομάδα για τη λύση του προβλήματος περιγράφονται παρακάτω. Η κάθε ομάδα μετά την παρουσίαση της λύσης του προβλήματός της στις υπόλοιπες ομάδες παρέδιδε ένα αντίγραφο των φύλλων εργασίας της. Στοιχεία απ' αυτά τα φύλλα μεταγράφονται ή σκαναρισμένα αντίγραφά τους παρουσιάζονται (Παράρτημα ΙΙ) για να δείξουν πως οι ομάδες εργάστηκαν.

#### **Μια απόπειρα μοντελοποίησης της εργασίας στο εργαστήριο**

##### **7.7 Φάση μεταβίβασης του προβλήματος από τον διδάσκοντα στην ομάδα**

Η τοποθέτηση από τον διδάσκοντα καταστάσεων –προβλημάτων (situations - problems) είναι το πρωταρχικό υλικό για να θέσει σε τροχιά τη δραστηριότητα της ομάδας. Η διατύπωση του προβλήματος φροντίσαμε να είναι σύντομη και σαφής, ώστε να ορίζεται τι ακριβώς ζητείται και τι πρέπει να επιτευχθεί από την ομάδα. Επιπλέον διευκρινίσαμε με την προηγούμενη διδασκαλία (παρέμβαση Α) το εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο τοποθετείται το κάθε πρόβλημα. Για παράδειγμα σε ένα από τα προβλήματα που θέσαμε ζητούσαμε να επινοήσουν έναν τρόπο για να συνθλίβουν ένα αλουμινένιο κουτί αναψυκτικού με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Χωρίς τη διευκρίνιση το πρόβλημα δεν θα επιτύγχανε το στόχο του, που στην περίπτωση αυτή είναι αφ' ενός η συνειδητοποίηση της ύπαρξης της ατμοσφαιρικής πίεσης και αφ' ετέρου ν' αντιληφθούν οι φοιτητές ότι η παραμόρφωση των σωμάτων μπορεί να είναι αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης μεταξύ των επιφανειών τους. Η φάση αυτή φτάνει μέχρι το σημείο όπου ο διδάσκων είναι βέβαιος ότι η ομάδα έχει κατανοήσει το πρόβλημα που της τέθηκε και είναι έτοιμη να το οικειοποιηθεί.

Ένα πρόβλημα που τίθεται, για να αντιμετωπιστεί στο εργαστήριο, πρέπει να έχει ορισμένα χαρακτηριστικά (Furio Mas et al., 1994, Darley, 1989, Millar, 1996).

- ο Να είναι ενδιαφέρον για τους μαθητές και αυτοί να το αισθανθούν σαν πραγματικό πρόβλημα.
- ο Η λύση του προβλήματος να βρίσκεται στο πλαίσιο των ικανοτήτων της πλειοψηφίας των μαθητών και αυτοί να αισθανθούν ότι είναι ικανοί να το αντιμετωπίσουν, χρησιμοποιώντας τις θεωρητικές και πρακτικές γνώσεις που έχουν.
- ο Να μην είναι παρόμοια με τις συνηθισμένες εργασίες, ούτε όμως γενικά και «ανοιχτά» σε ερωτήματα προσωπικής γνώμης.



- ο Να είναι πρωτότυπα, ώστε η λύση τους να μη μπορεί να βρεθεί αμέσως. Οι σπουδαστές να απαιτείται να συνδυάσουν προαποκτηθείσες γνώσεις, να δομήσουν υποθετικο-αναγωγικούς συλλογισμούς, για να αναλύσουν το πρόβλημα σε επιμέρους προβλήματα και στη συνέχεια να τα συνθέσουν για να φτιάξουν ένα καινούριο σύνολο.
- ο Οι απαντήσεις που προκύπτουν να επιβεβαιώνουν ότι άξιζε η προσπάθεια του πειραματισμού και επιπλέον να βοηθούν τους σπουδαστές να συνειδητοποιήσουν κενά και αδύνατα σημεία από την προηγούμενη μάθησή τους.

Τα προβλήματα που τέθηκαν στους φοιτητές του δείγματός μας, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό ικανοποιούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

### 7.8 Η φάση οικειοποίησης του προβλήματος από την ομάδα

Από τους μαθητές της κάθε ομάδας εξητείτο κατ' αρχήν να διαβάσουν προσεχτικά τη διατύπωση του προβλήματος. Στη συνέχεια οι μαθητές αντάλλαξαν απόψεις και πρότειναν ένα σχεδιασμό πειράματος για το πως θα μπορούσαν να απαντήσουν στο πρόβλημα. Ο σχεδιασμός στη συνέχεια παρουσιαζόταν από την ομάδα στον διδάσκοντα, ο οποίος έθετε ερωτήματα που υποδείκνυαν εννοιολογικά λάθη ή επεσήμανε ότι οι συσκευές που ζητούσαν δεν ήταν διαθέσιμες ή αν υπήρχαν απαιτούσαν μια προετοιμασία για το χειρισμό τους και θα έκαναν το πείραμα σύνθετο.

Η επαναδιατύπωση του προβλήματος με ισοδύναμο τρόπο από την ομάδα, αν αυτό είναι προς την κατεύθυνση μιας μεγαλύτερης κατανόησής του, είναι ευπρόσδεκτη. Περαιτέρω μια σειρά από υποθέσεις πρέπει να γίνουν και να διερευνηθούν οι συνέπειές τους προς την κατεύθυνση κατάρτισης ενός project που θα δίνει νόημα στο πρόβλημα που τέθηκε. Η ανάκληση των εννοιών που σχετίζονται με το πρόβλημα και η ένταξή τους στο κατάλληλο εννοιολογικό πλαίσιο θα δώσουν έναν αριθμό πιθανών απαντήσεων, που αναμένεται να ελεγχθούν από την πειραματική διαδικασία που θα ακολουθηθεί.

### 7.9 Φάση διαμόρφωσης μιας πειραματικής διαδικασίας

Στη φάση αυτή η ομάδα κινείται προς την κατεύθυνση δόμησης μιας αναπαράστασης της εργασίας που έχει να επιλύσει και του τρόπου που πρέπει να την προσεγγίσει. Σύμφωνα με τον Darley (1994) η φάση αυτή «κυριαρχείται από υποθέσεις και διερεύνηση των συνεπειών τους, καταρτίζοντας μοντέλα που να είναι ικανά να παρουσιάσουν το φαινόμενο που περιγράφεται στη διατύπωση, επινοώντας μια πειραματική διαδικασία που να επικυρώνει τις υποθέσεις και τα προτεινόμενα μοντέλα».

Η αναζήτηση και η διαμόρφωση μιας πειραματικής διάταξης από την πλευρά της ομάδας και η λήψη αποφάσεων για το τι και πως θα χρησιμοποιηθεί για τη λύση του προβλήματος δεν προκύπτει άμεσα. Οι αποφάσεις δεν παίρνονται αυτόματα. Η οργάνωση συζητήσεων ανάμεσα στα μέλη της ομάδας γύρω απ' αυτές τις αποφάσεις φαίνεται να είναι η δεύτερη απαραίτητη σύνθεση. Στη φάση αυτή η ομάδα θα πρέπει να δομήσει ένα πρόγραμμα που να περιλαμβάνει τις διαδικασίες για τη λύση του προβλήματος.



Η αναζήτηση οργάνων και χημικών ουσιών που πιθανόν θα χρειαστούν και η επινόηση μιας πειραματικής διάταξης μπορεί να συμπεριλαμβάνεται στη φάση αυτή. Κάποιες ομάδες ζητούν κάποιες συσκευές ή ουσίες και με τη βοήθεια αυτών προσπαθούν να σκεφτούν μια διαδικασία που θα τους επιτρέψει να δώσουν μια απάντηση στο πρόβλημα. Ο χειρισμός του υλικού σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι χωρίς ένα συγκεκριμένο πλάνο πειραματισμού. Η ιδέα μιας πιο σχηματοποιημένης πειραματικής διαδικασίας τους «έρχεται» στην πορεία. Αυτός ο χειρισμός τους επιτρέπει να εξοικειωθούν με τις συσκευές και τα φαινόμενα (π.χ. φυσώντας ελαφρά σε ένα σωλήνα του οποίου το άλλο άκρο είναι στη βάση ενός ανεστραμμένου κυλίνδρου με νερό, παρατηρούν τις φυσαλίδες και την εκτόπιση του νερού από τον κύλινδρο). Αυτό είναι μια μορφή οικειοποίησης του προβλήματος μέσω μιας τακτικής που μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ως *προσαρμοστική* (Laugier & Dumon, 2003).

Μια σχηματική αναπαράσταση στο χαρτί της πειραματικής διάταξης, που θα δείχνει τα διάφορα μέρη της και τον τρόπο που θα συναρμολογηθούν, θα δώσει μια εικόνα του τι οι μαθητές έχουν επινοήσει για τη διαπραγμάτευση του προβλήματος και το βαθμό που η διάταξη αυτή θα μπορούσε να δώσει μια αποδεκτή απάντηση στο πρόβλημα. Αυτή τη συμπεριφορά ο Schneberger (1999) τη χαρακτηρίζει ως *διερευνητική* και παρατηρείται σ' αυτούς που είναι ήδη ικανοί να επιστρατεύσουν ένα μεγάλο μέρος από τις σχετικές με το πρόβλημα γνώσεις.

Στη φάση αυτή αναφέρονται νέα ερωτήματα και συχνά περιπτώσεις διαφωνίας, που μπορεί να οδηγήσουν σε μια νέα επαναδιαμόρφωση ή απόρριψη της προτεινόμενης διαδικασίας. Η αδυναμία να βρεθούν συσκευές, οι οποίες είτε δεν υπάρχουν σ' ένα εργαστήριο είτε η χρησιμοποίησή τους απαιτεί πρώτα οι μαθητές να μάθουν πολύπλοκες τεχνικές χειρισμού, οδηγεί στο να αναθεωρήσουν τη σχεδιασθείσα πειραματική διαδικασία και να στραφούν σε πειραματικές διατάξεις που είναι όσο το δυνατό πιο απλές. Στο πρόβλημα για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του οξυγόνου στον αέρα μια πρόταση της ομάδας ήταν «να υγροποιήσουμε τον ατμοσφαιρικό αέρα και στη συνέχεια απ' αυτόν να πάρουμε το οξυγόνο». Η πρόταση αυτή, αν και σωστή, αγνοεί την εργαστηριακή υποδομή και τις τεχνικές ικανότητες που απαιτούνται για μια τέτοια διαδικασία. Για το λόγο αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

Τα προκαταρκτικά σχέδια κάθε ομάδας, οι βελτιώσεις-τροποποιήσεις που έγιναν μετά από συζήτηση με τον διδάσκοντα καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφονται αναλυτικά για κάθε πρόβλημα στο Παράρτημα II. Γενικά στη φάση αυτή ο διδάσκων έθετε ερωτήματα με σκοπό να θέσει τη σκέψη της ομάδας σε μια πορεία επανεξέτασης και βελτίωσης του σχεδιασμού της. Αν κάποια ομάδα δεν ήταν αρκετά σίγουρη για να ξεκινήσει το σχεδιασμό, ο διδάσκων την ενθάρρυνε. Αν η ομάδα δεν είχε κάποια ιδέα πως να ξεκινήσει ο διδάσκων τους έδινε κάποιες ιδέες, προσπαθούσε να τους θυμίσει έννοιες ή περιγραφές γεγονότων ή πειραμάτων από τα σχολικά τους βιβλία, όχι όμως να δώσει μια «συνταγή» για το πως να αντιμετωπίσουν πειραματικά το πρόβλημα. Κατά τη διάρκεια αυτών των διαδικασιών οι μαθητές ενθαρρύνθηκαν προς μια κατεύθυνση «ανεξαρτησίας» από τον διδάσκοντα, να έχουν εμπιστοσύνη στη δική τους «κοινή χημική / φυσική αίσθηση».



### 7.10 Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Στη διάρκεια αυτής της φάσης η ομάδα περνάει από τις υποθέσεις και το σχεδιασμό στην εφαρμογή. Η έλλειψη πειραματικής εμπειρίας και η έλλειψη επιδεξιότητας στο χειρισμό απλών εξαρτημάτων και συσκευών είναι παρούσες στη φάση αυτή. Επιπλέον η πειραματική πραγματικότητα εμπλέκει παραμέτρους που δεν τις είχαν σκεφτεί στην προηγούμενη φάση.

Στην περίπτωση μέτρησης της πυκνότητας του αέρα, η ιδέα να ζυγιστεί ένα ξεφουσκωτο μπαλόνι με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού και στη συνέχεια το ίδιο μπαλόνι φουσκωμένο να ξαναζυγιστεί, για να προσδιοριστεί η μάζα του αέρα που περιέχεται στο φουσκωμένου μπαλονιού, συνάντησε την απορία γιατί η δεύτερη μέτρηση έδινε σχεδόν την ίδια τιμή με την πρώτη. Η δράση της άνωσης στο μπαλόνι δεν είχε προβλεφθεί. Έτσι το βάρος του αέρα στο μπαλόνι αντισταθμιζόταν από την άνωση και επιπλέον το μπαλόνι δεν ακουμπούσε καλά στην επιφάνεια του ηλεκτρονικού ζυγού. Το συμπέρασμα ότι η άνωση σε δοχείο που περιέχει αέρα θα πρέπει να είναι η ίδια είτε αυτό περιέχει αέρα είτε όχι μας αναγκάζει να χρησιμοποιήσουμε δοχείο με σχεδόν σταθερά τοιχώματα. Επιπλέον το πόσο επηρεάζει η άνωση του αέρα τη μέτρηση της μάζας του αέρα είναι μια καλή ευκαιρία για εκτίμηση του βάρους ορισμένου όγκου αέρα. Το πείραμα δεν αφήνει περιθώρια παραλείψεων και συγκαλύψεων σε αντίθεση με τη λύση προβλημάτων με χαρτί και μολύβι, όπου ο σπουδαστής φτάνει σε μια λύση χωρίς να έχει σκεφτεί τους παράγοντες που εμπλέκονται στο πρόβλημα, αφού η εκφώνηση του προβλήματος και τα δεδομένα που δίδονται τους αποσιωπούν.

Η αποδοχή του πειραματικού σχεδιασμού περνάει από διαδοχικές βελτιώσεις και αναθεωρήσεις του αρχικού. Στο σημείο αυτό η παρέμβαση του διδάσκοντα είναι να ενθαρρύνει την ομάδα στο βαθμό που κινείται προς μια «βιώσιμη» διαδικασία ή να θέσει ερωτήματα σε σχέση με σημεία της προτεινόμενης διαδικασίας, που δεν εδράζονται σε σωστή εννοιολογική βάση, ή να θεωρήσει ότι η όλη πειραματική διαδικασία είναι περίπλοκη και έξω από τις δυνατότητες του εργαστηριακού εξοπλισμού αλλά και του χρόνου που διατίθεται. Επιπλέον, σε ζητήματα που συνδέονται με την ασφάλεια των φοιτητών και του εργαστηρίου, ο διδάσκων πρέπει να δίνει ιδιαίτερη προσοχή.

Τα παραπάνω θέτουν περιορισμούς και θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι η ομάδα στο τέλος επινοεί μια πειραματική λύση προβλήματος που είναι πολύ πιθανόν εξ' αρχής να έχει επιλέξει ο διδάσκων. Στο σημείο αυτό υπάρχει μια ενδιαφέρουσα συζήτηση περί ισομορφισμού (isomorphisme) ανάμεσα στην εργασία των σπουδαστών και των ερευνητών. Ο Furio Mas et al. (1994) επισημαίνουν τις έντονες διαφορές ανάμεσα στην επιστημονική έρευνα, που διεξάγεται από τον ερευνητή, και αυτή που διεξάγεται από τον σπουδαστή. Αυτές οι διαφορές εκδηλώνονται στη διάρκεια των διαφόρων φάσεων της πορείας που ακολουθείται από τους μεν και τους δε.

Μια χαρακτηριστική διαφορά είναι ότι ο ερευνητής είναι ενήμερος της σχετικής βιβλιογραφίας, πριν ξεκινήσει ένα ερευνητικό project, και έχει συσσωρευμένη πείρα που θα του επιτρέψει να κάνει επιλογή μεταξύ πολλών εναλλακτικών διαδικασιών. Επιπλέον



έχει σε μεγάλο βαθμό δομημένο ένα θεωρητικό μοντέλο, με βάση το οποίο θα κινηθεί και θα ερμηνεύσει τα αποτελέσματά του. Έχει εξοικειωθεί με τις συσκευές και τον τρόπο λειτουργίας τους, πριν αρχίσει να τις χρησιμοποιεί και είναι εξοπλισμένος με μια ερευνητική μεθοδολογία που είναι δοκιμασμένη από την ιστορική διαδρομή της επιστήμης. Στην περίπτωση της λύσης προβλήματος με τη βοήθεια πειράματος από τους σπουδαστές, όταν μια πειραματική διάταξη επινοηθεί και αυτή δίνει μια απάντηση στο πρόβλημα, η όλη διαδικασία θεωρείται επιτυχής. Περαιτέρω διορθώσεις, αναθεωρήσεις και βελτιώσεις είναι επιθυμητές. Όμως κάτι τέτοιο στην περίπτωση των σπουδαστών θα το επιφέρει η συνεχής έκθεσή τους σε τέτοιας μορφής διαδικασίες, κατά τη διάρκεια των σπουδών τους. Οι σπουδαστές διαγράφουν μια τροχιά μάθησης που είναι πιθανόν να καταλήξει κοντά στο σημείο απ' όπου ξεκινάει ο ερευνητής.

Επιπλέον ο Laugier (1998) επισημαίνει ότι, αν στο πλαίσιο μιας πειραματικής διδασκαλίας, εκτός σχολικού χρόνου, είναι δυνατόν ν' αφήσουμε το μαθητή ν' αποτύχει στην πραγματοποίηση μιας εργασίας που του ανατέθηκε, όμως σε ένα πειραματισμό, στο πλαίσιο του διδακτικού χρόνου, μέσα στην τάξη, οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές έχουν αποδεχθεί μια συνεργασία και αυτή πρέπει να είναι σεβαστή. Η σύμβαση για συνεργασία και διδασκαλία επιβάλλει οι διδάσκοντες να μάθουν κάποια πράγματα στους μαθητές τους.

Πριν η ομάδα αρχίσει την εφαρμογή της πειραματικής διαδικασίας, μια μορφή επικύρωσης από τον διδάσκοντα για την επινοηθείσα διάταξη και την αποτελεσματικότητά της στην απάντηση του προβλήματος, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι αναγκαία. Επιπλέον, σημεία που σχετίζονται με το χειρισμό οργάνων και άλλα τεχνικά ζητήματα πρέπει να επισημανθούν από τον διδάσκοντα στην ομάδα. Π.χ. στο πρόβλημα που ζητούσε την εύρεση της σχέση πίεσης – όγκου ενός αερίου, η επισήμανση να μετακινούν σιγά –σιγά το έμβολο της σύριγγας, περίπου κατά 5ml ήταν μια υπόδειξη που έγινε στην ομάδα. Άλλα σημεία που περαιτέρω πρέπει να διευκρινιστούν και ερμηνείες αφήνονται στην ομάδα.

### 7.11 Φάση αξιολόγησης

Στη φάση αυτή η ομάδα και ο διδάσκων επιβεβαιώνουν αν η πειραματική διάταξη και η διαδικασία που ακολουθήθηκε δίνει τις μετρήσεις για μια λύση του τεθέντος προβλήματος. Σε ποιο βαθμό τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά και πως αυτά μπορούν να μετασχηματιστούν και να ερμηνευτούν με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων.

Αυτή η φάση καταλήγει μερικές φορές σε νέα ερωτήματα σε σχέση με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και στον εντοπισμό παραμέτρων, κατά την εκτέλεση του πειράματος, που δεν είχαν προβλεφθεί από την αρχή. Ένας επανασχεδιασμός πιο βελτιωμένος του πειράματος ή χρησιμοποίηση άλλων πιο κατάλληλων ουσιών ή μια αλλαγή της τεχνικής μπορούν να προκύψουν. Βέβαια, ο περιορισμένος διδακτικός χρόνος λίγα περιθώρια αφήνει για τέτοιες επαναλήψεις.

### 7.12 Φάση ερμηνείας των αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση δεν είναι αποκλειστικά πειραματική. Ο Brousseau (1998) υποστηρίζει ότι αυτή αρχίζει εφ' όσον οι μαθητές συζητούν με τρόπο κριτικό και επιχειρηματολογούν για τη μέθοδο που ακολούθησαν. Οι διαδοχικές προσεγγίσεις για τη δόμηση μιας πειραματικής διάταξης είναι μορφές αξιολόγησης.

Η υπόδειξη του διδάσκοντα να αξιολογήσουν κάποιες τιμές μετρήσεων, που παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από μια «μορφή κανονικότητας» που παρουσιάζουν οι υπόλοιπες, βελτιώνουν τα πειραματικά τους αποτελέσματα και εισάγουν στοιχεία επιστημονικής μεθοδολογίας. Η επανάληψη των μετρήσεων με σκοπό τη βελτίωσή τους, μετά την απόκτηση κάποιας εμπειρίας από την πρώτη προσπάθεια μέτρησης ή η επινόηση εναλλακτικών μορφών μέτρησης, είναι στοιχεία που εισάγουν κρίσιμες επιστημονικές δεξιότητες.

Π.χ., για τη μέτρηση του όγκου ενός μπαλονιού θα μπορούσαν να εφαρμόσουν στο πλαίσιο ενός σχολικού εργαστηρίου τρεις τρόπους: α) να μετρήσουν με ένα νήμα την περίμετρο του μπαλονιού στο ισημερινό επίπεδο και σ' ένα μεσημβρινό, να βρουν τη μέση τιμή των δύο μηκών και από αυτή να υπολογίσουν την ακτίνα της «σφαίρας». β) να προσαρμόσουν το μπαλόνι σε δύο κάθετα επίπεδα (κατακόρυφος τοίχος, οριζόντιο θρανίο) και με δύο χάρακες να μετρήσουν την κατά μήκος και ύψος έκταση του μπαλονιού. Από τις δύο μετρήσεις να βρουν την ακτίνα του μπαλονιού και γ) να βυθίσουν το μπαλόνι σε μια μεγάλη λεκάνη με νερό και να μετρήσουν με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου τον όγκο του εκτοπιζόμενου νερού. Τέτοιας μορφής λειτουργίες γίνονται σπάνια ή καθόλου στην περίπτωση λύσης προβλημάτων με χαρτί και μολύβι.

Η συσχέτιση των παρατηρούμενων φαινομένων κατά την εκτέλεση του πειράματος από τους φοιτητές και η ερμηνεία τους στο πλαίσιο της εννοιολογικής τους υποδομής είναι ένα κρίσιμο σημείο στη μάθηση. Η εξήγηση π.χ. του νόμου του Boyle με εφαρμογή της κινητικής θεωρίας των αερίων και η σχέση πίεσης-όγκου που προκύπτει από το πείραμα που εκτέλεσαν είναι μια μορφή ερμηνείας στο πλαίσιο ενός επεξηγηματικού μοντέλου. Η συσχέτιση με τις αρχικές υποθέσεις και ο βαθμός επιβεβαίωσής τους επίσης αποτελούν στοιχεία της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση της καύσης ενός κεριού μέσα σε κλειστό κύλινδρο, που στηρίζεται στη βάση δοχείου που περιέχει νερό αναμένεται ένα κυρίως συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα να καταναλωθεί, η άνοδος όμως της στάθμης του νερού στον κύλινδρο (βλέπε, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II, Πρόβλημα 2 – Ομάδα πειραμάτων 2) δεν αντιστοιχεί στο 21% του αρχικού όγκου του αέρα στον κύλινδρο. Η αρχική υπόθεση θα πρέπει να ελεγχθεί στο πλαίσιο της καύσης, όπου αφ' ενός καταναλώνεται το οξυγόνο αφ' ετέρου παράγεται κυρίως διοξείδιο του άνθρακα που είναι λίγο διαλυτό στο νερό.

### 7.13 Φάση κοινωνικοποίησης

Στη φάση αυτή η ομάδα που έλυσε το πρόβλημα στο εργαστήριο κοινοποιεί στις υπόλοιπες ομάδες το πρόβλημα με το οποίο ασχολήθηκε, επιδεικνύει την πειραματική



διαδικασία που διάρθρωσε, εξηγεί τον τρόπο που έκανε τις μετρήσεις της ή τις επαναλαμβάνει και παρουσιάζει τη λύση που βρήκε.

Στη συνέχεια υποστηρίζει την πειραματική διαδικασία και εξηγεί τους λόγους που κατέληξε σ' αυτή μεταξύ άλλων εναλλακτικών. Ερμηνεύει τα αποτελέσματα που βρήκε στο πλαίσιο ενός επεξηγηματικού μοντέλου. Ερωτήσεις που τίθενται από τους φοιτητές των άλλων ομάδων καθώς και από τον διδάσκοντα στα μέλη της ομάδας, που παρουσιάζει την εργασία της, ολοκληρώνουν τη φάση αυτή.

Στην περίπτωση της δικής μας έρευνας υπήρξε η σκέψη να μεσολαβήσει, πριν την παρουσίαση της εργασίας κάθε ομάδας στις υπόλοιπες ομάδες, μια κατ' ιδίαν συζήτηση του διδάσκοντα με κάθε ομάδα για την προετοιμασία της παρουσίασης. Μια τέτοια φάση θα ενίσχυε συνδέσεις μεταξύ εννοιών και θα φώτιζε σημεία που δεν θα ήταν καθαρά μεταξύ των μελών της ομάδας. Επιπλέον θα συνέβαλε στη βελτίωση της λεκτικής διατύπωσης των μαθητών / φοιτητών και στη χρήση λέξεων ορολογίας. Η φάση αυτή δεν έγινε αφ' ενός λόγω έλλειψης χρόνου και αφ' ετέρου θα δημιουργούσε πλεονεκτήματα στην «ομάδα πειραμάτων» έναντι των άλλων συγκρινόμενων ομάδων.

Κατά τον Darley (1994) η φάση της κοινωνικοποίησης της απάντησης από την ομάδα αντιστοιχεί στη διαδικασία παρουσίασης ή δημοσίευσης της εργασίας των ερευνητών στην επιστημονική κοινότητα. Εδώ την «επιστημονική κοινότητα» αποτελεί το σύνολο των μαθητών που θα αποφανθεί πάνω στην απάντηση. Αυτή η διαδικασία ξεπερνά τα όρια της ομάδας που τη διατύπωσε και η απάντηση αποκτά ένα είδος επικύρωσης και παίρνει τη μορφή της κοινωνικοποιημένης γνώσης. Οι Robardet και Guillaud (1995) τη φάση αυτή την αναφέρουν ως το στάδιο ενίσχυσης της πορείας της μοντελοποίησης, ενώ οι Joshua και Dupin (1993) ως την πορεία της σαφούς επικύρωσης.

#### 7.14 Φάση επιβεβαίωσης της λύσης

Η φάση αυτή είναι δυναμική και στην περίπτωση της δικής μας έρευνας δεν πραγματοποιήθηκε. Εδώ η ομάδα μπορεί να ενισχύσει τα αποτελέσματά της καθώς και τις πειραματικές της επιλογές προστρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία. Η φάση αυτή μπορεί να λειτουργήσει ως μια επανάδραση ή ανατροφοδότηση (feed back) της όλης διαδικασίας και να επιφέρει βελτιώσεις. Π.χ. κατά τη μέτρηση της περιεκτικότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε οξυγόνο η καύση του κεριού στον κλειστό κύλινδρο παράγει διοξείδιο του άνθρακα, που ασκεί κάποια τιμή μερικής πίεσης και έτσι η μέτρηση δεν είναι ικανοποιητική. Αν όμως αντί για την καύση του κεριού χρησιμοποιηθεί καύση λευκού φωσφόρου, το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι αρκετά ικανοποιητικό, καθόσον παράγονται λευκοί ατμοί πεντοξειδίου του φωσφόρου, που είναι υγροσκοπική ουσία και έχει την τάση να ενωθεί με το νερό προς σχηματισμό φωσφορικού οξέος.

Περαιτέρω προτάσεις για εφαρμογές και επέκταση της πειραματικής εργασίας από κάθε ομάδα μπορούν να συμπληρώσουν την όλη διαδικασία. Η φάση αυτή απαιτεί χρόνο και θα μπορούσε να εφαρμοστεί με φοιτητές φυσικών επιστημών, που μέσα από διαδοχικές τροποποιήσεις και βελτιώσεις θα μπορούσαν να φτάσουν σ' ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα.





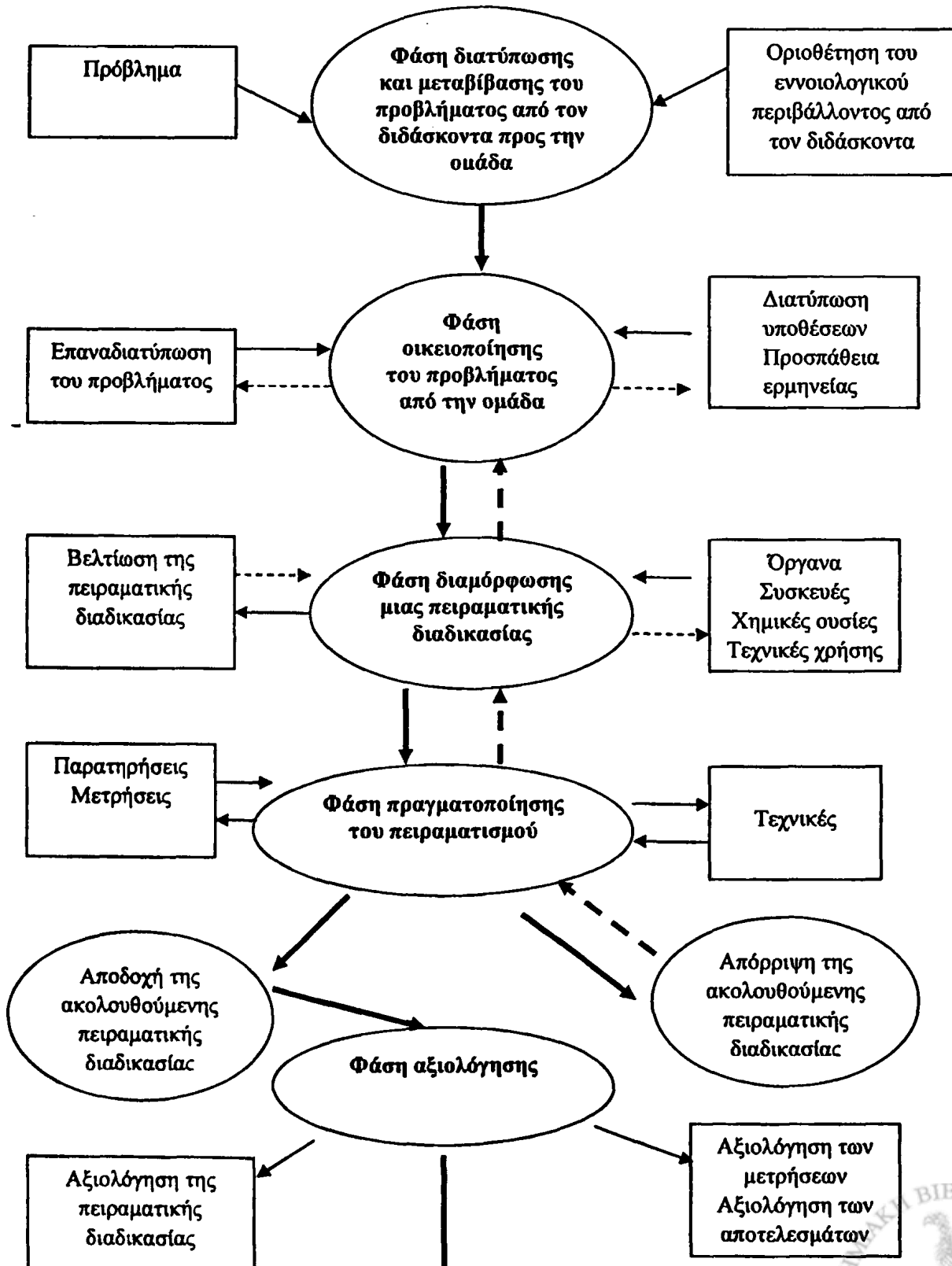
Τελειώνοντας την περιγραφή της πειραματικής λύσης προβλήματος από τους φοιτητές θέλουμε να επισημάνουμε ότι οι νοητικές (cognitives), συναισθηματικές (affectives) και ψυχοκινητικές (psychomotors) διεργασίες που συμβαίνουν εντός των ομάδων καθώς και οι αλληλεπιδράσεις των ομάδων με τον διδάσκοντα είναι ένα πολυπαραγοντικό θέμα. Όλα αυτά είναι πολύ δύσκολο να καταγραφούν και να μελετηθούν. Απαιτείται περισσότερη έρευνα με εστίαση σε διακεκριμένους και ξεκάθαρους επιμέρους στόχους, με μικρό αριθμό ομάδων και τη συμμετοχή 2-3 ερευνητών. Πάντως το όλο «σκηνικό», η ζωντάνια της ανταλλαγής απόψεων κατά τη συλλογική συζήτηση και οι αλληλεπιδράσεις υπογραμμίζουν την ενεργή συμμετοχή των φοιτητών και το σπάσιμο της «στατικής» κατάστασης στη διδασκαλία μέσα στην τάξη. Επιπλέον αξιωματικά σημειωθεί ότι οι προηγούμενες εμπειρίες των φοιτητών / μαθητών, οι περισσότερες αν όχι όλες, στη μάθηση της επιστήμης, κατευθύνονταν απ' τον διδάσκοντα. Ήταν επικεντρωμένες γύρω απ' αυτόν και συνέκλιναν προς τη «σωστή λύση».

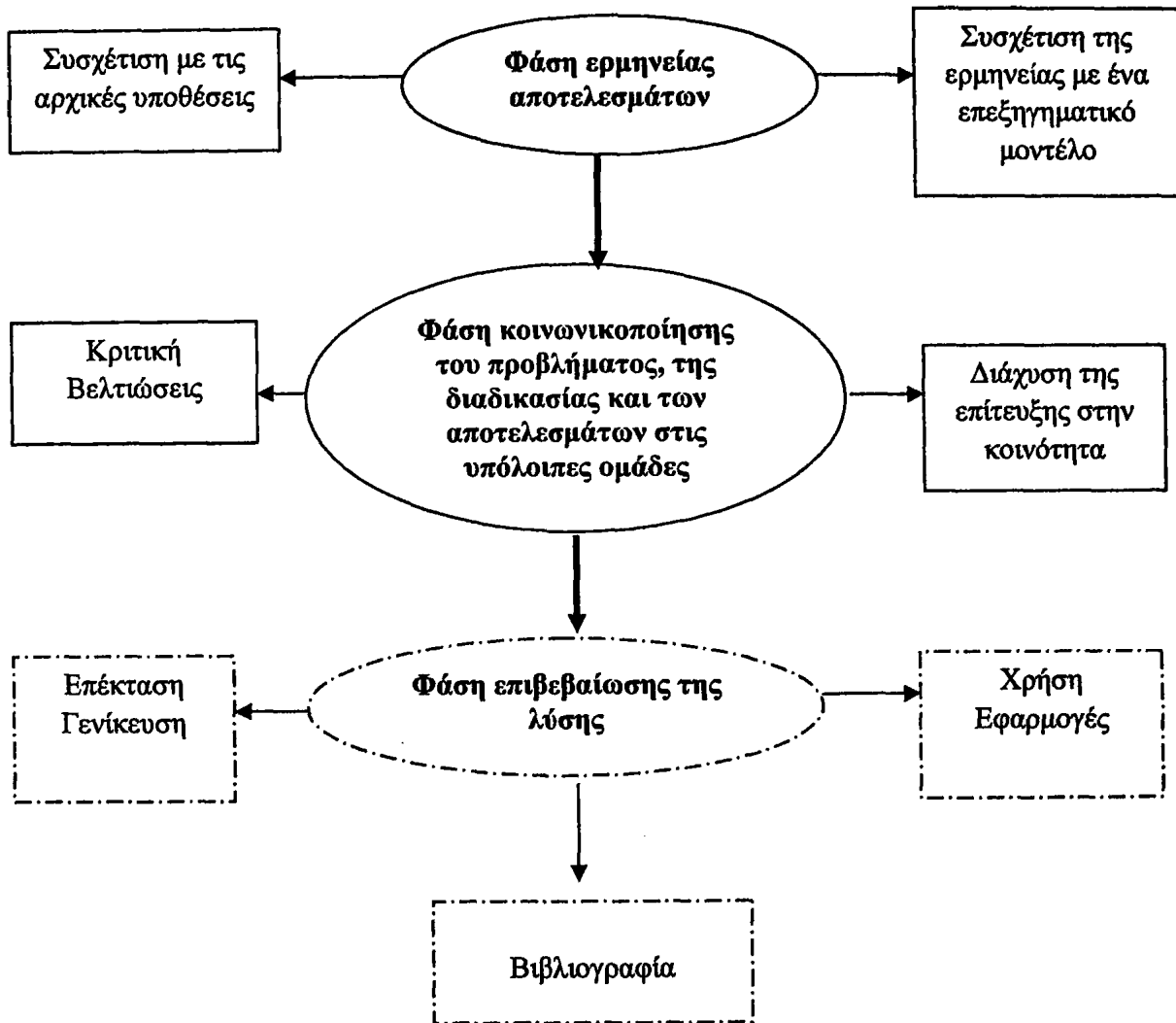
Η ποιότητα του τελικού σχεδιασμού από τις ομάδες των φοιτητών, η επιδεξιότητα εκτέλεσης της πειραματικής μεθόδου, η ακρίβεια των αναφερόμενων αποτελεσμάτων και η βοήθεια από τον διδάσκοντα δεν αξιολογήθηκαν. Στόχος ήταν η βελτίωση της κατανόησης και η συσχέτιση των εννοιών που συμπεριλαμβάνονταν σε κάθε πρόβλημα. Περαιτέρω δε να διερευνηθεί κατά πόσο οι μαθητές αυτοί έχουν βελτιώσει την ικανότητα τους στη λύση σχετικών προβλημάτων, σε σχέση με τους συμμαθητές τους που διδάσκονται τη λύση των ίδιων προβλημάτων με τη μέθοδο της επίδειξης πειραμάτων ή με τη μέθοδο της συμβατικής διδασκαλίας, χρησιμοποιώντας κινωπία και πίνακα.

Στο παράρτημα II περιγράφονται με τη βοήθεια των αντιγράφων των φύλων, που παρέδωσε η κάθε ομάδα στο διδάσκοντα, και των σχεδίων μαθημάτων που συμβουλευόταν ο διδάσκων τα κυριότερα σημεία της διαδικασίας που ακολουθήθηκαν για τη λύση των προβλημάτων που τέθηκαν.



Διάγραμμα 7.1 Πορεία πειραματικής επίλυσης προβλήματος.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

#### 8.1 Γενικά περί των θεμάτων που τέθηκαν για την αξιολόγηση της κατανόησης βασικών ιδιοτήτων της αέριας κατάστασης

Προκειμένου να αξιολογηθεί και να συγκριθεί η επίδοση των φοιτητών των τριών ομάδων, που παρακολούθησαν τα τρία διαφορετικά μοντέλα διδασκαλίας κατά την παρέμβαση Β, στις εξετάσεις του β' εξαμήνου στο μάθημα Βασική Φυσική Ι, τέθηκαν επτά θέματα που αναφέρονταν την αέρια κατάσταση από ένα σύνολο εννιά θεμάτων που τέθηκαν κατά την εξέταση. Τα επτά θέματα ήταν σχετικά με την ύλη που διδάχθηκαν οι φοιτητές κατά τις διδακτικές παρεμβάσεις Α και Β, και εξ' αυτών τα τρία ήταν ασκήσεις και τα υπόλοιπα ερωτήσεις.

Τα δύο επιπλέον θέματα που περιέχονταν στην εξέταση αφορούσαν μέρος της ύλης που είχαν διδαχθεί οι φοιτητές πέρα από την αέρια κατάσταση, γι' αυτό και η επίδοσή τους σ' αυτά δεν αξιολογήθηκε στην έρευνά μας. Τα θέματα αυτά δεν παρουσίαζαν ιδιαίτερη δυσκολία. Το ένα ήταν ερώτηση ανάκλησης γνώσεων και το άλλο ζητούσε την εφαρμογή του νόμου δράσης-αντίδρασης σε μια συγκεκριμένη περίπτωση. Ο χρόνος για την εξέταση ήταν τρεις ώρες, όποτε ο χρόνος για την απάντηση των επτά θεμάτων που αφορούσαν την αέρια κατάσταση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ήταν αναλογικά δύο ώρες και είκοσι πρώτα λεπτά, χρόνος αρκετός για να απαντηθούν τα θέματα αυτά.

Τα τεθέντα επτά θέματα στην εξέταση για το επίπεδο των πρωτοετών φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν απαιτητικά. Γι' αυτό και η επίδοσή τους, όπως αυτή προέκυψε από τη βαθμολόγηση των γραπτών, κινήθηκε σε χαμηλά επίπεδα και για τους φοιτητές των τριών ομάδων. Τα θέματα όμως ήταν εντός του πλαισίου της ύλης που είχαν διδαχθεί και συμβατά με το επίπεδο νοητικής τους ανάπτυξης, ως ατόμων που είχαν μέση ηλικία 19,3 ετών. Τα θέματα σε σχέση με την κλίμακα της γνωστικής ταξινομίας του Bloom, κινούνται από το επίπεδο της κατανόησης και εφαρμογής μέχρι το επίπεδο της ανάλυσης και της σύνθεσης. Δεν αναφέρονται δηλαδή στο κατώτερο επίπεδο της κλίμακας που είναι η ανάκληση γνώσεων και στο υψηλότερο που είναι η αξιολόγηση. Επίσης τα θέματα απαιτούσαν οι εξεταζόμενοι να μπορούν να κινούνται και στα τρία επίπεδα αναπαραστάσεων που



χρησιμοποιούνται στις φυσικές επιστήμες, το μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό (Johnstone, 1991).

Οι τρεις ασκήσεις (θέμα 1, 2 και 7) απευθύνονται σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο, περιέγραφαν στις εκφωνήσεις τους μακροσκοπικές καταστάσεις και ζητούσαν λύση σε συμβολικό επίπεδο, δηλαδή τη χρησιμοποίηση και το χειρισμό απλών μαθηματικών σχέσεων που αντιπροσωπεύουν φυσικά μεγέθη που υπεισέρχονται στις ασκήσεις. Οι δύο πρώτες ασκήσεις για τη λύσή τους απαιτούσαν οι φοιτητές να αντιλαμβάνονται τις σχετικές έννοιες που είχαν απομνημονεύσει και να τις εφαρμόζουν στις συγκεκριμένες καταστάσεις που περιγράφουν οι εκφωνήσεις, για να μπορέσουν να δώσουν απάντηση σε ποσοτικά ερωτήματα. Επιπλέον για να απαντήσουν στα ερωτήματα β, της πρώτης άσκησης και στο ερώτημα γ, της δεύτερης άσκησης, έπρεπε να μπορούν να κάνουν λογικές προεκτάσεις και εκτιμήσεις με βάση τις σχετικές γνώσεις που διδάχθηκαν. Η τρίτη άσκηση (θέμα 7) ήταν πολυπλοκότερη από τις δύο προηγούμενες και όπως επιβεβαιώθηκε και από τη βαθμολόγηση των γραπτών το δυσκολότερο θέμα που τέθηκε στην εξέταση των φοιτητών. Η άσκηση αυτή απαιτεί την ικανότητα από το φοιτητή να διακρίνει επιμέρους στοιχεία και σχέσεις της εκφώνησης, και να τα συσχετίσει με βάση νόμους και αρχές που τα οργανώνουν, για να διαμορφώσει τη λύση. Προϋποθέτει την κατανόηση των εννοιών της ατμοσφαιρικής και της υδροστατικής πίεσης.

Οι ερωτήσεις (θέματα 3, 4, 5, 6) περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο αλλά οι απαντήσεις ζητούσαν περιγραφές και εξηγήσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή ο φοιτητής θα έπρεπε να έχει σχηματίσει μια αναπαράσταση της μικροσκοπικής δομής των αερίων, των υγρών και των στερεών καθώς και τις βασικές ιδιότητες του μοντέλου των ιδανικών αερίων. Γενικά οι ερωτήσεις απαιτούσαν την ικανότητα να εφαρμόζει ο φοιτητής αφηρημένες έννοιες και αρχές, όπως στοιχεία από την κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων για να ερμηνεύσει συγκεκριμένες μακροσκοπικές καταστάσεις που περιγράφονται από την εκφώνηση των ερωτήσεων.

Τα παραπάνω θέματα όπως αυτά τέθηκαν στους φοιτητές και με τη σειρά που είχαν στο φύλο θεμάτων παρατίθενται παρακάτω. Για να σχηματιστεί μια πληρέστερη εικόνα των θεμάτων που τέθηκαν επίσης παραθέτουμε και τις απαντήσεις που θεωρήσαμε ως αποδεκτές στο πλαίσιο των δυνατοτήτων των συγκεκριμένων φοιτητών.

## 8.2 Τα θέματα εξέτασης στο μάθημα Βασική Φυσική Ι - Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης (Ιωάννινα 17/6/2004)

1. Μια πισίνα που έχει μήκος 6 m, πλάτος 4 m και βάθος 3m είναι γεμάτη με νερό.  
Α) Να υπολογίσεις την τιμή της μάζας του νερού που περιέχει η πισίνα, αν 1L (1 λίτρο) νερό ζυγίζει 1 kg.  
Β) Αν η πισίνα είναι εντελώς άδεια από νερό, πόση εκτιμάς ότι είναι η μάζα του αέρα που περιέχεται σε όγκο ίσο με τον όγκο της πισίνας; α) 90Kg β) 60 g γ) 5 Kg, δ) 1200 Kg.  
Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.



2. Μια βιτρίνα καταστήματος έχει μήκος 3m και ύψος 1,5m.

A) Να υπολογίσεις την τιμή της δύναμης που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας. (Δίνεται η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης  $10^5 \text{ N/m}^2$ ).

B) Ποια τιμή μάζας πρέπει να έχει ένα σώμα για να έχει βάρος ίσο με την παραπάνω τιμή δύναμης; (Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g=10 \text{ m/s}^2$ ).

Γ) Παρόλη τη μεγάλη τιμή της δύναμης αυτής πως εξηγείς ότι η βιτρίνα δε θρυμματίζεται;

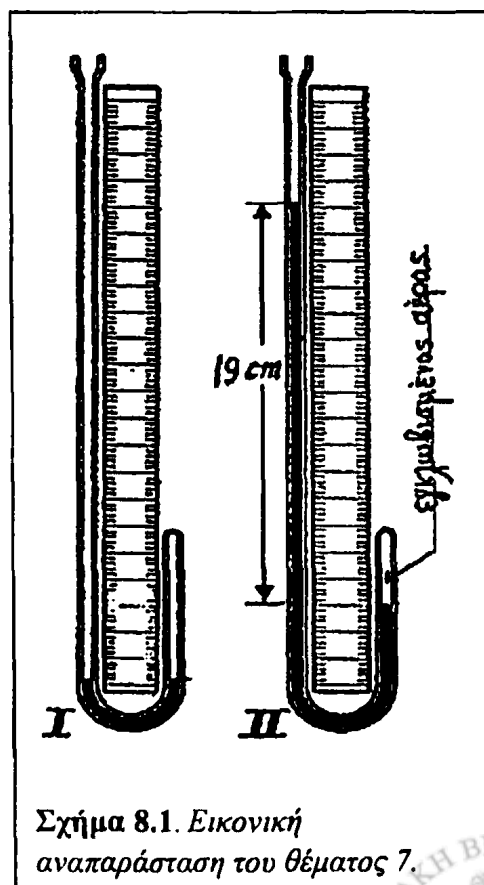
3. Έχουμε μια ποσότητα αέρα. Είναι δυνατό να υγροποιήσουμε τον αέρα; Αν ναι, με ποιο τρόπο;

4. Σε μια δεξαμενή που εκτρέφονται πέστροφες παρατηρείται ότι τις πολύ ζεστές μέρες του καλοκαιριού ένας αριθμός απ' αυτές πεθαίνει. Να δώσεις κάποια εξήγηση γι' αυτό.

5. Σε ένα κλειστό δοχείο με σταθερό όγκο περιέχεται ένα αέριο. Στο δοχείο είναι προσαρμοσμένο ένα μανόμετρο (όργανο που μετράει την πίεση αερίου). Θερμαίνουμε το δοχείο και παρατηρούμε ότι οι ενδείξεις του μανομέτρου συνεχώς αυξάνονται. Να εξηγήσεις όσο μπορείς πιο αναλυτικά, αναφερόμενος στα μόρια του αερίου, γιατί η πίεση του αερίου αυξάνεται.

6. Σε μια σφαιρική γυάλινη φιάλη βάλαμε μικρή ποσότητα ιωδίου (μαύρο στερεό με μεταλλική λάμψη). Κλείσαμε το στόμιο της φιάλης με πώμα και την τοποθετήσαμε σε θερμαντική ηλεκτρική πλάκα. Μετά από λίγο παρατηρήσαμε ότι η φιάλη γέμισε με ιώδεις ατμούς. Να γράψεις διαφορές και ομοιότητες των μορίων του ιωδίου στην στερεά και στην αέρια κατάσταση.

7. Διαθέτουμε ένα γυάλινο σωλήνα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το ένα άκρο του σωλήνα είναι κλειστό και το άλλο ανοιχτό. Από το ανοιχτό άκρο χύνουμε μικρή ποσότητα υδραργύρου, ο οποίος εγκλωβίζει μια ποσότητα αέρα, όγκου  $2 \text{ cm}^3$  μέσα στο κλειστό σκέλος. Η στήλη του υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα βρίσκεται στο ίδιο ύψος (σχήμα I). Στη συνέχεια από το ανοιχτό άκρο του σωλήνα προσθέτουμε και νέα ποσότητα υδραργύρου και σταματάμε, όταν η στάθμη του υδραργύρου στο ανοιχτό σκέλος βρίσκεται 19cm ψηλότερα από την επιφάνεια του υδραργύρου στο κλειστό σκέλος (σχήμα II). Να υπολογίσεις το νέο όγκο του αέρα



Σχήμα 8.1. Εικονική αναπαράσταση του θέματος 7.

στο κλειστό άκρο. (Δίνεται ότι:  $1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm Hg}$ ).

### 8.3 Απαντήσεις των θεμάτων

1α. Η πυκνότητα ενός σώματος δίνεται από τη σχέση  $d = m/V$ , άρα  $m = d \cdot V = 1 \text{ Kg/L} \cdot (6.4 \cdot 3 \text{ m}^3) = 1 \text{ Kg/L} \cdot (6.4 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ L}) = 72000 \text{ Kg} = 72 \text{ tn}$ .

1β. Η πυκνότητα του αέρα είναι μερικές εκατοντάδες φορές μικρότερη από την πυκνότητα του νερού (για την ακρίβεια ο αέρας είναι 800 φορές ελαφρότερος από ίσο όγκο νερού,  $d_{\text{αέρ.}} = 0,00125 \text{ Kg/L}$  και  $d_{\text{νερ.}} = 1 \text{ Kg/L}$ ). Άρα η μάζα του αέρα σε όγκο ίσο με τον όγκο της πιπίνας θα είναι 90 Kg. Μια εκτίμηση ότι η πυκνότητα του αέρα είναι 1000 φορές μικρότερη από την πυκνότητα του νερού μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή.

2α. Η ατμόσφαιρα ασκεί πίεση σε κάθε επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή. Η δύναμη που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της βιτρίνας θα είναι:  $F = P \cdot A = 10^5 \text{ N/m}^2 \cdot (3 \cdot 1,5 \text{ m}^2) = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N}$ .

2β. Η σχέση που συνδέει τη μάζα και το βάρος ενός σώματος είναι:  $B = m \cdot g$ . Η τιμή μάζας  $m$ , που έχει βάρος  $B$  ίσο με την τιμή της παραπάνω δύναμης θα είναι:  $m = B/g = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 / 10 \text{ m/s}^2 = 45.000 \text{ kg} = 45 \text{ tn}$ .

2γ. Την ίδια πιεστική δύναμη που δέχεται η βιτρίνα στην εξωτερική της επιφάνεια δέχεται και στην εσωτερική της. Έτσι οι δύο δυνάμεις εξισορροπούνται. Γενικά κάθε σώμα που βρίσκεται στον αέρα δέχεται την ίδια πίεση προς όλες τις επιφάνειές του.

3. Για να ελαττωθούν οι ταχύτητες των μορίων αερίου, το αέριο πρέπει να ψυχθεί σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Επιπλέον για να πλησιάσουν μεταξύ τους τα μόρια του αερίου θα πρέπει να ασκήσουμε σ' αυτό εξωτερική πίεση. Αν λοιπόν στο αέριο ασκηθεί μεγάλη πίεση και ταυτόχρονα η θερμοκρασία γίνει πολύ χαμηλή, τότε οι διαμοριακές έλξεις (δυνάμεις συνοχής) υπερνικούν την τάση των μορίων να απομακρυνθούν και το αέριο συμπυκνώνεται σε υγρό.

4. Στο νερό της δεξαμενής υπάρχει διαλυμένη μικρή ( $3 \text{ cm}^3$  ή  $0,004 \text{ g}$  σε  $100 \text{ cm}^3$  νερό, στις συνθήκες συνθήκες  $P, T$ ), αλλά αναγκαία για τη ζωή των ψαριών ποσότητα οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Όταν το νερό της δεξαμενής θερμαίνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό μειώνεται (μέρος της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό διαφεύγει στον αέρα) και τα ψάρια πεθαίνουν από ασφυξία.

5. Η θερμότητα που προσφέρεται είναι μορφή ενέργειας, την προσλαμβάνουν τα μόρια του αερίου και κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες. Αυξάνεται η μέση κινητική τους ενέργεια. Η πίεση που ασκεί ορισμένη ποσότητα αερίου σε δοχείο σταθερού όγκου είναι ανάλογη της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων του.



6. Διαφορές και ομοιότητες στη συμπεριφορά των μορίων του ιωδίου στη στερεά και αέρια κατάσταση είναι:

- Τα μόρια του ιωδίου στη στερεά κατάσταση είναι πολύ κοντά, και θα πρέπει να έλκονται με δυνάμεις (διαμοριακές δυνάμεις) που είναι πολύ ισχυρότερες σε σχέση με τις δυνάμεις μεταξύ των μορίων του ιωδίου στην αέρια κατάσταση.
- Τα μόρια του ιωδίου, όταν αυτό βρίσκεται στη στερεά κατάσταση, είναι σχεδόν ακίνητα και κατέχουν καθορισμένες θέσεις, ενώ τα μόρια του ιωδίου, όταν αυτό βρίσκεται στην αέρια κατάσταση, κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις.
- Τα μόρια του ιωδίου στην στερεά και αέρια κατάσταση έχουν το ίδιο σχήμα, μέγεθος και την ίδια μάζα.

7. Αρχικά η πίεση του εγκλωβισμένου αέρα ( $V_1=2 \text{ cm}^3$ ) είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση,  $P_1=1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$ . Στη δεύτερη περίπτωση η πίεση που ασκεί ο εγκλωβισμένος αέρας είναι ίση με την ατμοσφαιρική και με την πίεση που ασκεί η στήλη υδραργύρου, ύψους  $19 \text{ cm}$ ,  $P_2=(76+19) \text{ cmHg}$ . Τα μεγέθη πίεση και όγκος αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογα (θεωρούμε τη θερμοκρασία σταθερή). Το γινόμενο τους είναι σταθερό.  $P_1 \cdot V_1=1 \text{ atm} \cdot 2 \text{ cm}^3=76 \text{ cm Hg} \cdot 2 \text{ cm}^3 = 152 \text{ cm Hg} \cdot \text{cm}^3$  και  $P_2 \cdot V_2=(76+19) \text{ cm Hg} \cdot V_2=152 \text{ cm Hg} \cdot \text{cm}^3$  ή  $V_2 = 152 / 95 = 1,6 \text{ cm}^3$ .

#### 8.4 Διάρθρωση βαθμολογικών σχημάτων για την αξιολόγηση των θεμάτων

Για τη βαθμολόγηση, η λύση κάθε άσκησης και η απάντηση κάθε ερώτησης χωρίστηκε σε δομικές μονάδες-νοητικά σχήματα, που σχετίζονται με τη γνώση του γνωστικού υπόβαθρου που απαιτούσαν καθώς και με την οργάνωση των δομικών μονάδων-αριθμός βημάτων. Επιπλέον στις λύσεις των ασκήσεων ελήφθησαν υπόψη οι αριθμητικές πράξεις, οι μονάδες και το τελικό αριθμητικό αποτέλεσμα, ως νοητικά βήματα (βλέπε, κεφ. 4, 4.11, Στοιχεία από το μοντέλο γνωστικής επεξεργασίας πληροφοριών).

Για τη διάρθρωση βαθμολογικών σχημάτων, ώστε να υπάρχει ενιαίος και όσο το δυνατόν αντικειμενικός τρόπος βαθμολόγησης των γραπτών της εξέτασης, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Τα γραπτά των φοιτητών κάθε ομάδας, που παρακολούθησαν ένα διδακτικό μοντέλο κατά την παρέμβαση Β και συμμετείχαν στην εξέταση, τοποθετήθηκαν κατ' απόλυτη αλφαβητική σειρά και αριθμήθηκαν. Από τα γραπτά κάθε ομάδας επελέγησαν με το πρόγραμμα RAND της Microsoft Excel πέντε τυχαίοι αριθμοί, από ένα σύνολο αριθμών μικρότερο και ίσο με τον αριθμό των γραπτών κάθε ομάδας. Έτσι με τον τρόπο αυτό επελέγησαν 15 γραπτά. Επιπλέον με τον ίδιο τρόπο επελέγησαν άλλα πέντε γραπτά από την ομάδα των φοιτητών που συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α και στην εξέταση, «ομάδα ελέγχου».



Τα 20 συνολικά γραπτά φωτοτυπήθηκαν και δόθηκαν για βαθμολόγηση σε τέσσερις έμπειρους εκπαιδευτικούς. Οι δύο εξ αυτών είναι χημικοί με ειδίκευση στην διδακτική των φυσικών επιστημών (ο ένας κάτοχος Μ.Δ.Ε. και Διδακτορικού με αρκετά χρόνια υπηρεσίας ως εκπαιδευτικός και ο άλλος κάτοχος Μ.Δ.Ε. και αρκετά νεώτερος και με λιγότερα χρόνια υπηρεσίας στην εκπαίδευση). Οι άλλοι δύο είναι φυσικοί, ο ένας με αρκετά χρόνια υπηρεσίας στην εκπαίδευση και ο άλλος είναι μεταπτυχιακός φοιτητής στο Τμήμα Φυσικής και με μικρότερη εμπειρία στην εκπαίδευση. Από κάθε βαθμολογητή ζητήθηκε να παραδώσει σ' έναν πίνακα τη δική του βαθμολογία για κάθε ένα από επτά θέματα (ασκήσεις / ερωτήσεις), σε κάθε ένα από τα 20 γραπτά. Επιπλέον για κάθε θέμα να παραδώσει ο κάθε βαθμολογητής ένα δικό του βαθμολογικό σχήμα, με τις έννοιες-δομικές μονάδες καθώς και τον τρόπο σύνθεσή τους, που πρέπει να αναφέρονται, ώστε μια απάντηση να θεωρεί πλήρης στο πλαίσιο της γνωστικής υποδομής των φοιτητών του δείγματός μας. Βαθμολογίες για ελλιπείς και εν μέρει σωστές απαντήσεις ζητήθηκε να καταγράφονται στα προτεινόμενα βαθμολογικά τους σχήματα. Για κάθε άσκηση ή ερώτηση ορίστηκε η πλήρης απάντησή της να βαθμολογείται με 10 μονάδες.

Από μια κατ' αρχήν μελέτη των βαθμολογιών, που παρέδωσαν οι τέσσερις ανεξάρτητοι βαθμολογητές, παρατηρήσαμε ότι οι δύο νεώτεροι στην ηλικία και με τη μικρότερη εκπαιδευτική εμπειρία (ένας χημικός και ένας φυσικός) είχαν τις μεγαλύτερες βαθμολογικές αποκλίσεις. Ο μόνος ένας ήταν αρκετά γενναιόδωρος και ο άλλος αρκετά «σφιχτός». Οι βαθμολογίες δε των άλλων δύο βαθμολογητών παρουσίαζαν σύγκλιση και κυμαίνονταν σε επίπεδα ενδιάμεσα μεταξύ των δύο πρώτων. Με τους δύο βαθμολογητές, που ένας παρουσίασε την υψηλότερη μέση βαθμολογία και ο άλλος τη χαμηλότερη, ο γράφων συζήτησε τα βαθμολογικά τους σχήματα και μετά από αντιπαράθεση επιχειρημάτων έγιναν κάποιες μικρές τροποποιήσεις, κυρίως στις μονάδες που έδιναν στην οργάνωση των δομικών μονάδων για τις λύσεις / απαντήσεις των θεμάτων. Μετά από αυτή τη βελτίωση η διάταξη των βαθμολογητών, με βάση τη μέση συνολική τους βαθμολογία για τα 20 γραπτά, δεν άλλαξε όμως παρουσίαζαν μια καλύτερη εικόνα σύγκλισης.

Για την ποσοτική εκτίμηση της συνάφειας των βαθμολογιών των τεσσάρων βαθμολογητών υπολογίσαμε του δείκτη συνάφειας Pearson ( $r$ ) για τις βαθμολογίες κάθε θέματος και για τη συνολική τους βαθμολογία σε κάθε γραπτό. Οι δείκτες εμφάνισαν υψηλές τιμές και κυμάνθηκαν από 0,792 έως 0,985. Η συνάφεια είναι πολύ υψηλή. Τις μέσες τιμές βαθμολογίας με τις τυπικές τους αποκλίσεις, των τεσσάρων βαθμολογητών για κάθε θέμα και στο σύνολο των θεμάτων για κάθε γραπτό καθώς και τις τιμές των δεικτών συνάφειας παραθέτουμε στους παρακάτω Πίνακες 8.1- 8.10.



**Πίνακας 8.1** Μέσες τιμές βαθμολογίας (με άριστα το 10) των τεσσάρων βαθμολογητών για κάθε θέμα στο τυχαία επιλεγμένο υποσύνολο των 20 γραπτών.

ΘΕΜΑ	Βαθμολογητής*			
	Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)			
	P	Π	Γ	Z
1	3,33 (1,31)	3,20 (1,46)	3,25 (1,45)	3,68 (1,19)
2	7,82 (2,6)	8,37 (2,36)	8,50 (2,45)	8,33 (2,36)
3	0,78 (0,41)	0,80 (0,41)	0,75 (0,44)	1,03 (0,62)
4	0,92 (1,07)	0,92 (1,07)	1,13 (1,29)	1,07 (0,73)
5	2,70 (2,78)	2,62 (2,85)	2,90 (2,86)	3,13 (3,31)
6	1,88 (2,09)	2,00 (2,23)	1,88 (2,04)	2,13 (2,28)
7	0,58 (1,63)	0,55 (1,53)	0,53 (1,37)	0,65 (2,28)

\* Οι βαθμολογητές αναφέρονται με το αρχικό γράμμα του επωνύμου τους.

**Πίνακας 8.2** Μέσες τιμές βαθμολογίας (με άριστα το 70) των τεσσάρων βαθμολογητών στο σύνολο των θεμάτων κάθε γραπτού (N=20).

Βαθμολογητής	Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
P	18,00 (6,07)	29,00	8,50
Π	18,40 (5,78)	28,50	9,50
Γ	18,92 (5,90)	30,50	10,50
Z	20,00 (6,33)	30,00	9,00

**Πίνακας 8.3** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 1 (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,89	0,95	0,91
Π	0,89	1,00	0,93	0,90
Γ	0,95	0,93	1,00	0,93
Z	0,91	0,90	0,93	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.4** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 2 (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,89	0,85	0,94
Π	0,89	1,00	0,97	0,94
Γ	0,85	0,97	1,00	0,94
Z	0,94	0,94	0,94	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.5** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 3 (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,96	0,82	0,79
Π	0,96	1,00	0,87	0,85
Γ	0,82	0,87	1,00	0,79
Z	0,79	0,85	0,79	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.6** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 4 (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,92	0,90	0,85
Π	0,92	1,00	0,89	0,83
Γ	0,90	0,89	1,00	0,85
Z	0,85	0,83	0,85	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.7** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 5 (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,94	0,93	0,97
Π	0,94	1,00	0,94	0,97
Γ	0,93	0,94	1,00	0,92
Z	0,97	0,97	0,92	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.8** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 6 (N=20)

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,97	0,97	0,97
Π	0,97	1,00	0,97	0,98
Γ	0,97	0,97	1,00	0,97
Z	0,97	0,98	0,97	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.9** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών για το θέμα 7 (N=20)

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,98	0,98	0,99
Π	0,98	1,00	0,99	0,99
Γ	0,98	0,99	1,00	0,98
Z	0,99	0,99	0,98	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

**Πίνακας 8.10** Οι τιμές των δεικτών Pearson των τεσσάρων βαθμολογητών στο σύνολο των θεμάτων κάθε γραπτού (N=20).

Βαθμολογητές	P	Π	Γ	Z
P	1,00	0,95	0,92	0,96
Π	0,95	1,00	0,97	0,98
Γ	0,92	0,97	1,00	0,93
Z	0,93	0,98	0,96	1,00

Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01 (διπλής κατεύθυνσης)

Από το τυχαίο δείγμα των 20 γραπτών, που το αποτελούσαν τρεις πεντάδες γραπτών, όσες και οι διδακτικές μεθοδολογίες που εφαρμόσαμε και μια πεντάδα γραπτών φοιτητών που παρακολούθησαν μόνο την παρέμβαση Α, επιχειρήσαμε μια πρώτη εκτίμηση της επίδοσης των ομάδων. Με δεδομένη την αναξιοπιστία οποιουδήποτε συμπεράσματος λόγω του μικρού αριθμού των γραπτών απλώς την καταγράφουμε (Πίνακας 8.11). Σημειώνουμε δε τις μέσες επιδόσεις για κάθε ομάδα γραπτών από κάθε βαθμολογητή καθώς και τη μέση επίδοση ανά ομάδα γραπτών και για τους τέσσερις βαθμολογητές.

**Πίνακας 8.11** Μέσες επιδόσεις ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας που παρακολούθησαν οι φοιτητές, όπως αυτές προέκυψαν από τους τέσσερις βαθμολογητές στα είκοσι γραπτά (άριστα για κάθε ομάδα είναι το 70).

Ομάδα Βαθμολογητές	ΠΕΙΡΑΜ.	ΕΠΙΔΕΙΞ.	ΣΥΜΒΑΤ.	ΕΛΕΓΧΟΥ
	(N=5)	(N=5)	(N=5)	(N=5)
Z	20,4 (7,6)	20,1 (5,0)	24,4 (6,1)	15,1 (3,9)
Γ	20,4 (6,7)	19,3 (5,3)	22,5 (5,7)	13,5 (2,3)
Π	19,8 (7,8)	18,2 (5,1)	22,2 (5,0)	13,4 (2,9)
P	19,3 (6,7)	16,8 (5,5)	22,4 (5,9)	13,5 (3,3)
<b>M.T. (T.A.)</b>	<b>19,9 (0,5)</b>	<b>18,6 (1,4)</b>	<b>22,9 (1,0)</b>	<b>13,9 (0,8)</b>

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται μια τάση να προπορεύεται η ομάδα που διδάχθηκε με συμβατική διδασκαλία και μια υστέρηση της ομάδας που δεν παρακολούθησε την παρέμβαση Β (ομάδα ελέγχου), παρακολούθησε μόνο την παρέμβαση Α. Γενικά η επίδοση των φοιτητών, όπως εμφανίζεται στα είκοσι τυχαία επιλεγέντα γραπτά καθώς και μέση τιμή επίδοση ανά γραπτό, που προέκυψε από τους τέσσερις βαθμολογητές είναι χαμηλή. Η διασπορά των τιμών περί τη δεσπόζουσα τιμή (mode) είναι μεγάλη (ο συντελεστής κύρτωσης είναι αρνητικός και η τιμή του είναι πλησίον του  $-1$ ). Η κατανομή βαθμολογίας είναι πλατύκυρτη με κοντές ουρές στα άκρα της. Επιπλέον η κατανομή των επιδόσεων είναι ασύμμετρη αριστερά (θετική τιμή λοξότητας). Οι βαθμοί επίδοσης είναι μετατοπισμένοι προς τις μικρές τιμές της κλίμακας βαθμολόγησης, που σημαίνει ότι οι περισσότεροι φοιτητές έχουν χαμηλή και πολύ χαμηλή επίδοση. Τα χαρακτηριστικά της παραπάνω επίδοσης φαίνονται στον πίνακα 8.12.

**Πίνακας 8.12** Χαρακτηριστικά επίδοσης των φοιτητών στο τυχαίο δείγμα των είκοσι γραπτών (N=20).

Μ.Τ. (άριστα το 70)	Τ.Α.	ΜΕΓ. ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧ. ΤΙΜΗ	ΚΥΡΤΩΣΗ	ΛΟΞΟΤΗΤΑ
18,84*	5,91	29,01	9,76	-0,89	0,06

\* Η μέση τιμή βαθμολογίας στη δεκαβάθμια κλίμακα βαθμολογίας αντιστοιχεί σε 2,7.

### 8.5 Αξιοπιστία (reliability) του βαθμολογικού σχήματος

Ένας όρος που χρησιμοποιείται ως συνώνυμος για το τεστ αξιοπιστίας ενός βαθμολογικού σχήματος είναι το «τεστ σταθερότητας» (test consistency) που αναφέρεται στην ικανότητα του τεστ επαναλαμβανόμενο να αποδίδει την ίδια βαθμολογία (αποτέλεσμα), όταν γίνεται σε δείγματα με ισοδύναμα χαρακτηριστικά ή ικανότητες. Μπορούμε να θεωρήσουμε μια αναλογία μεταξύ ενός τεστ και ενός τοξότη. Η ικανότητα του τοξότη να χτυπήσει το κέντρο του στόχου θα μπορούσε να αντιστοιχηθεί με την εγκυρότητα (validity) δόμησης του τεστ (μετράει πράγματι το τεστ εκείνο για το οποίο στοχεύουμε να μετράει;), ενώ η ομαδοποίηση των βελών γύρω από το στόχο μπορεί να θεωρηθεί ως η αξιοπιστία ή η σταθερότητα του τεστ. Ένα «πολύ καλό τεστ» είναι εκείνο που επαναλαμβανόμενο χτυπά πολύ κοντά στο κέντρο του στόχου (εγκυρότητα και αξιοπιστία).

Μια μέθοδος για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας ενός τεστ είναι να εξετάσουμε το ίδιο δείγμα σε δύο διαφορετικές περιστάσεις και να συγκρίνουμε τις επιδόσεις. Η συσχέτιση μεταξύ των δύο επιδόσεων στα τεστ αναφέρεται ως δοκιμασία-επαναδοκιμασία της αξιοπιστίας του τεστ (test-retest reliability). Μια τέτοια διαδικασία, αν και διατηρεί πολλά μεγέθη σταθερά, δεν εξασφαλίζει ότι οι εξεταζόμενοι στις δύο δοκιμασίες βρίσκονται στην ίδια ψυχολογική διάθεση και βέβαια ο χρόνος που θα μεσολαβήσει μεταξύ των δύο εξετάσεων είναι μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Οι μέθοδοι δοκιμασίας-επαναδοκιμασίας, για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία ενός



τεστ, έχουν πλέον σε μεγάλη έκταση εκχωρηθεί σε στατιστικές μεθόδους, που σχεδιάστηκαν για να μετρούν την εσωτερική σταθερότητα των τεστ.

Ένα απλό παράδειγμα μέτρησης της εσωτερικής σταθερότητας είναι να συσχετιστούν οι άρτιες ερωτήσεις ενός τεστ με τις περιττές (split-half reliability). Μια πιο περίπλοκη μέθοδος είναι το κριτήριο «Άλφα του Cronbach» (Cronbach's Alpha), που είναι μια στατιστική μέθοδος εύρεσης της μέσης τιμής όλων των δυνατών συσχετίσεων του δείγματος, που έχει χωριστεί σε δύο μέρη. Το Alpha του Cronbach είναι η πιο κοινή μέτρηση αξιοπιστίας που αναφέρεται σε εγχειρίδια αξιολόγησης. Η βασική ιδέα είναι ότι, αν ένα τεστ που όλες οι ερωτήσεις του μετρούν ένα χαρακτηριστικό ή μια ικανότητα, είναι εσωτερικά σταθερό, τότε και το τεστ θα είναι αξιόπιστο (Kirk & Miller, 1986, Καραγεώργος, 2002, σ. 206-222, Ζαβλανός, 1977, σ. 71-83).

Για τη μέτρηση της αξιοπιστίας των θεμάτων εξέτασης που χρησιμοποιήσαμε στην έρευνά μας, υπολογίσαμε τη μέση τιμή βαθμολογίας από τους τέσσερις ανεξάρτητους βαθμολογητές για κάθε ένα από τα επτά θέματα στα είκοσι γραπτά. Έτσι για κάθε θέμα σε κάθε γραπτό προέκυψε μια τιμή βαθμολογίας. Χωρίσαμε τα θέματα σε άρτια και περιττά και προσθέσαμε τις αντίστοιχες βαθμολογίες τους, όποτε για κάθε γραπτό φοιτητή έχουμε δύο βαθμολογίες. Για τους είκοσι φοιτητές του τυχαίου δείγματος προέκυψαν δύο σύνολα τιμών (Πίνακας 8. 13).

Για τη σύγκριση των τυπικών αποκλίσεων  $S_1, S_2$  μεταξύ των δύο μερών (άρτια / περιττά θέματα) βρήκαμε την τιμή του δείκτη  $F$  ( $F = S_1 / S_2$ ). Η ευρεθείσα τιμή,  $F=1,23$ , είναι μικρότερη της αντίστοιχης κρίσιμης τιμής  $F$  ( $F=2,12$ ) για βαθμούς ελευθερίας  $d.f.=19$  στον αριθμητή και τον παρονομαστή και για επίπεδο σημαντικότητας 10% διπλής κατεύθυνσης ( $F < F_{(19/19)/0,1}, p < 0,1$ ). Συνεπώς τα δύο μέρη έχουν την ίδια διασπορά.

Ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) ή δείκτης Pearson ( $r$ ) μεταξύ των δύο μεταβλητών, βαθμολογίες άρτιων και περιττών θεμάτων, υπολογίστηκε ίσος με 0,59 και η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 1% διπλής κατεύθυνσης ( $r=0,59, p < 0,01$ ). Στην προκειμένη περίπτωση η τιμή του δείκτη συσχέτισης δείχνει την εσωτερική συνέπεια ή σταθερότητα των βαθμολογιών, αφού δηλώνει το βαθμό κατά τον οποίο τα δύο μισά μέρη της βαθμολογίας είναι ισοδύναμα. Ο ευρεθείς συντελεστής με την παραπάνω διαδικασία είναι πάντοτε μικρότερος του δείκτη αξιοπιστίας για ολόκληρο το δείγμα, επειδή το αρχικό δείγμα χωρίστηκε σε δύο μέρη. Ο δείκτης ή συντελεστής αξιοπιστίας (reliability coefficient) υπολογίζεται από τον τύπο των Spearman-Brown:  $R = 2r / r + 1$ , όπου  $r$  ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των δύο μερών. Η τιμή του παραπάνω συντελεστή αξιοπιστίας βρέθηκε ίση με 0,74 και συμπίπτει με τις τιμές των δεικτών αξιοπιστίας Alfa και Guttman. Όλοι οι δείκτες υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS 8.0 for windows.

Για τις περισσότερες έρευνες, τιμές του δείκτη αξιοπιστίας μεγαλύτερες και ίσες του 0,7 θεωρούνται ικανοποιητικές. Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας κυμαίνονται στο διάστημα  $[0,1]$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη αξιοπιστίας, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η σταθερότητα των αποτελεσμάτων, δηλαδή όσες φορές και αν επαναληφθεί η μέτρηση με ισοδύναμα δείγματα θα έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα. Στην προκειμένη περίπτωση η μεγάλη τιμή του συντελεστή αξιοπιστίας δηλώνει αφ' ενός ότι τα δύο μέρη



είναι ισοδύναμα και αφ' ετέρου ότι ο αριθμός των θεμάτων που τέθηκαν είναι επαρκής (Ζαβλανός, 1977, σ. 81).

Πίνακας 8. 13 Επιδόσεις των φοιτητών (N=20) σε άρτια και περιττά θέματα.

Ομάδα	Βαθμολογία		
	Γραπτό	Ερωτήσεις	
		Άρτιες	Περιττές
Πειραμάτων	1Π	16,6	12,4
	2Π	3,9	5,9
	3Π	12,6	6,1
	4Π	13,1	7,6
	5Π	14,9	6,7
Επίδειξης	6Ε	14,9	8,1
	7Ε	10,9	5,6
	8Ε	6,9	3,6
	9Ε	12,1	10,1
	10Ε	11,4	9,4
Συμβατικής διδασκαλίας	11Σ	15,2	10,8
	12Σ	10,6	12,4
	13Σ	10,0	4,5
	14Σ	14,4	7,4
	15Σ	14,8	14,2
Ελέγχου	16 ΕΛ	11,0	3,4
	17 ΕΛ	6,1	4,7
	18 ΕΛ	6,8	4,5
	19 ΕΛ	8,9	5,5
	20 ΕΛ	9,1	9,2
	<b>M.T. (T.A.)</b>	<b>7,6 (3,5)</b>	<b>11,2 (3,1)</b>

### 8.6 Η εγκυρότητα (validity) των θεμάτων

Η εγκυρότητα αναφέρεται στο μέσο (εργαλείο) που επιλέγεται σε μια έρευνα για να συγκεντρωθούν οι απαραίτητες πληροφορίες, που εξυπηρετούν τους στόχους της έρευνας. Η εγκυρότητα ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο το μέσο εξυπηρετεί τους στόχους για τους οποίους προορίστηκε. Η εγκυρότητα είναι πάντοτε συγκεκριμένη, αφού αναφέρεται σε μια ορισμένη γνωστική περιοχή. Στη δική μας περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τη γραπτή εξέταση με επτά θέματα (τρεις ασκήσεις και τέσσερις ερωτήσεις) ανοιχτού τύπου, για να αποφανθούμε ποια από τις τρεις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους που εφαρμόσαμε, για να διδάξουμε βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης, φέρει καλύτερα αποτελέσματα μάθησης, και αν η απάντηση είναι καταφατική, σε ποιο βαθμό.

Από την βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι η εγκυρότητα διακρίνεται σε τρία είδη.



- Εγκυρότητα περιεχομένου (content validity)
- Κατασκευαστική εγκυρότητα (construct validity)
- Εγκυρότητα σε σχέση με το κριτήριο ή προγνωστική εγκυρότητα (predictive validity)

Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται στο βαθμό που τα τεθέντα θέματα σε ένα τεστ (οι ερωτήσεις ή οι ασκήσεις ή τα προβλήματα) και γενικά η μορφή που επιλέγεται για την αξιολόγηση αντιπροσωπεύει όλο το γνωστικό περιεχόμενο, του οποίου το βαθμό κατοχής τους από τους εξεταζόμενους πρόκειται να μετρήσει. Η ουσία του είδους αυτού εγκυρότητας βρίσκεται στην καταλληλότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των τεθέντων θεμάτων.

Τα θέματα που τέθηκαν στην εξέταση των φοιτητών είναι ανοιχτού τύπου και απαιτούσαν εκτεταμένες απαντήσεις. Τέτοια θέματα μετρούν πολύπλοκα αποτελέσματα μάθησης που δεν μπορούν να μετρηθούν με αντικειμενικά τεστ και τεστ αναπτύξεως περιορισμένης απάντησης. Οι απαντήσεις τέτοιων θεμάτων απαιτούν από τον εξεταζόμενο εφαρμογή και συσχέτιση γνώσεων και δεξιοτήτων. Τα θέματα που θέσαμε καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των εννοιών που διδάξαμε στους φοιτητές κατά τις παρεμβάσεις Α και Β.

Το θέμα 1 (άσκηση) αναφέρεται στην έννοια της πυκνότητας και ιδιαίτερα στοχεύει στο να διερευνήσει τη συνειδητοποίηση της τιμής της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, της πιο κοινής μορφής αέριας κατάστασης. Το θέμα 2 (άσκηση) αναφέρεται στην έννοια της πίεσης που ασκεί ο αέρας και στο τρόπο που αυτή ασκείται σε σώματα που βρίσκονται μέσα σ' αυτό. Επίσης η κατανόηση της τιμής της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια του εδάφους ( $100.000 \text{ N/m}^2$ ) είναι το βασικό ζητούμενο στην άσκηση αυτή. Τις δύο αυτές ασκήσεις, που τις θεωρήσαμε μέτριας δυσκολίας για τους φοιτητές του δείγματός μας, τις θέσαμε στην αρχή του φύλλου εξετάσεων, αφ' ενός για να ενθαρρύνουμε τους εξεταζόμενους και αφ' ετέρου για να μην καταναλώσουν μεγάλο μέρος του χρόνου τους σ' αυτές, ώστε να έχουν αρκετό χρόνο να ασχοληθούν και με τα υπόλοιπα θέματα. Το θέμα 7, η τρίτη άσκηση που είναι και η συνθετότερη γράφτηκε τελευταία στο φύλλο εξέτασης και συμπεριλαμβάνει την έννοια της υδροστατικής και ατμοσφαιρικής πίεσης καθώς και τη μεταβολή του όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου με τη μεταβολή των δύο προηγούμενων πιέσεων. Η εκφώνηση περιγράφει την εκτέλεση ενός πειράματος σε δύο φάσεις και αυτή αναπαριστάνεται από δύο σχήματα, που συνοδεύουν την εκφώνηση, ώστε να μειωθεί η δυσκολία κατανόησης της διατύπωσης.

Ανάμεσα στις ασκήσεις παρεμβλήθηκαν οι τέσσερις ερωτήσεις (θέμα 3, 4, 5 και 6) οι οποίες απαιτούσαν κατανόηση και εφαρμογή εννοιών σε συγκεκριμένες καταστάσεις, που περιγράφονται από τις εκφωνήσεις. Τέτοιες έννοιες είναι:

Α) Υγροποίηση αέρα (θέμα 3)

Β) Εξάρτηση της διαλυτότητας αερίου σε υγρό σε σχέση με τη θερμοκρασία (θέμα 4)

Γ) Εξήγηση σε μικροσκοπικό επίπεδο της πίεσης που ασκεί αέριο ορισμένου όγκου σε σχέση με τη θερμοκρασία (θέμα 5)



Δ) Σύγκριση της αέριας κατάστασης με τη στερεά σε μικροσκοπικό επίπεδο (θέμα 6)

Ως προς τη μορφή του περιεχομένου δόθηκε επίσης ιδιαίτερη προσοχή. Οι προτάσεις στις εκφωνήσεις των θεμάτων είναι μικρές σε έκταση, ώστε να ορίζουν με σαφήνεια μια κατάσταση που περιγράφουν και επίσης τα ερώτημα που πρέπει ν' απαντηθούν να είναι διακριτά και διατυπωμένα με σαφήνεια. Όπου αναγράφονται σύμβολα, και στα βιβλία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συμβολισμοί (π.χ. 1L ή 1l), μέσα σε παρένθεση γράφουμε και λεκτικά τι δηλώνει το κάθε σύμβολο. Ονόματα συσκευών που μπορούν να παραπέμπουν σε διαφορούμενες παραστάσεις ή να μη θυμούνται οι φοιτητές τι ακριβώς μετράει η συσκευή, για αυτές επίσης μέσα σε παρένθεση δώσαμε επεξηγήσεις (π.χ. θερμαντική πλάκα – μάτι κουζίνας, μανόμετρο – όργανο που μετράει την πίεση αερίου). Επιπλέον όπου ήταν απαραίτητες για υπολογισμούς κάποιες τιμές μεγεθών δε θεωρήσαμε ότι οι φοιτητές έπρεπε να τις θυμούνται και τις δώσαμε (π.χ. την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας, και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια του θάλασσας).

Το περιεχόμενο και η μορφή των θεμάτων πήραν τη μορφή στην οποία δόθηκαν στους φοιτητές μετά από διαδοχικές διαμορφώσεις. Ο γράφων στην αρχή έγραψε ένα μεγαλύτερο αριθμό ασκήσεων και ερωτήσεων τις οποίες συζήτησε με τον επιβλέποντα καθηγητή (Γ. Τσαπαρλή). Απ' αυτές επιλέχτηκε ένας αριθμός και επιπλέον προτάθηκαν και κάποιες άλλες, ώστε αφ' ενός να καλύπτεται η διδαχθείσα ενότητα και αφ' ετέρου να εξυπηρετούνται οι στόχοι της έρευνας. Επιπλέον έγιναν βελτιώσεις στη συντακτική και λεκτική δομή των θεμάτων.

Για τα θέματα ως προς τον αριθμό και το βαθμό δυσκολίας τους έγινε περαιτέρω συζήτησή του γράφοντα με τον Επίκουρο Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος, κ. Κ. Κώτση, που διδάσκει το μάθημα στους πρωτοετείς φοιτητές και από εξετάσεις προηγούμενων ετών είχε σαφή εικόνα του επίπεδου και των δυνατοτήτων των φοιτητών που εισάγονται στο τμήμα αυτό, στο μάθημα των φυσικών επιστημών.

Η δεύτερη κατηγορία εγκυρότητας, η προγνωστική, αναφέρεται στο βαθμό που τα αποτελέσματα ενός μέσου (τεστ ή άλλη μορφή εξέτασης) χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν ένα επίτευγμα μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Τέτοια επίτευγματα μπορεί να είναι η μελλοντική επιτυχία σ' ένα συγκεκριμένο επαγγελματικό ή σε επιστημονικό τομέα ή ακόμη και σε ένα συγκεκριμένο τομέα μάθησης.

Η επίδοση στα θέματα που εξετάστηκαν οι φοιτητές του δείγματος μας θα μπορούσαν να έχουν ένα προγνωστικό χαρακτήρα, αν αυτή συσχετιστεί με μελλοντικές επιδόσεις τους σε μαθήματα φυσικών επιστημών, καθώς και αν παίρνουν ως κατ' επιλογή μαθήματα φυσικών επιστημών. Επιπλέον συσχέτιση των επιδόσεων στα θέματα που εξετάστηκαν σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησής τους από το λύκειο θα μπορούσε να είναι ένα επιπλέον προγνωστικό κριτήριο.

Τέλος η τελευταία κατηγορία εγκυρότητας, η εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής αναφέρεται στο βαθμό συμφωνίας που προκύπτει από τα αποτελέσματα ενός τεστ ή γενικά μιας εξέτασης και από τα αποτελέσματα κάποιων άλλων σχετικών μετρήσεων. Στην περίπτωση μιας εξεταστικής δοκιμασίας, αυτή έχει κατασκευαστική



εγκυρότητα, αν μετρά το χαρακτηριστικό για το οποίο ο κατασκευαστής είχε την πρόθεση να μετρήσει. Εν προκειμένω, ως εγκυρότητα εννοιολογικής κατασκευής θεωρούμε το βαθμό στον οποίο θα παρατηρηθεί διάκριση στην επίδοση μεταξύ των ομάδων που δέχτηκαν διαφορετική διδακτική μεθοδολογία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΤΑ ΕΠΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΤΕΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ - ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ

#### 9.1 Παρουσίαση του θέματος 1

Το θέμα 1 αναφέρεται στην έννοια της πυκνότητας. Το πρώτο ερώτημα ζητάει τον υπολογισμό της μάζας του νερού σε μια πισίνα που δίνονται οι διαστάσεις της καθώς και η πυκνότητα του νερού. Για την απάντηση χρειάζεται η εύρεση του όγκου της πισίνας, στη συνέχεια η επίλυση του τύπου της πυκνότητας ως προς την μάζα και η αντικατάσταση της τιμής του όγκου και της πυκνότητας, αφού προηγουμένως γίνει μετατροπή του όγκου της πισίνας από  $m^3$  σε L ή η μετατροπή της δοθείσας πυκνότητας του νερού από  $Kg/L$  σε  $Kg/m^3$ .

Περιγράφοντας τη λύση του πρώτου ερωτήματος της άσκησης αυτής, στο πλαίσιο του μοντέλου επεξεργασίας πληροφοριών (βλέπε, κεφ. 4, 4.11), η δομή της απαιτεί την ενεργοποίηση από το λύτη δύο νοητικών σχημάτων. Το πρώτο σχήμα για την επεξεργασία του χρειάζεται τρία βήματα (μέγιστο αριθμό βημάτων ή νοητική απαίτηση-Z) το δε δεύτερο τέσσερα.

#### 1<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Εύρεση του όγκου της πισίνας

1<sup>ο</sup> βήμα: Όγκος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου = μήκος x πλάτος x ύψος

2<sup>ο</sup> βήμα:  $V = 6m \times 4m \times 3m = 72 m^3$

3<sup>ο</sup> βήμα:  $V = 72m^3 = 72 \times 10^3 L$

#### 2<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Εύρεση της μάζας του νερού της πισίνας

1<sup>ο</sup> βήμα:  $\rho = m / v$

2<sup>ο</sup> βήμα:  $m = \rho \times V$

3<sup>ο</sup> βήμα:  $m = 1Kg/L \times 72 \times 10^3 L$

4<sup>ο</sup> βήμα:  $m = 72 \times 10^3 Kg = 72 tn$

Το δεύτερο ερώτημα ζητάει την εκτίμηση της μάζας αέρα, όγκου ίσου με τον όγκο της πισίνας και την αιτιολόγηση της εκτίμησης. Για βοήθεια δίνονται και τέσσερις



επιλογές (τέσσερις τιμές μαζών) εκ των οποίων η μία είναι η ορθή. Για την απάντηση στο ερώτημα αυτό ο λύτης θα πρέπει όχι μόνο να γνωρίζει ότι η πυκνότητα του αέρα είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού, αλλά και να έχει κατανοήσει την τάξη μεγέθους της πυκνότητας των αερίων. Το δεύτερο ερώτημα είναι δυσκολότερο από το πρώτο, γιατί αφ' ενός απαιτεί να έχει απαντήσει σωστά ο λύτης στο πρώτο ερώτημα, για να μπορεί να κάνει σύγκριση και αφ' ετέρου να γνωρίζει έστω και κατά προσέγγιση την τιμή της πυκνότητας του αέρα. Διαφορετικά θα πρέπει να επεξεργαστεί εναλλακτικά σενάρια, όπως να θέσει διαδοχικά στη σχέση  $\rho = m / V$ , όλες τις εναλλακτικές τιμές μάζας του αέρα, που δίνονται στην εκφώνηση, και θέτοντας όπου  $V(\text{αέρα}) = V(\text{πισίνας})$  να πάρει αντίστοιχες τιμές πυκνότητας. Από αυτές θα πρέπει να θυμηθεί τη σωστή τιμή πυκνότητας του αέρα. Το νοητικό σχήμα και τα βήματα για την απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι τα παρακάτω.

**3<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ:** Εύρεση της μάζας του αέρα, όγκου ίσου με τον όγκο της πισίνας

1<sup>ο</sup> βήμα:  $m = \rho \times V$

2<sup>ο</sup> βήμα:  $V(\text{αέρα}) = V(\text{πισίνας})$

3<sup>ο</sup> βήμα:  $\rho(\text{νερού}) \gg \rho(\text{αέρα})$

4<sup>ο</sup> βήμα:  $\rho(\text{νερού}) \cong 800 \rho(\text{αέρα})$  ή  $\rho(\text{αέρα}) \cong 1,25 \text{ g/L}$

5<sup>ο</sup> βήμα:  $m = 1,25 \text{ g/L} \times 72 \times 10^3 \text{ L}$

6<sup>ο</sup> βήμα:  $m = 90 \text{ Kg}$

Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 8 καταλήξαμε στο παρακάτω βαθμολογικό σχήμα.

**Πίνακας 9.1** Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 1 (άριστα 10 μονάδες).

Σχήματα	Βήματα	Μονάδες ανά βήμα
<b>Ερώτημα Α</b>		
Εύρεση του όγκου της πισίνας	Όγκος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου	1-2
	Αριθμητικές πράξεις Εύρεση τιμής και μονάδα	
Εύρεση της μάζας του νερού της πισίνας	Σχέση πυκνότητας, όγκου, μάζας	0,5
	1) Επίλυση της σχέσης ως προς τη μάζα. Αριθμητικές πράξεις. Αριθμητικό αποτέλεσμα και μονάδα	2
	2) Εύρεση της μάζας με ερμηνεία αριθμητική της έννοιας της πυκνότητας, ως μάζα ανά μονάδα όγκου	
		<b>4,5</b>



Ερώτημα Β		
Εύρεση της μάζας του αέρα	Επιλέγουν σωστή τιμή μάζας αέρα – δεν αιτιολογούν ή αιτιολογούν λάθος	0,5
	Επιλέγουν σωστή τιμή μάζας αέρα – δεν αιτιολογούν πλήρως	1-3
	Μερικώς ορθή αιτιολόγηση, λάθος επιλογή μάζας αέρα	1-2
	Χρησιμοποιούν αποδεκτή τιμή πυκνότητας αέρα, δίνουν λάθος επιλογή	1-3
	Χρησιμοποιούν αποδεκτή τιμή πυκνότητας αέρα, και δίνουν σωστή επιλογή	5,5

## 9.2 Παρουσίαση του θέματος 2

Το θέμα 2 αναφέρεται στην πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας σ' ένα στερεό σώμα που βρίσκεται μέσα σ' αυτόν και συνίσταται από τρία ερωτήματα. Το α' ερώτημα ζητάει να υπολογιστεί η τιμή της δύναμης που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας στην εξωτερική επιφάνεια μιας βιτρίνας. Για την απάντηση χρειάζεται κατ' αρχήν η εύρεση της τιμής της επιφάνειας της βιτρίνας από τις διαστάσεις της. Στη συνέχεια απαιτείται η γνώση της σχέσης ορισμού της πίεσης, ως πηλίκο δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας. Η λύση της παραπάνω σχέσης ως προς τη δύναμη, αντικατάσταση των δεδομένων, αριθμητικές πράξεις και πράξεις στις μονάδες.

Περιγράφοντας τη λύση του πρώτου ερωτήματος στο πλαίσιο του μοντέλου επεξεργασίας πληροφοριών, η δομή του απαιτεί την ενεργοποίηση από το λύτη δύο νοητικών σχημάτων. Το πρώτο σχήμα για την επεξεργασία του χρειάζεται τρία βήματα και το δεύτερο τέσσερα.

**1° ΣΧΗΜΑ: Εύρεση της επιφάνειας της βιτρίνας.**

1° βήμα: Εμβαδόν επιφάνειας ορθογωνίου παραλληλογράμμου = μήκος x πλάτος.

2° βήμα:  $A=3\text{m} \times 1,5\text{m}$

3° βήμα:  $A= 4,5 \text{ m}^2$

**2° ΣΧΗΜΑ: Εύρεση της δύναμης που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση σε επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα.**

1° βήμα: Σχέση πίεσης, δύναμης, επιφάνειας:  $P=F/A$

2° βήμα:  $F=P \times A$

3° βήμα:  $F= 10^5 \text{ N/m}^2 \times 4,5 \text{ m}^2$

4° βήμα:  $F= 4,5 \times 10^5 \text{ N}$

Το δεύτερο ερώτημα ζητάει τον υπολογισμό της μάζας ενός σώματος που να έχει τιμή βάρους ίση με τη δύναμη που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της βιτρίνας, στο πρώτο ερώτημα. Για την απάντηση χρειάζεται η γνώση της σχέσης που συνδέει τη μάζα ενός σώματος με το βάρος του σ' ένα συγκεκριμένο τόπο και γι' αυτό δίνεται και μια τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Στη συνέχεια χρειάζεται να λύσουμε

τη σχέση ως προς τη μάζα και στη θέση του βάρους να αντικαταστήσουμε τη τιμή της δύναμης που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση στη βιτρίνα, που βρήκαμε από το πρώτο ερώτημα καθώς και τη τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Να εκτελέσουμε τις αριθμητικές πράξεις και, επειδή όλες οι μονάδες είναι στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I), να γράψουμε την αντίστοιχη τιμή μάζας σε Kg ή να εκτελέσουμε τις πράξεις στις μονάδες αναλύοντας τη μονάδα δύναμης 1 N σε  $\text{Kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ .

Η περιγραφή της παραπάνω λύσης απαιτεί δηλαδή την ενεργοποίηση ενός νοητικού σχήματος που συνίσταται από τα παρακάτω βήματα.

**3<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Εύρεση του βάρους σώματος ορισμένης μάζας.**

1<sup>ο</sup> βήμα: Σχέση βάρους, μάζας και επιτάχυνσης της βαρύτητας:  $B = m \times g$

2<sup>ο</sup> βήμα:  $m = B/g$

3<sup>ο</sup> βήμα:  $m = F/g$

4<sup>ο</sup> βήμα:  $m = (4,5 \times 10^5) \text{ N} / 10 \text{ m/s}^2$

5<sup>ο</sup> βήμα:  $m = (4,5 \times 10^4) \text{ Kg}$

Τα δύο πρώτα ερωτήματα προετοιμάζουν το λύτη για το τρίτο ερώτημα, που ζητάει να εξηγήσουν οι φοιτητές γιατί, «παρόλη τη μεγάλη τιμή της δύναμης που ασκείται στη βιτρίνα, αυτή δε θρυμματίζεται». Η απάντηση στο ερώτημα αυτό απαιτεί να έχει κατανοηθεί ο τρόπος που ο αέρας και γενικά τα αέρια ασκούν πίεση σ' ένα στερεό σώμα που βρίσκεται μέσα σ' αυτά. Η ευρεθείσα πολύ μεγάλη τιμή δύναμης, στη μια επιφάνεια της βιτρίνας ( $4,5 \times 10^5 \text{ N}$ ) στο πρώτο ερώτημα και η ευρεθείσα τιμή μάζας στο δεύτερο ερώτημα, 45.000 Kg ή 45 tn, υπογραμμίζεται και με την έκφραση στη διατύπωση του τρίτου ερωτήματος «παρόλη τη μεγάλη τιμή της δύναμης αυτής...». Τα τρία αυτά στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν και ως υπόδειξη για την απάντηση στο τρίτο ερώτημα.

Η απάντηση στα δύο πρώτα ερωτήματα δεν εξασφαλίζει ότι ο λύτης κατανοεί τις έννοιες που διαχειρίζεται. Η απάντηση όμως στο τρίτο ερώτημα είναι εννοιολογικά απαιτητική και προϋποθέτει την κατανόηση της πρότασης ότι «η πίεση που ασκεί αέριο, ευρισκόμενο σε ηρεμία (δεν βρίσκεται σε κατάσταση ροής) και σε μια περιορισμένη έκταση, είναι η ίδια σε όλα τα σημεία». Η περιγραφή της απάντησης απαιτεί την ενεργοποίηση ενός νοητικού σχήματος που συνίσταται από τέσσερα βήματα.

**4<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Οι πιεστικές δυνάμεις στις δύο επιφάνειες της βιτρίνας εξισορροποούνται.**

1<sup>ο</sup> βήμα: Στις δύο επιφάνειες της βιτρίνας επικρατεί η ίδια τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης.

2<sup>ο</sup> βήμα: Οι δύο επιφάνειες έχουν το ίδιο εμβαδόν και ασκείται σ' αυτές η ίδια πιεστική δύναμη.

3<sup>ο</sup> βήμα: Οι δύο πιεστικές δυνάμεις ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες της βιτρίνας.

4<sup>ο</sup> βήμα: Οι πιεστικές δυνάμεις εξισορροποούνται.

Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές καταλήξαμε στο παρακάτω σχήμα.



**Πίνακας 9.2** Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 2 (άριστα 10 μονάδες). Το πρώτο ερώτημα βαθμολογήθηκε με άριστα τις 3,5 μονάδες, το δεύτερο με 2,5 και το τρίτο με 4, 0.

Σχήματα	Βήματα	Μονάδες ανά βήμα
<b>Ερώτημα Α</b>		
Εύρεση της επιφάνειας της βιτρίνας	Εμβαδόν επιφάνειας ορθογωνίου παραλληλογράμμου	0,5
	Αριθμητικές πράξεις Εύρεση τιμής και μονάδα	0,5
Εύρεση της δύναμης που ασκεί η ατμοσφαιρική πίεση σε επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα.	Σχέση πίεσης, δύναμης, επιφάνειας	1
	Επίλυση της σχέσης ως προς τη δύναμη. Αριθμητικές πράξεις	1,5
	Εύρεση τιμής και μονάδα	
		<b>3,5</b>
<b>Ερώτημα Β</b>		
Εύρεση του βάρους σώματος ορισμένης μάζας	Σχέση βάρους, μάζας και επιτάχυνσης της βαρύτητας	1
	Επίλυση της σχέσης ως προς τη μάζα Αριθμητικές πράξεις. Εύρεση τιμής και μονάδα	1,5
		<b>2,5</b>
<b>Ερώτημα Γ</b>		
Οι πιεστικές δυνάμεις στις δύο επιφάνειες της βιτρίνας εξισορροπούνται	Στις δύο επιφάνειες της βιτρίνας επικρατεί η ίδια τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης.	2
	Οι δύο επιφάνειες έχουν το ίδιο εμβαδόν και ασκείται σ' αυτές η ίδια πιεστική δύναμη	0,5
	Οι πιεστικές δυνάμεις ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες	0,75
	Οι πιεστικές δυνάμεις εξισορροπούνται	0,75
		<b>4,0</b>

### 9.3 Παρουσίαση του θέματος 3

Το θέμα 3 ερωτά «αν είναι δυνατό να υγροποιήσουμε τον αέρα, και αν ναι με ποιο τρόπο». Μια τέτοια ερώτηση για έναν ειδικό δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού διαθέτει στη μακρόχρονη μνήμη του γενικά νοητικά σχήματα που περιέχουν πληροφορίες με το γενικό τίτλο «μετατροπές φάσεων» και υπότιτλο «υγροποίηση αερίων». Όμως για έναν απόφοιτο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ακόμη και αν γνωρίζει ότι τα αέρια υγροποιούνται, η περιγραφή του τρόπου υγροποίησης έστω και σε στοιχειώδες επίπεδο δεν είναι εύκολη υπόθεση.

Μια απάντηση από έναν ειδικό θα πρέπει να κάνει αναφορά στην έννοια της κρίσιμης θερμοκρασίας και να τονίζεται ότι κάθε αέριο που έχει θερμοκρασία πάνω από



την κρίσιμη δεν μπορεί να υγροποιηθεί με οποιαδήποτε συμπίεση. Η απάντηση στην υγροποίηση των αερίων στηρίζεται στη μελέτη των ισόθερων καμπυλών του Andrews και σε μικροσκοπικό επίπεδο ερμηνεύεται από τις μοριακές αλληλεπιδράσεις.

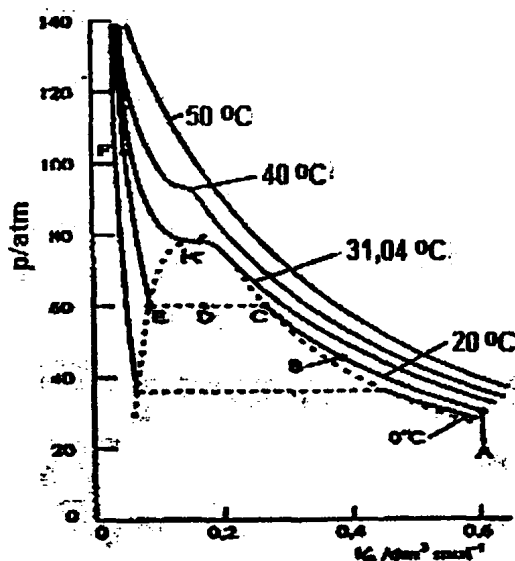
Κατά την πειραματική μελέτη υγροποίησης ενός πραγματικού αερίου, υπό σταθερή θερμοκρασία, π.χ. του διοξειδίου του άνθρακα που υγροποιείται εύκολα, παρατηρούνται αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά. Το σχήμα 9.1 δείχνει πειραματικές ισόθερες για το διοξείδιο του άνθρακα σε διάφορες θερμοκρασίες. Το αέριο βρίσκεται εντός κυλίνδρου, που κλείνεται με κινητό έμβολο. Η διάταξη βρίσκεται εντός δεξαμενής μεγάλης θερμοχωρητικότητας, ώστε η μεταβολή της κατάστασης του αερίου να είναι ισόθερμη.

Έστω ότι το αέριο βρίσκεται στην κατάσταση A και ο όγκος του μειώνεται, υπό σταθερή θερμοκρασία 20 °C, μέχρι την κατάσταση B, με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης. Παρατηρούμε

ότι η μεταβολή από την κατάσταση A στην B ακολουθεί με ικανοποιητική προσέγγιση το νόμο του Boyle. Περαιτέρω μείωση του όγκου, με αντίστοιχη αύξηση της πίεσης μέχρι το σημείο C, εμφανίζει σημαντικές αποκλίσεις από το νόμο της ισόθερμης μεταβολής.

Όταν το αέριο φτάσει στην κατάσταση C, που για το διοξείδιο του άνθρακα αντιστοιχεί σε πίεση 60 atm, περαιτέρω μείωση του όγκου δεν προκαλεί αύξηση της πίεσης. Αυτό σημαίνει ότι οι εντός του δοχείου περιεχόμενοι κορεσμένοι ατμοί άρχισαν να υγροποιούνται. Συνεχιζόμενης της ελάττωσης του όγκου δεν παρατηρείται αύξηση της πίεσης, καθώς στο τμήμα CDE συνυπάρχουν υγρό και κορεσμένοι ατμοί. Το τμήμα αυτό είναι οριζόντιο, διότι η πίεση των κορεσμένων ατμών είναι ανεξάρτητη του όγκου και ονομάζεται *τάση του υγρού*, στη θερμοκρασία του πειράματος. Στην κατάσταση D ατμοί και υγρό συνυπάρχουν. Η διαχωριστική επιφάνεια, διεπιφάνεια υγρού-αερίου, είναι ορατή. Στην κατάσταση E το ποσοστό των ατμών έχει γίνει 0%, ενώ το ποσοστό του υγρού 100%. Το οριζόντιο τμήμα CDE δείχνει ότι το αέριο ανταποκρίνεται με συμπύκνωση, ώστε να μην παρατηρείται αύξηση της πίεσης.

Αν στη συνέχεια ελαττώσουμε ακόμη περισσότερο τον όγκο, η πίεση θα αυξηθεί απότομα. Τιμές όγκων αριστερά της τιμής που αντιστοιχεί στην κατάσταση E αναφέρονται σε μεταβολή του όγκου του υγρού. Επειδή δε τα υγρά είναι πρακτικώς



Σχήμα 9.1 Πειραματικές ισόθερες για το διοξείδιο του άνθρακα σε διάφορες θερμοκρασίες. Η κρίσιμη ισόθερμη είναι 31,04 °C και διέρχεται από το σημείο K (Από το βιβλίο του P. Atkins, Φυσικοχημεία, 1989, τόμος I., σ. 35).





ασυμπύεστα, μικρή μεταβολή του όγκου απαιτεί πολύ μεγάλη πίεση. Αυτό ακριβώς δηλώνει η μεγάλη κλίση του τμήματος EF της καμπύλης.

Αν επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα σε υψηλότερη όμως θερμοκρασία, θα προκύψει μια άλλη ισόθερμη της ίδιας μορφής, της οποίας όμως το οριζόντιο τμήμα ευρίσκεται σε υψηλότερη τιμή πίεσης, καθόσον η τάση των κορεσμένων ατμών αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ταυτόχρονα το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος γίνεται μικρότερο.

Για μια τιμή θερμοκρασίας, για το διοξείδιο του άνθρακα είναι  $31,04^{\circ}\text{C}$ , θα λάβουμε μια καμπύλη της οποίας το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος μηδενίζεται, εκφυλίζεται σε σημείο.

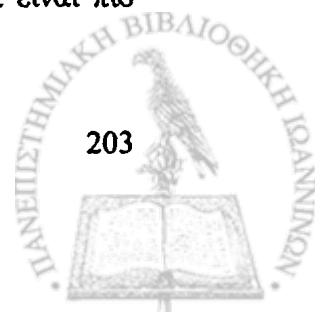
Στην περίπτωση αυτή δε σχηματίζεται καμιά διεπιφάνεια. Το σημείο Κ ονομάζεται *κρίσιμο σημείο* του αερίου. Στην κρίσιμη θερμοκρασία  $T_C$  και σε θερμοκρασίες υψηλότερες απ' αυτή δεν σχηματίζεται υγρή φάση. Η πίεση και ο γραμμομοριακός όγκος στο κρίσιμο σημείο λέγονται *κρίσιμη πίεση και κρίσιμος γραμμομοριακός όγκος*.

Για θερμοκρασίες υψηλότερες της κρίσιμης, όταν ελαττώνεται ο όγκος, αυξάνεται η πίεση, χωρίς να συμβαίνει υγροποίηση του αερίου. Συνεπώς ένα αέριο δεν υγροποιείται οσοδήποτε μεγάλη πίεση και αν του ασκηθεί, αν αυτό βρίσκεται σε θερμοκρασία υψηλότερη της κρίσιμης.

Η εστιγμένη γραμμή που διαχωρίζει την αέρια από την υγρή φάση καλείται *καμπύλη κόρου*. Αέρια των οποίων η κατάσταση παριστάνεται με σημεία που βρίσκονται πλησίον της καμπύλης κόρου λέγονται *ατμοί*. Στην περιοχή των ατμών οι ισόθερμες δεν έχουν σχήμα υπερβολής. Σε θερμοκρασίες όμως πολύ υψηλότερες της κρίσιμης, το σχήμα τους πλησιάζει συνεχώς προς την υπερβολική καμπύλη που εκφράζει το νόμο του Boyle για τα ιδανικά αέρια. Επίσης, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες της κρίσιμης αλλά στην περιοχή των μεγάλων τιμών όγκου, οι ισόθερμες έχουν σχήμα υπερβολής.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν ότι τα πραγματικά αέρια συμπεριφέρονται ως ιδανικά, όταν με αύξηση του όγκου τους γίνουν αρκετά αραιά και όταν οι θερμοκρασίες τους είναι αρκετά υψηλές.

Η αιτία υγροποίησης των αερίων είναι η ύπαρξη των διαμοριακών δυνάμεων. Οι απωστικές δυνάμεις είναι αλληλεπιδράσεις μικρής εμβέλειας, σε κλίμακα βασισμένη σε μοριακές διαμέτρους. Είναι σημαντικές, όταν τα σωματίδια βρίσκονται κατά μέσο όρο πολύ κοντά, δηλαδή σε υψηλές πυκνότητες και πιέσεις. Οι ελκτικές δυνάμεις έχουν σχετικά μεγάλη εμβέλεια και μπορεί να είναι αποτελεσματικές σε αποστάσεις της τάξης αρκετών μοριακών διαμέτρων (για τα απλά μόρια είναι περί τις τέσσερις μοριακές διαμέτρους). Έτσι, μπορεί να είναι σημαντικές, όταν κατά μέσο όρο τα σωματίδια βρίσκονται σχετικά κοντά μεταξύ τους, χωρίς κατ' ανάγκη να ακουμπούν το ένα στο άλλο. Ωστόσο, και αυτές γίνονται αμελητέες, όταν τα σωματίδια βρίσκονται κατά μέσο όρο πολύ μακριά. Γενικά, για ένα πραγματικό αέριο σε ενδιάμεσες τιμές πυκνότητας, οι ελκτικές δυνάμεις υπερισχύουν των απωστικών, και το αέριο αναμένεται να είναι πιο εύκολα συμπιέσιμο από ό,τι ένα ιδανικό (Atkins, 1989, σ. 34-37).



Ας θεωρήσουμε τρία μόρια ενός πραγματικού αερίου, κινούμενα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να πλησιάζουν το ένα προς το άλλο. Όταν η απόστασή τους γίνει σχετικώς μικρή, εμφανίζονται μεταξύ τους ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες τα επιταχύνουν. Τα μόρια ερχόμενα σε επαφή αρχίζει να διεισδύει το ένα μέσα στο ηλεκτρονιακό περίβλημα του άλλου, οπότε εμφανίζονται ισχυρές απωστικές δυνάμεις. Είναι πιθανόν στην περίπτωση αυτή κατά τη συνάντηση των τριών μορίων η ολική ενέργεια να κατανεμηθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε μετά την σύγκρουση ένα μόριο να αποχωριστεί, ενώ τα άλλα δύο να μείνουν μονίμως συνδεδεμένα, οπότε αρχίζει η υγροποίηση. Εκ των παραπάνω αναφερθέντων, είναι φανερό ότι για να συμβεί αυτό πρέπει η αρχική κινητική ενέργεια κάθε μορίου να είναι σχετικώς μικρή – η θερμοκρασία του αερίου να είναι χαμηλή. Αφ'ετέρου, η κρούση των μορίων καθίσταται πιθανότερη, όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του αερίου, γεγονός που καθιστά την ανάγκη της συμπίεσης του αερίου. Η εκπλήρωση των δύο παραπάνω προϋποθέσεων καθιστά δυνατή την υγροποίηση του αερίου (Αλεξόπουλος 1960, τόμος τέταρτος, σ. 110).

Ο αέρας ως μίγμα κυρίως αζώτου και οξυγόνου για να υγροποιηθεί, απαιτείται να ασκηθεί σ'αυτό μεγάλη πίεση και η θερμοκρασία του να κατέβει κάτω από τους  $-147^{\circ}\text{C}$ . Η κρίσιμη θερμοκρασία για το οξυγόνο είναι  $-118^{\circ}\text{C}$  και η κρίσιμη πίεση 50 Atm, ενώ για το άζωτο η κρίσιμη θερμοκρασία είναι  $-147^{\circ}\text{C}$  και η πίεση 34 Atm. Στην πράξη η υγροποίηση του αέρα επιτυγχάνεται με μηχανές (μηχανές Linde), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο ότι, όταν ένα αέριο που έχει συμπιεστεί εκτονωθεί χωρίς παραγωγή έργου, τότε ψύχεται.

Το φαινόμενο της εξαέρωσης υγρού, που συμβαίνει είτε με τη μορφή της εξάτμισης είτε με τη μορφή του βρασμού είναι πιο προσιτό στους μαθητές, γιατί έχουν άμεση εμπειρία των φαινομένων. Η γνώση ότι η μετάβαση από την υγρή στην αέριο φάση είναι δυνατόν να γίνει, είτε με θέρμανση, είτε με ελάττωση της πίεσης στην επιφάνεια του υγρού, είτε και με τις δύο διαδικασίες ταυτόχρονα, είναι μια καλή γνωστική βάση για την κατανόηση της υγροποίησης. Το αντίστροφο φαινόμενο της εξαέρωσης, η υγροποίηση αερίου θεωρήσαμε ότι παρουσιάζει εννοιολογικές δυσκολίες, όχι μόνο γιατί λείπει από τους μαθητές η εμπειρία του φαινομένου, αλλά και γιατί η αντίστροφη διαδικασία συλλογισμού για το τι συμβαίνει σε μικροσκοπικό επίπεδο σε σχέση με την εξαέρωση δεν είναι εύκολη.

Η μόνη κοινή εμπειρία υγροποίησης είναι η υγροποίηση των υδρατμών της ατμόσφαιρας, την οποία ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών δεν μπορεί να την εξηγήσει αφού του διαφεύγει ότι το συστατικό του αέρα που υγροποιείται είναι οι υδρατμοί και όχι ο ατμοσφαιρικός αέρας (βλέπε, Προέρευνα μέρος I, ερώτηση 5). Όπως θα αναφέρουμε παρακάτω ένα αξιοσημείωτο ποσοστό πρωτοετών φοιτητών του δείγματός μας ταυτίζει τη συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας με την συμπύκνωση του ατμοσφαιρικού αέρα (Κεφ. 11, Πρόβλημα-Θέμα 3).

Επειδή η αναφορά στη συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι συχνή από τους φοιτητές, αναφέρουμε τα εξής: Η μετατροπή των υδρατμών στην υγρή ή στη στερεά κατάσταση συμβαίνει, όταν δι' οιονδήποτε λόγο η τάση των υδρατμών γίνει ίση ή μεγαλύτερη της μέγιστης τάσης των υδρατμών σε μια ορισμένη θερμοκρασία ή αν η



σχετική υγρασία του αέρα γίνει μεγαλύτερη του 100%. Ο ατμοσφαιρικός αέρας κορέννυται υδρατμών ή δι' αύξησεως της τάσης των υδρατμών, μέχρις ότου φτάσει την τιμή της μέγιστης τάσης υδρατμών υπό την επικρατούσα θερμοκρασία και αυτό γίνεται με την εξάτμιση από μια εγγύς κείμενη υδάτινη επιφάνεια ή με ψύξη του αέρα, χωρίς μεταβολή της ποσότητας των υδρατμών τους οποίους περιέχει, μέχρις ότου λάβει τη θερμοκρασία δρόσου. Η πλειονότητα των συμπυκνώσεων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα πραγματοποιούνται με τη δεύτερη διεργασία, με τη ψύξη του αέρα (Καραπτέρης, 1976, σ. 201-213).

Πίνακας 9.3 Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 3 (άριστα 10 μονάδες)

Σχήμα		Μονάδες ανά βήμα
Μικροσκοπικό επίπεδο	Μακροσκοπικό επίπεδο	
<i>Απάντηση καταφατική (με τη διαδικασία της συμπύκνωσης)</i>		1,5
Να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία.	Ελαττώνεται η ταχύτητα των μορίων	4,0
Να συμπιέσουμε τον αέρα	Ελαττώνεται η απόσταση μεταξύ των μορίων	4,0
Να ψύξουμε τον αέρα ή να τον συμπιέσουμε	Ελαττώνεται η ταχύτητα των μορίων ή ελαττώνεται η απόσταση μεταξύ των μορίων	7
Να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία και ταυτόχρονα να το συμπιέσουμε.	Η ταχύτητα των μορίων ελαττώνεται καθώς και η μεταξύ τους απόσταση.	8
Να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία και ταυτόχρονα να το συμπιέσουμε.	Τα μόρια θα βρεθούν σε σχετικές θέσεις ώστε οι διαμοριακές έλξεις (δυνάμεις συνοχής) να υπερνικούν τις απωστικές δυνάμεις των μορίων που τείνουν να τα απομακρύνουν και το αέριο συμπυκνώνεται σε υγρό.	10

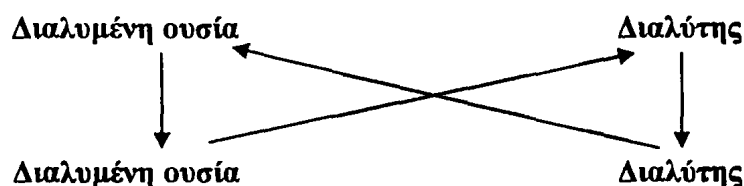
Στην περίπτωση φοιτητών που δε σπουδάζουν φυσικές επιστήμες, όπως στην περίπτωση του δείγματός μας, η γνώση των βασικών διαφορών μεταξύ αερίων και υγρών σε μικροσκοπικό επίπεδο και η επίδραση της θερμοκρασίας και πίεσης στη διάταξη, απόσταση και στη συμπεριφορά των μορίων μπορεί να δώσει μια απάντηση στην ερώτηση που θέσαμε που να θεωρηθεί σε μεγάλο βαθμό αποδεκτή. Η μη αναφορά σε διαμοριακές δυνάμεις, αν και σ' αυτές αναφερθήκαμε κατά την διδασκαλία των διδακτικών παρεμβάσεων Α, Β, θεωρήσαμε ότι θα πρέπει να αφαιρεί λίγες μονάδες (δύο μονάδες) από το σύνολο των μονάδων μιας πλήρους απάντησης.

Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές καταλήξαμε στο βαθμολογικό σχήμα που περιγράφεται στον πίνακα 9.3.

#### 9.4 Παρουσίαση του θέματος 4

Το θέμα 4 αφορά τη μεταβολή της διαλυτότητας αερίου, συγκεκριμένα του οξυγόνου στο νερό σε σχέση με τη θερμοκρασία του διαλύματος. Η έννοια της διαλυτότητας διδάσκεται στη χημεία της α' λυκείου μετά τη διδασκαλία των διαλυμάτων (Λιοδάκης, κ.ά. 2002, σ. 22 και Τσίπης, κ.ά. 2000, σ. 34-35). Στα σχολικά βιβλία εκτός από τον ορισμό της διαλυτότητας αναφέρονται και οι παράγοντες που την επηρεάζουν και επίσης δίνονται σχετικές ερωτήσεις και ασκήσεις για περαιτέρω κατανόηση των εννοιών. Η περίπτωση μείωσης της διαλυτότητας του CO<sub>2</sub> σε αεριούχο ποτό, όταν ανοίγουμε τη φιάλη, καθώς και η μεταβολή της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό σε σχέση με την πίεση και τη θερμοκρασία παρουσιάζονται σε πίνακες και με φωτογραφίες. Στη β' λυκείου οι μαθητές της θετικής κατεύθυνσης διδάσκονται τη χημική ισορροπία και την αρχή του Le Chatelier (Λιοδάκης κ.ά., 2000, σ. 107-142) δημιουργώντας έτσι την υποδομή για να μελετήσουν στη γ' λυκείου πιο σύνθετες χημικές έννοιες, όπως τη διάλυση και καταβύθιση ιοντικής ουσίας, τη διαλυτότητα και το γινόμενο διαλυτότητας, πρόβλεψη σχηματισμού ή διάλυσης ιζήματος (Μανουσάκης, κ.ά., 2000, σ. 116-125).

Από τη θεωρία της χημείας γνωρίζουμε ότι μεταξύ των σωματιδίων μιας ουσίας υφίστανται ελκτικές δυνάμεις, που ανάλογα με τη φύση της ουσίας μπορεί να είναι ηλεκτροστατικές (ιονικές ενώσεις), τύπου διπόλου-διπόλου (πολικές ενώσεις) ή τύπου δυνάμεων van der Waals (ομοιοπολικές ενώσεις). Ανάλογα είδη δυνάμεων υφίστανται και μεταξύ των μορίων ενός διαλύτη αλλά και μεταξύ των μορίων ενός διαλύτη και των σωματιδίων μιας ουσίας που θα έλθει σε επαφή με το διαλύτη. Στο σύστημα μιας ουσίας και ενός διαλύτη θα έχουμε τους παρακάτω συνδυασμούς διαμοριακών δυνάμεων:



Όταν τα τρία είδη των αλληλεπιδράσεων είναι συγκρίσιμου μεγέθους, τότε η ουσία διαλύεται στο διαλύτη, διαφορετικά όχι. Για να διαλυθεί μια ουσία σε ένα διαλύτη θα πρέπει οι δυνάμεις ουσίας-διαλύτη να είναι συγκρίσιμου μεγέθους με τις δυνάμεις ουσίας- ουσίας και διαλύτη-διαλύτη. Αυτό είχε διαπιστωθεί από τους ρωμαϊκούς χρόνους, απ' όπου και η χαρακτηριστική φράση: *similia similibus solvuntur* – όμοια ομοίως διαλύονται (Τσίπης, 1996, σ. 137). Στη σύγχρονη γλώσσα της χημείας η παραπάνω πρόταση λέει: πολικά μόρια διαλύονται σε πολικούς διαλύτες και μη πολικά μόρια διαλύονται σε μη πολικούς διαλύτες.

Στην περίπτωση που μια πολική στερεά ουσία (π.χ. η ζάχαρη) εισέρχεται στο νερό, τα πολικά μόρια του νερού προσανατολίζονται πάνω στην επιφάνεια της ζάχαρης και αναπτύσσονται δυνάμεις διπόλου -διπόλου. Οι δυνάμεις αυτές είναι συγκρίσιμου μεγέθους των δυνάμεων νερού-νερού και ζάχαρης-ζάχαρης και έχουν ως αποτέλεσμα να αποσπών μόρια ζάχαρης από την επιφάνεια του στερεού και να τα μεταφέρουν στο



διάλυμα. Τα μόρια της ζάχαρης στο διάλυμα περιβάλλονται από ένα αριθμό μορίων νερού (εφυδατωμένα μόρια). Το φαινόμενο αυτό είναι γενικότερο και αναφέρεται ως επιδιαλύτωση.

Ανάλογη είναι η συμπεριφορά των πολικών μορίων του νερού σε ιοντικές ενώσεις (π.χ. NaCl), όταν εισέρχονται σ' αυτό. Τα πολικά μόρια του νερού προσανατολίζονται στην επιφάνεια του στερεού κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα κατιόντα  $\text{Na}^+$  να έλκονται από τους αρνητικούς πόλους των μορίων του νερού, ενώ τα ανιόντα  $\text{Cl}^-$  από τους θετικούς. Αποτέλεσμα αυτών των έλξεων είναι ο διαχωρισμός των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , τα οποία περιβάλλονται από ορισμένο αριθμό μορίων νερού στο διάλυμα. Τα διαλύματα του τύπου αυτού είναι ιοντικά ή ηλεκτρολυτικά διαλύματα, και τα σωματίδια της διαλυμένης ουσίας είναι επιδιαλυτωμένα ιόντα.

Η επίδραση της θερμοκρασίας στη διαλυτότητα μιας ουσίας εξαρτάται από την εξώθερμη ή ενδόθερμη φύση του φαινομένου της διάλυσης. Σε ένα κορεσμένο διάλυμα μιας ουσίας σε ορισμένη θερμοκρασία υπάρχει μια δυναμική ισορροπία μεταξύ της διαλυμένης και της αδιάλυτης ουσίας. Όσα μόρια της ουσίας διαλύονται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, τόσα μόρια της ουσίας αποβάλλονται από το διάλυμα. Η δυναμική ισορροπία παριστάνεται ως εξής:



Η αρχή του Le Chatelier καθορίζει ότι ουσίες που διαλύονται ενδόθερμα αυξάνουν τη διαλυτότητά τους με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ ουσίες που διαλύονται εξώθερμα αυξάνουν τη διαλυτότητά τους με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Για τις περισσότερες ιοντικές ενώσεις με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η διαλυτότητά τους στο νερό. Εξάιρεση αποτελεί το  $(\text{NaCl})_s$ , που η διαλυτότητά του μεταβάλλεται πολύ λίγο με τη θερμοκρασία κι' αυτό γιατί η διάλυσή του στο νερό είναι ελαφρά ενδόθερμη. Σε αντίθεση με τις ιοντικές ενώσεις, τα αέρια διαλύονται στο νερό εξώθερμα (όταν το αέριο δεν δίσταται εντός του διαλύτη, π.χ. το HCl στο νερό). Επομένως, η διαλυτότητα των αερίων στο νερό ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτά αποβάλλονται από το διάλυμα με τη μορφή φυσαλίδων.

Ως παράδειγμα αναφέρομε τη μείωση της διαλυτότητας του  $\text{CO}_2$  με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στο διάλυμα μεταξύ  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{CO}_3$  υπάρχει χημική ισορροπία της μορφής:



Με αύξηση της θερμοκρασίας η ισορροπία μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Η όξινη δε αντίδραση του διαλύματος  $\text{CO}_2$  οφείλεται στο ότι ένα μέρος του διαλυμένου  $\text{CO}_2$  (λιγότερο από το 1%) αντιδρά με το νερό για να σχηματίσει ιόντα  $\text{H}_3\text{O}^+$  ή  $\text{H}^+$  σύμφωνα με την αντίδραση (Borgford & Summerlin, 1988, pp. 5-7)..



Στην ελάττωση της διαλυτότητας των αερίων στο νερό με την αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται και το φαινόμενο της θερμικής μόλυνσης του περιβάλλοντος. Τα θερμά υδατικά απόβλητα των βιομηχανιών που χύνονται στα ποτάμια, τις λίμνες ή τις θάλασσες, ελαττώνουν την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου σ' αυτά και δημιουργούν πρόβλημα επιβίωσης των ζωντανών οργανισμών (Βασιλικιώτης, 1989, σ. 32-42).

Η πίεση επηρεάζει σημαντικά τη διαλυτότητα των αερίων σε υγρούς διαλύτες. Γενικά, η αύξηση της πίεσης συνεπάγεται και αύξηση της διαλυτότητας του αερίου. Αν ανοίξουμε τη φιάλη ενός αεριούχου ποτού παρατηρούμε τη χαρακτηριστική αποβολή του αερίου από το διάλυμα με τη μορφή φυσαλίδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με το άνοιγμα της φιάλης ελαττώνεται η υπερκείμενη πίεση και κατά συνέπεια ελαττώνεται και η διαλυτότητα του αερίου. Η μεταβολή της διαλυτότητας αερίου με την πίεση ερμηνεύεται με την αρχή του Le Chatelier, καθόσον μεταξύ του διαλύματος του αερίου και του υπερκείμενου αερίου υπάρχει δυναμική ισορροπία, δηλαδή:



Αύξηση της πίεσης του υπερκείμενου αερίου αυξάνει τον αριθμό των συγκρούσεων των μορίων του αερίου με την επιφάνεια του διαλύματος και κατά συνέπεια αυξάνεται ο αριθμός των μορίων του αερίου που εισέρχονται στο διάλυμα.

Η ποσοτική εξάρτηση της διαλυτότητας των αερίων από την πίεση εκφράζεται από το νόμο του Henry. Κατά το νόμο αυτό, η διαλυτότητα αερίου σ' ένα υγρό είναι ανάλογη της μερικής πίεσης του αερίου πάνω από το διάλυμα. Η μαθηματική διατύπωση του νόμου είναι:  $S = K_H \cdot p$ , όπου  $S$  η διαλυτότητα του αερίου,  $K_H$  η σταθερά του Henry και  $p$  η μερική πίεση του αερίου (Τσαπαρλής, 1994, σ. 90-93). Στη συνήθη θερμοκρασία και πίεση σε ορισμένο όγκο νερού μπορεί να διαλυθεί ίσος περίπου όγκος διοξειδίου του άνθρακα, 30 φορές μικρότερος όγκος οξυγόνου και 60 φορές μικρότερος όγκος αζώτου. Νερό κορεσμένο σε διοξείδιο του άνθρακα με πίεση λέγεται ύδωρ του Seltz. Το ύδωρ αυτό περιέχει εν διαλύσει υπό πίεση 4 ατμοσφαιρών τετραπλάσιο όγκο διοξειδίου του άνθρακα.

Από την έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών γνωρίζουμε ότι τα άτομα νεαρής ηλικίας, όπως και οι ενήλικες, κατέχουν ποικίλες αντιλήψεις για τη «διάλυση». Μέχρι την ηλικία των 8 ετών, τα παιδιά έχουν την τάση να εστιάζουν την προσοχή τους μόνο σε ένα από τα συστατικά του διαλύματος π.χ. στην περίπτωση διάλυσης της ζάχαρης στο νερό λένε ότι η ζάχαρη «απλά έφυγε», «εξαφανίστηκε», «έλιωσε», «διαλύθηκε» ή «μετατράπηκε σε νερό» (Holding, 1987, Longden, 1984). Επίσης έχει ερευνηθεί η έννοια της διατήρησης της ύλης και της μάζας σε μαθητές, στο πλαίσιο της διάλυσης. Ο Holding (1987) βρήκε ότι περίπου τα 2/3 των οκτάχρονων μαθητών, που μελέτησε, πίστευαν ότι η διαλυμένη ουσία σ' ένα διάλυμα διατηρείται με κάποια μορφή. Ωστόσο μόνο οι μισοί από εκείνους τους μαθητές που δήλωσαν ότι η διαλυμένη ουσία είναι «εκεί» (δηλαδή μέσα στο νερό), είπαν επίσης ότι «ζυγίζει κάτω». Φαίνεται ότι κάποιοι μαθητές νομίζουν ότι το βάρος της διαλυμένης ουσίας είναι «πάνω στο νερό», σε μια «αιωρούμενη» κατάσταση και δε «βαραίνει» τον πυθμένα του δοχείου.



Η διδασκαλία της χημείας προσδοκά οι μαθητές να αντιμετωπίζουν ένα διάλυμα ως ένα ομογενές μίγμα δύο ή περισσότερων ουσιών. Ωστόσο αρκετές μελέτες (Prieto, κ.ά., 1989, Fensham & Fensham, 1987, Andersson & Renstrom, 1982) έχουν δείξει ότι μεγάλο ποσοστό μαθητών, στα πρώτα σχολικά χρόνια, δεν θεωρεί ένα διάλυμα ως μια μοναδική φάση αλλά ως ένα μίγμα, που αποτελείται από μεγάλα σωματίδια διαλυμένης ουσίας στο νερό, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν με φιλτράρισμα από το νερό. Οι μεγαλύτεροι μαθητές φαντάζονται ότι, όταν η ζάχαρη διαλύεται στο νερό, «μετατρέπεται σε μικρά κομματάκια». Αργότερα μερικοί πιστεύουν ότι «τα μόρια της ζάχαρης γεμίζουν τα κενά των μορίων του νερού» ή «αναμιγνύονται με τα μόρια του νερού».

Ο Holding (1987) ερευνήσε κατά πόσο μαθητές ηλικίας 8-17 ετών χρησιμοποιούν τη σωματιδιακή άποψη για τη δομή της ύλης στο φαινόμενο της διάλυσης. Από ένα δείγμα 500 μαθητών ζήτησε να σχεδιάσουν ένα διάλυμα ζάχαρης, υποθέτοντας ότι μπορούσαν να δουν το διάλυμα με «μάτια που μπορούν να διακρίνουν ο,τιδήποτε». Η πλειονότητα του δείγματος απεικόνισε «κομματάκια ζάχαρης» διασκορπισμένα με διάφορους τρόπους χωρίς να σχεδιάζουν το νερό. Αυτή η αναπαράσταση έφτασε στο 65% για μαθητές στην ηλικία των 12 ετών. Η επόμενη κυρίαρχη αναπαράσταση του διαλύματος ήταν η «συνεχής» σκίαση παντού. Αυτή η μη σωματιδιακή απεικόνιση ήταν μέγιστη μεταξύ των ηλικιών 10-12 ετών και αντιπροσώπευε κάτι παραπάνω από το 20% στο γενικό δείγμα. Τα μικρά παιδιά σπάνια αναφέρονταν στα μόρια. Μόνο στις ηλικίες των 15 και 17 ετών, ποσοστά 30% και 50% αντίστοιχα, απεικόνισαν τα «σωματίδια της ζάχαρης», αλλά από αυτούς μόνο οι μισοί απεικόνισαν επίσης και μόρια νερού. Φαίνεται ότι η άποψη μιας συνεχούς δομής του νερού είναι αρκετά κυρίαρχη και στη σκέψη των μεγαλύτερων μαθητών γύρω από τα διαλύματα.

Μαζί με την οικοδόμηση της έννοιας των υγρών διαλυμάτων οι μαθητές αναμένεται να αναπτύξουν και την έννοια για τα αέρια διαλύματα, έχοντας ως παράδειγμα τον αέρα. Σε μελέτη της Meheut κ.ά. (1985) αναφέρεται ότι μαθητές μικρών ηλικιών συχνά έχουν την ιδέα ότι ένα μίγμα, π.χ. ο αέρας, είναι μια ουσία.

Η απάντηση στο τεθέν θέμα απαιτούσε ο φοιτητής να αντιληφθεί ότι έχουμε μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό της δεξαμενής, όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του κατά τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Δηλαδή, εφαρμογή της γνώσης ότι η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος, σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, κάτι που αποτελεί σημαντικό μέρος της μάθησης, καθόσον οι φοιτητές του δείγματος, ως αυριανοί δάσκαλοι, θα αντιμετωπίσουν ερωτήσεις των μαθητών που προέρχονται από καθημερινά προβλήματα. Οι φοιτητές που συμμετείχαν στην παρέμβαση Β είχαν διδαχθεί την αντιμετώπιση ενός παρόμοιου προβλήματος: Τη μέτρηση της περιεκτικότητας του CO<sub>2</sub> σ' ένα διάλυμα coca-cola. Στο πείραμα αυτό γινόταν αναφορά στη μείωση της περιεκτικότητας του CO<sub>2</sub> στο διάλυμα τόσο λόγω μείωσης της πίεσης κατά το άνοιγμα του μπουκαλιού, όσο και λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του, όταν το μπουκάλι ετίθετο μέσα σε δοχείο ζέσης με νερό που θερμαινόταν ήπια από ηλεκτρικό θερμαντικό μάτι.

Πίνακας 9.4 Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 4 (άριστα 10 μονάδες).

Σχήμα	Αναφορά σε έννοιες – δομικές μονάδες	Μονάδες ανά βήμα
1. Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αυξάνεται.*	Προσφορά θερμότητας - αύξηση θερμοκρασίας	1,5
2. Το νερό της δεξαμενής θερμαίνεται και εξατμίζεται, έτσι το νερό ελαττώνεται και μαζί μ'αυτό και το οξυγόνο.	Προσφορά θερμότητας – εξάτμιση-ελάττωση της ποσότητας του οξυγόνου στο νερό.	4
3. Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αυξάνεται και ο διαλυμένος αέρας σ'αυτό ελαττώνεται.	Αύξηση θερμοκρασίας – ελάττωση του διαλυμένου αέρα στο νερό	6
4. Η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται, και ελαττώνεται το οξυγόνο του αέρα που είναι διαλυμένο σ'αυτό.	Αύξηση θερμοκρασίας – ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.	8
5. Η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η διαλυτότητα του οξυγόνου του αέρα στο νερό της δεξαμενής ελαττώνεται και τα ψάρια παθαίνουν ασφυξία.	Αύξηση της θερμοκρασίας - ελάττωση της διαλυτότητας αερίου σε υγρό διάλυμα - ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.	10

- Η πρόταση αυτή δεν εξασφαλίζει ότι οι φοιτητές γνωρίζουν την ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και τη μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος.

### 9.5 Παρουσίαση του θέματος 5

Το θέμα αυτό ζητάει την εξήγηση σε μικροσκοπικό επίπεδο της ισόχωρης μεταβολής αερίου. Η κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων, που διδάσκονται οι μαθητές στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και οι φοιτητές των παιδαγωγικών τμημάτων, είναι ουσιώδες βήμα στη διαμόρφωση ενός μικροσκοπικού προτύπου που ερμηνεύει τις μακροσκοπικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά των σωμάτων. Είναι δημιουργήματα της αφαιρετικής επιστημονικής σκέψης στην προσπάθεια της να μελετήσει και να ερμηνεύσει τις μακροσκοπικές ιδιότητες συστημάτων που συνίστανται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό διακεκριμένων σωματιδίων, της τάξης  $10^{25}$ , που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, στη βάση ενός ελάχιστου αριθμού από θεμελιώδεις έννοιες.

Η διδασκαλία του προτύπου των ιδανικών αερίων, σύμφωνα με τον Arons (Arons, 1990, σ. 431-441) προϋποθέτει κατ' αρχήν την αποδοχή της άποψης ότι η ύλη είναι ασυνεχής. Το επόμενο βήμα είναι να τεθεί το ερώτημα τι συγκρατεί τα σωματίδια μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν τα υγρά και τα στερεά; Επιπλέον, στα υγρά και τα στερεά, τα σωματίδια πρέπει να κατανέμονται σε θέσεις «ισορροπίας», σε πηγάρια δυναμικού, όπως





λέμε σε μια προχωρημένη ορολογία. Όταν τα απομακρύνουμε από τη θέση τους, έλκονται ισχυρότατα μεταξύ τους και, όταν πλησιάζουν, απωθούνται επίσης ισχυρότατα. Η ιδέα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωματιδίων με δυνάμεις ηλεκτρομαγνητικής φύσεως είναι ένα αποφασιστικό βήμα. Αναγνωρίζεται ο κυρίαρχος ρόλος του ηλεκτρομαγνητισμού στο μικρόκοσμο.

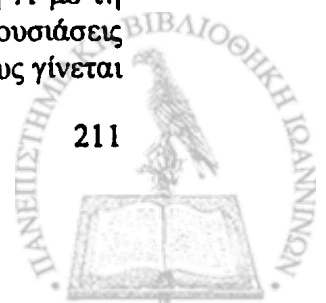
Σε μια διδακτική διαδρομή καθοριστικό είναι το ερώτημα γιατί τα αέρια διαφέρουν τόσο πολύ από τα υγρά και τα στερεά. Βασική ιδέα εδώ είναι η συμπεστότητα: τα αέρια έχουν πολύ μεγάλη συμπεστότητα, ενώ τα υγρά και τα στερεά έχουν εξαιρετικά μικρή. Η ιδιότητα αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στα στερεά και τα υγρά τα διακριτά σωματίδια είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο, συγκριτικά με το μέγεθος τους, ενώ στα αέρια είναι μακριά. Η εικόνα αυτή είναι συνεπής με την εξαιρετικά μικρότερη πυκνότητα και ρευστότητα των αερίων. Η τιμή 1.000, που είναι η τάξη μεγέθους της πυκνότητας των στερεών ή των υγρών ως προς την πυκνότητα των αερίων, αξίζει να συγκρατηθεί έντονα στη μνήμη.

Οι μαθητές που έχουν σχηματίσει την παραπάνω εικόνα μπορούν να δεχτούν στις γυμνασιακές τάξεις ότι στα αέρια η αλληλεπίδραση μεγάλης εμβέλειας μεταξύ των σωματιδίων είναι αμελητέα και ότι εμφανίζεται ισχυρή απωστική αλληλεπίδραση μόνο για σύντομο χρονικό διάστημα, τη στιγμή της άμεσης κρούσης. Σε μια επόμενη προσέγγιση, στις δύο τελευταίες λυκειακές τάξεις, οι μαθητές μπορούν να δεχτούν ότι εκδηλώνεται ελκτική αλληλεπίδραση μεγάλης εμβέλειας. Η αλληλεπίδραση αυτή σε χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση οδηγεί στη συμπύκνωση του αερίου και στη μετατροπή του σε υγρό.

Στη συνέχεια αναζητούμε αποδείξεις για την αέναη μεταφορική κίνηση των σωματιδίων αερίου. Η διάχυση των πτητικών ουσιών με έντονη οσμή ή των έγχρωμων αερίων (π.χ. ατμοί βρωμίου) στον αέρα μπορεί να είναι ικανοποιητικά στοιχεία απόδειξης. Η ερώτηση του τι θα συνέβαινε, αν τα μόρια του αέρα στην αίθουσα διδασκαλίας δεν είχαν κινητική ενέργεια, οδηγεί σχεδόν αναγκαστικά στην παραδοχή της αέναης μεταφορικής κίνησης.

Επειδή τα σωματίδια κινούνται συνεχώς, προκύπτει άμεσα ότι συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου. Σ' αυτό το σημείο ερχόμαστε αντιμέτωποι με το μεγαλύτερο εμπόδιο που συνάντησαν αρχικά οι επιστήμονες που προσπάθησαν να επιβάλουν την κινητική θεωρία. Η εμπειρία μας στο μακρόκοσμο μας έχει δημιουργήσει την πεποίθηση ότι οι κρούσεις είναι μη ελαστικές και η κίνηση σε κάθε μακροσκοπικό σύστημα φθίνει συνεχώς. Από την άλλη όμως πλευρά έχουμε παρατηρήσει ότι η πίεση στα τοιχώματα ενός δοχείου που περιέχει αέριο δεν ελαττώνεται, όταν οι θερμοδυναμικές μεταβλητές παραμένουν σταθερές και τα μόρια του αερίου ουδέποτε καταλήγουν στον πυθμένα του δοχείου. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η κίνηση των μορίων διατηρείται. Επίσης, αν σε μικροσκοπικό επίπεδο η αλληλεπίδραση είναι ηλεκτρομαγνητική, είναι εύλογο να είναι ελαστική.

Αν δεχτούμε ότι σε μικροσκοπικό επίπεδο υπάρχει αέναη κίνηση, αρχίζουμε να αντυλαμβανόμαστε την τυχαιότητα της κίνησης των μορίων και τη «διασπορά» των ταχυτήτων και των κατευθύνσεών τους. Στη φάση αυτή η επίδειξη της κίνησης μικρών σφαιρών μέσα σ' ένα διαφανή κυλινδρικό δοχείο ή η παρουσίαση μιας προσομοίωσης σε υπολογιστή είναι αρκετά χρήσιμη, κάτι που κάναμε στη διδακτική παρέμβαση Α με τη βοήθεια της συσκευής Kinetic theory model-vibrating type. Από τέτοιες παρουσιάσεις γίνεται αντιληπτό ότι η κρούση των σωματιδίων με τα τοιχώματα και μεταξύ τους γίνεται



με κάθε δυνατή γωνία και ότι οι τιμές των ταχυτήτων μπορούν να κυμαίνονται σε μια ευρεία περιοχή τιμών. Άρα δεν μπορούμε να εξετάσουμε μεμονωμένες ταχύτητες, αλλά κατανομές και μέσες τιμές.

Τα παραπάνω δημιουργούν μια ποιοτική υποδομή για να αντιληφθούν οι μαθητές πως εμφανίζεται η πίεση στα τοιχώματα του δοχείου που περιέχει ένα αέριο. Η εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα στη γενική του μορφή, όταν ένα μεμονωμένο σωματίδιο συγκρούεται ελαστικά σε ανένδοτο τοίχωμα, μας συνδέει τη δύναμη με τη μεταβολή της ορμής. Κατόπιν, προσαρμόζουμε την περίπτωση του μεμονωμένου σωματιδίου στην περίπτωση της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας, όταν έχουμε πάρα πολύ μεγάλο αριθμό κρούσεων. Με τη συζήτηση, σε μια διδακτική ακολουθία πρέπει να εκμαιεύσουμε την αντίληψη ότι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας εξαρτάται τόσο από τη συχνότητα των κρούσεων (και, ως εκ τούτου, από την πυκνότητα του αερίου) όσο και από την ταχύτητα των προσπιπτόντων σωματιδίων.

Η παραπάνω ταυτόχρονη εξάρτηση της πίεσης που ασκεί αέριο σε δοχείο ορισμένου όγκου, τόσο από τη συχνότητα των κρούσεων, όσο και από την ταχύτητα των μορίων είναι προσιτή. Γι' αυτό και στο βαθμολογικό σχήμα του θέματος 5 (Πίνακας 9.5, περίπτωση 6) θεωρήσαμε ότι μια πλήρης απάντηση, από τους φοιτητές του δείγματος μας, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και τα δύο μεγέθη. Βέβαια, από το μαθηματικό μέρος της κινητικής θεωρίας των αερίων γνωρίζουμε ότι η συχνότητα των κρούσεων, δεν είναι ανεξάρτητη μεταβλητή, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα των μορίων. Γι' αυτό το λόγο και η πίεση εξαρτάται από τη μέση τιμή του τετραγώνου των ταχυτήτων των μορίων. Όμως η απόδειξη της σχέσης που συνδέει την πίεση με την πυκνότητα του αερίου και η μέση τιμή του τετραγώνου των ταχυτήτων των μορίων ( $P = \frac{1}{3} \cdot D \cdot \overline{U^2}$ ) ήταν πέρα από τα όρια της διδασκαλίας μας, κατά τις παρεμβάσεις Α και Β. Οι δύο τύποι απαντήσεων είναι ποιοτικά ισοδύναμοι.

Περαιτέρω, κατά την παρουσίαση της κινητικής θεωρίας μπορούμε να επανέλθουμε στη σταθερότητα της πίεσης και να υπογραμμίσουμε ότι αυτή είναι αποτέλεσμα της μεγάλης συχνότητας κρούσεων και του πολύ μεγάλου αριθμού των σωματιδίων. Η σταθερότητα και η ισοτροπία στις ιδιότητες ενός αερίου, που βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, οφείλεται στο ότι, λόγω του μεγάλου πλήθους των σωματιδίων, αν κάπου στο αέριο μεταβληθεί η ταχύτητα και η κατεύθυνση της κίνησης ενός μορίου, η μεταβολή εξισορροπείται από τη μεταβολή των χαρακτηριστικών της κίνησης ενός άλλου σωματιδίου.

Τέλος, η παραδοχή ότι τα σωματίδια δεν έχουν εσωτερική δομή, αλλά είναι σημειακές ελαστικές σφαίρες και οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των σημειακών σφαιρών είναι αμελητέες εκτός από το σύντομο χρονικό διάστημα της κρούσης, σύντομο ως προς το μέσο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο κρούσεων, σημαίνει ότι στο ιδανικό αέριο είναι αποθηκευμένη αμελητέα δυναμική ενέργεια. Εδώ πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η αλληλεπίδραση είναι «σχεδόν» αμελητέα, η ολική δυναμική ενέργεια αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων είναι πάρα πολύ μικρή σε σύγκριση με την ολική κινητική ενέργεια τους, αλλά είναι συγχρόνως αρκετά μεγάλη, ώστε τα μόρια να μπορούν ν' αλληλεπιδρούν και άρα ν' ανταλλάσσουν ενέργεια μεταξύ τους (Reif, 1973, κεφ. 1, σ. 8).



Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές, που περιγράφηκε στο κεφ. 8, καταλήξαμε στο παρακάτω βαθμολογικό σχήμα (Πίνακας 9.5).

Πίνακας 9.5 Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 5 (άριστα 10 μονάδες).

Βήματα	Αναφορά σε έννοιες – δομικές μονάδες	Μονάδες ανά βήμα
1. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί.	Μεταφορά θερμότητας – αύξηση πίεσης	1,5
2. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται και αυξάνεται η θερμοκρασία του, γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί.	Θερμότητα – αύξηση θερμοκρασίας – αύξηση πίεσης	3
3. Η πίεση που ασκεί ορισμένη ποσότητα αερίου σε δοχείο σταθερού όγκου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του, όπως προκύπτει από την καταστατική εξίσωση ( $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ή $P/T = \text{ct}$ ).	Σχέση πίεσης – θερμοκρασίας όταν ο όγκος αερίου είναι σταθερός (ισόχωρη μεταβολή). Αναφορά στην καταστατική εξίσωση.	4
4. Όταν το αέριο θερμαίνεται προσλαμβάνει ενέργεια, τα μόρια του κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες / αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων, γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί	Προσφορά θερμότητας – αύξηση της μέσης κινητικής ενέργειας μορίων- αύξηση της πίεσης	6
5. Όταν το αέριο θερμαίνεται προσλαμβάνει ενέργεια, τα μόρια του χτυπούν με μεγαλύτερες ταχύτητες / αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων, στα τοιχώματα του δοχείου γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί.	Προσφορά θερμότητας – αύξηση της μέσης κινητικής ενέργειας μορίων που χτυπούν στα τοιχώματα - αύξηση της πίεσης	8
6. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται και αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων του. Οι κρούσεις των μορίων του αερίου, ανά μονάδα επιφάνειας του δοχείου είναι συχνότερες και με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της πίεσης που ασκεί το αέριο.	Προσφορά θερμότητας – αύξηση της μέσης κινητικής ενέργειας μορίων. Οι κρούσεις των μορίων είναι συχνότερες και εντονότερες - αύξηση της πίεσης.	10

Στην περίπτωση 2 του βαθμολογικού σχήματος, η απλή σύνδεση της θερμοκρασίας με την πίεση που ασκεί το αέριο δεν εξασφαλίζει ότι οι φοιτητές που την αναφέρουν



κατανοούν το μηχανισμό μέσω του οποίου η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει την πίεση. Ανάλογα στην περίπτωση 4, αν και μια τέτοιου τύπου απάντηση είναι βελτιωμένη σε σχέση με την περίπτωση 2, δε θεωρήθηκε επαρκής, αφού δεν κάνει αναφορά στην κρούση των σωματιδίων με τα τοιχώματα του δοχείου. Η πλήρης απάντηση (περίπτωση 6), για την ερμηνεία της αύξησης της πίεσης αερίου σε δοχείο σταθερού όγκου (δηλαδή, η πυκνότητα του αερίου διατηρείται σταθερή) με την αύξηση της θερμοκρασίας, πρέπει να περιλαμβάνει τόσο την αύξηση της συχνότητας των κρούσεων, όσο και τη ταχύτητα των μορίων που κτυπούν στα τοιχώματα.

### 9.6 Παρουσίαση του θέματος 6

Το θέμα 6 περιγράφει το φαινόμενο της εξαχνωσης μικρής ποσότητας ιωδίου με τη βοήθεια θέρμανσης, σε μια σφαιρική φιάλη, και ζητάει να περιγράψουν οι φοιτητές τι αλλάζει και τι δεν αλλάζει σε σχέση με τα μόρια του ιωδίου και τη συμπεριφορά τους από τη στερεά στην αέρια κατάσταση.

Το ιώδιο είναι μαύρο στερεό με μεταλλική λάμψη. Τα μόριά του σχηματίζουν μοριακό πλέγμα και συγκρατούνται με ασθενείς δυνάμεις Van der Waals. Ο κρύσταλλος του ιωδίου είναι μαλακός και εύκολα εξαχνώνεται. Γενικά τα σώματα που έχουν μοριακούς κρυστάλλους, π.χ. το ιώδιο, η ναφθαλίνη, το στερεό διοξείδιο του άνθρακα, εξαχνώνονται εύκολα. Το σημείο τήξης του ιωδίου (σ. τ.  $113,6^{\circ}\text{C}$ ) και το σημείο ζέσης (σ. ζ.  $184,2^{\circ}\text{C}$ ) είναι σχετικά υψηλά, επειδή η ικανότητα πόλωσης των μορίων των στοιχείων αυξάνεται με τον ατομικό τους αριθμό. Οι δυνάμεις διασποράς London είναι ισχυρότερες στα στοιχεία με μεγαλύτερο ατομικό αριθμό. Έτσι τα σημεία τήξης και ζέσης των αλογόνων αυξάνονται από πάνω προς τα κάτω, το ίδιο συμβαίνει και με τα ευγενή αέρια (Χατζηλιάδης, 1992, σ. 277). Οι ατμοί του ιωδίου έχουν χρώμα ιώδες, είναι βαρύτεροι απ' τον αέρα και είναι επικίνδυνοι για τον άνθρωπο. Οι ατμοί του μέχρι τους  $700^{\circ}\text{C}$  αποτελούνται από διατομικά μόρια. Η διαλυτότητα του ιωδίου στο νερό είναι μικρή, ενώ αντίθετα η διαλυτότητά του στους οργανικούς διαλύτες (KI, αιθέρα, χλωροφόρμιο, διθειάνθρακα, αλκοόλη, κ.ά.) είναι μεγάλη.

Η γεωμετρία των μοριακών κρυστάλλων διαφέρει σημαντικά από εκείνη των ιοντικών. Είναι διακριτά συμπλέγματα μορίων και όχι εκτενή συσσωματώματα (κρύσταλλοι). Το πλέγμα χώρου των μοριακών κρυστάλλων είναι η εδροκεντρωμένη κυβική δομή πυκνής διάταξης (face-centered cubic closed packed structure - fcc) ή η εξαγωνική δομή πυκνής διάταξης (hexagonal closed packed structure - hcp). Ο αριθμός σύνταξης (coordination nr) των σφαιρών-μορίων είναι 12 και ο καταλαμβανόμενος χώρος από τις σφαίρες και στις δύο τοποθετήσεις είναι το 74% περίπου του συνολικού. Έτσι οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων αποκτούν τη μέγιστη τιμή τους (Kittel, 1976, σ. 23-24).

Οι απόφοιτοι δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχουν διδαχθεί κυρίως ιοντικές κρυσταλλικές δομές με έμφαση στη δομή του NaCl. Θέματα μοριακής γεωμετρίας και δομής ομοιοπολικών, μεταλλικών και μοριακών κρυστάλλων σε μικρό βαθμό θίγονται από τη χημεία που διδάσκονται οι μαθητές θετικής κατεύθυνσης. Συνεπώς η κύρια εικόνα κρυσταλλικής δομής που έχουν οι φοιτητές του δείγματός μας, είναι αυτή των ιοντικών



κρυστάλλων και η αξιολόγηση των απαντήσεων στο θέμα αυτό περιορίζεται σ' αυτό το γνωστικό επίπεδο.

Ο Dow κ.ά. (1978) ερευνώντας τις ιδέες των παιδιών για τη σωματιδιακή δομή των στερεών, βρήκαν ότι, αν και μπορούσαν να απεικονίζουν τη στερεά κατάσταση ως οργανωμένη διάταξη, δεν έδιναν καμιά εξήγηση, γιατί η δομή θα έπρεπε να διατηρείται, ούτε μπορούσαν να εξηγήσουν τη μη συμπιεστότητα των στερεών. Όταν παρακινήθηκαν να προσαρμόσουν το μοντέλο τους, έτσι ώστε να εξηγεί την ασυμπιεστότητα των στερεών, δεν μπορούσαν να εξηγήσουν τις δονήσεις των μορίων. Οι ερευνητές αυτοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μαθητές μπορούσαν να κατανοούν αρκετές από τις ιδιότητες του σωματιδιακού μοντέλου των στερεών, αλλά κατά τρόπο ασύνδετο, «μια ιδιότητα κάθε φορά». Δεν «μπορούσαν να συγκεντρώνουν ομάδες ιδιοτήτων, ώστε να έχουν μια συγκροτημένη και γενική σύλληψη της συμπεριφοράς των μορίων σ' ένα στερεό». Η τάση αυτή είναι ένα χαρακτηριστικό της σκέψης των παιδιών όταν μελετούν ένα θέμα, να εστιάζουν την προσοχή τους σε ένα ή δύο μόνο παράγοντες και να μην παίρνουν υπόψη τους περισσότερους καθώς και τον τρόπο που συσχετίζονται και αλληλεπιδρούν (Sere, 1985, στο βιβλίο των Driver, Guesne και Tiberghien, 1985, σ. 173).

Ο Holding (1987) σε μελέτη των εικονικών αναπαραστάσεων ενός κρυστάλλου ζάχαρης, σ' ένα δείγμα 600 μαθητών, από τις ηλικίες 8, 10, 12, 15 και 17 ετών, βρήκε ότι οι ιδέες εξελίσσονται σταδιακά από ένα συνεχές μοντέλο, σ' ένα μοντέλο «συνεχών κομματιών» και κατέληγαν σ' ένα σωματιδιακό. Επίσης βρήκε μια εξελικτική πορεία με την ηλικία, από τυχαίες δομές σε πιο πειθαρχημένες, των μη μορφοποιημένων μορίων σε μορφοποιημένα και των δομών άνευ δεσμών να εξελίσσονται σε δομές που έχουν δεσμούς.

Οι αντιλήψεις για τα ιοντικά πλέγματα έχουν ερευνηθεί από τους Butts και Smith (1987) και από τον Peterson κ.ά. (1986). Από την εξέταση 28 Αυστραλιανών μαθητών, ηλικίας 17 ετών, με συνέντευξη για τον σχηματισμό του χλωριούχου νατρίου και του στερεοχημικού μοντέλου που κατασκευάστηκε με μπάλες και ράβδους, οι παραπάνω ερευνητές βρήκαν ότι: Αν και οι μαθητές μπορούσαν να περιγράψουν τη διαδικασία μεταφοράς ηλεκτρονίων για το σχηματισμό του ιοντικού δεσμού, 10 απ' αυτούς αναφέρθηκαν στα «μόρια» του χλωριούχου νατρίου και δύο απ' αυτούς είπαν ότι οι ιοντικοί δεσμοί μεταξύ των «μορίων» του χλωριούχου νατρίου σχημάτισαν την κρυσταλλική δομή. Επίσης, τα 6 «ραβδάκια» γύρω από κάθε μπάλα ερμηνεύτηκαν ως «ένας ιοντικός δεσμός» και μόνο 2 μαθητές ανέφεραν ότι τα «ραβδάκια» απλώς συγκρατούσαν τις μπάλες στη θέση τους.

Από τους φοιτητές του δείγματός μας δεν απαιτήσαμε μια περιγραφή των δυνάμεων Van der Waals που σχηματίζουν το μοριακό κρύσταλλο του στερεού ιωδίου γιατί κάτι τέτοιο είναι πέρα από την ύλη που διδάχθηκαν, αλλά να αναφέρουν τις γενικές διαφορές στα χαρακτηριστικά της δομής των στερεών και των αερίων. Το δεύτερο μέρος της ερώτησης, τι παραμένει το ίδιο από τη μετατροπή του στερεού ιωδίου σε αέριο, τέθηκε για να διαπιστωθεί κατά πόσο οι φοιτητές έχουν κατανοήσει την αρχή διατήρησης της μάζας σε μια μεταβολή κατάστασης που συμβαίνει σε ένα κλειστό σύστημα. Η



μετάβαση από μια φυσική κατάσταση σε μια άλλη αλλάζει μόνο την ιδιαίτερη διάταξη και τη σύνδεση των ατόμων ή των μορίων που αποτελούν το υλικό.

Επιπλέον θέλουμε να διαπιστώσουμε αν οι φοιτητές έχουν αποβάλει την ιδέα που έχει καταγραφεί από την έρευνα της διδακτικής (Pfundt, 1981, Holding, 1987, Ben-Zvi, Eylon, Silberstein, 1986) ότι τα παιδιά συχνά θεωρούν ότι τα άτομα ή τα μόρια του στερεού έχουν όλες ή τις περισσότερες μακρο-ιδιότητες του. Συχνά, τα παιδιά αποδίδουν στα μεμονωμένα άτομα (παρά σε μεγάλο αριθμό ατόμων ή μορίων) μακρο-ιδιότητες, όπως ότι αυτά είναι σκληρά, κρύα ή ζεστά, έχουν χρώμα, είναι στην ίδια φυσική κατάσταση όπως και το υλικό από το οποίο προέρχονται κ.ο.κ.

Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές καταλήξαμε στο παρακάτω βαθμολογικό σχήμα (Πίνακας 9.6).

Πίνακας 9.6 Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 6 (άριστα 10 μονάδες).

Βήματα	Έννοιες- δομικές μονάδες / Σύνθεση εννοιών	Μονάδες ανά βήμα
1. Τα μόρια του ιωδίου στη στερεά κατάσταση είναι πολύ κοντά, έλκονται με δυνάμεις που είναι πολύ ισχυρότερες σε σχέση με αυτές που ασκούνται μεταξύ των μορίων του στην αέρια κατάσταση.	Διαφορά στην ένταση των ελκτικών διαμοριακών δυνάμεων μεταξύ στερεών και αερίων. Διαφορά στις αποστάσεις των μορίων στη στερεά και αέρια κατάσταση.	3
2. Τα μόρια του ιωδίου στη στερεά κατάσταση είναι σχεδόν ακίνητα και κατέχουν καθορισμένες θέσεις (το στερεό ιώδιο καταλαμβάνει ορισμένο όγκο και έχει ορισμένο σχήμα), ενώ τα μόρια του ιωδίου στην αέρια κατάσταση κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις (τα μόρια των ατμών του ιωδίου καταλαμβάνουν όλο τον προσφερόμενο χώρο, περιορίζονται μόνο από τον όγκο της φιάλης).	Στη στερεά κατάσταση τα μόρια είναι σχεδόν ακίνητα σε καθορισμένες θέσεις. Στην αέρια κατάσταση τα μόρια κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις.	3,5
3. Τα μόρια του ιωδίου στη στερεά και αέρια κατάσταση έχουν το ίδιο σχήμα, μέγεθος και την ίδια μάζα. Επίσης ο αριθμός των μορίων στις δύο καταστάσεις είναι ο ίδιος.	Τα μόρια μιας ουσίας παραμένουν αναλλοίωτα σε οποιαδήποτε κατάσταση (με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει ορισμένη τιμή).	3,5



### 9.7 Παρουσίαση του θέματος 7

Το θέμα 7 είναι άσκηση που συμπεριλαμβάνει τις έννοιες της ατμοσφαιρικής και υδροστατικής πίεσης, και το νόμο της ισόθερμης μεταβολής του Boyle. Σε σωλήνα σχήματος U, που το ένα του άκρο είναι κλειστό, ρίχνουμε από το ανοιχτό του άκρο μια ποσότητα υδραργύρου, που εγκλωβίζει στο κλειστό άκρο αέρα όγκου  $2 \text{ cm}^3$ . Στη συνέχεια ρίχνουμε επιπλέον ποσότητα υδραργύρου και σταματάμε, όταν η διαφορά στάθμης του υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα γίνει  $19 \text{ cm}$ . Ζητείται να υπολογιστεί ο νέος όγκος του εγκλωβισμένου αέρα. Η εκφώνηση συνοδεύεται από δύο σχήματα που αναπαριστούν τις δύο καταστάσεις που περιγράφει λεκτικά η εκφώνηση, για την αποφυγή παρανοήσεων (βλ. κεφ. 8, σχήμα 8.1). Επιπλέον δίνεται η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης, σε εκατοστόμετρα στήλης υδραργύρου ( $1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm Hg}$ ). Η διαφορά ύψους της στήλης υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα δόθηκε ίση με  $19 \text{ cm}$ , ώστε οι αριθμητικές πράξεις να είναι εύκολες, αν ο φοιτητής θελήσει να υπολογίσει την πίεση του εγκλωβισμένου αέρα σε  $\text{Atm}$ , καθόσον  $19 \text{ cm Hg} = 1/4 \cdot 76 \text{ cm Hg} = 1/4 \text{ Atm}$ .

Το θέμα της ισόθερμης μεταβολής αερίου οι φοιτητές του δείγματος μας το είχαν διδαχθεί στη λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης, τόσο στη χημεία της α' λυκείου, στην ενότητα, καταστατική εξίσωση των αερίων (Χημεία α' λυκείου, Λιοδάκης κ.ά. 2002, σ. 137), όσο και στη φυσική θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης β' λυκείου στο κεφάλαιο της κινητικής θεωρίας των αερίων (Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, β' λυκείου, Ιωάννου κ.ά. 1999, σ. 9). Στην παρέμβαση Β, οι φοιτητές των τριών ομάδων του δείγματος μας αντιμετώπισαν και έλυσαν το πρόβλημα: «Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της σχέσης μεταξύ πίεσης και όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα και να βρείτε τη σχέση P- V».

Η άσκηση για τη λύση της απαιτεί από το λύτη την ενεργοποίηση τριών νοητικών σχημάτων. Το πρώτο σχήμα αναφέρεται στην αρχική κατάσταση του εγκλωβισμένου αέρα και περιλαμβάνει τρία βήματα.

#### 1<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Εύρεση της αρχικής πίεσης του εγκλωβισμένου αέρα.

1<sup>ο</sup> βήμα: Όταν υγρό στα δύο σκέλη του σωλήνα, σχήματος U, είναι στο ίδιο επίπεδο, στα άκρα του υγρού επικρατεί η ίδια πίεση.

2<sup>ο</sup> βήμα: Στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική.

3<sup>ο</sup> βήμα: Η πίεση του εγκλωβισμένου αέρα στο κλειστό άκρο του σωλήνα είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Η αρχική πίεση του εγκλωβισμένου αέρα είναι:  $P_{\text{αρχ}} = P_{\text{ατμ}} = 1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm Hg}$ .

Το δεύτερο σχήμα αναφέρεται στην τελική κατάσταση του αερίου και περιλαμβάνει επίσης τρία βήματα.

#### 2<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Εύρεση της τελικής πίεσης του εγκλωβισμένου αέρα.

1<sup>ο</sup> βήμα: Στήλη υγρού ασκεί υδροστατική πίεση.

2<sup>ο</sup> βήμα: Η επιπλέον πίεση αντιστοιχεί στο ύψος στήλης υγρού (υδραργύρου) που είναι πάνω από το κοινό οριζόντιο επίπεδο του υγρού στα δύο σκέλη του σωλήνα.

3<sup>ο</sup> βήμα: Η τελική πίεση του εγκλωβισμένου αέρα είναι:  $P_{\text{τελ}} = P_{\text{ατμ}} + P_{\text{στηλ. υγρού}} = 76 \text{ cm Hg} + 19 \text{ cm Hg} = 1 \text{ Atm} + 1/4 \text{ Atm} = 5/4 \text{ Atm}$ .

Το τρίτο σχήμα συνδέει την αρχική και την τελική κατάσταση του εγκλωβισμένου αέρα. Ο νόμος του Boyle δεν αναφέρεται ρητά, αλλά υπονοείται. Αυτό είναι και ένα από τα σημεία που προσθέτει έναν επιπλέον βαθμό δυσκολίας στην άσκηση. Το τρίτο σχήμα περιλαμβάνει τρία βήματα.

### 3<sup>ο</sup> ΣΧΗΜΑ: Σύνδεση αρχικής και τελικής κατάστασης – Νόμος του Boyle

1<sup>ο</sup> βήμα: Η μεταβολή είναι ισόθερμη.

2<sup>ο</sup> βήμα: Η πίεση και ο όγκος του εγκλωβισμένου αέρα είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα.

3<sup>ο</sup> βήμα:  $P_{\text{αρχ}} \cdot V_{\text{αρχ}} = P_{\text{τελ}} \cdot V_{\text{τελ}}$  ή  $1 \text{ Atm} \cdot 2 \text{ cm}^3 = 5/4 \text{ Atm} \cdot V_{\text{τελ}}$  ή  $8/5 \text{ cm}^3 = V_{\text{τελ}}$  ή  $V_{\text{τελ}} = 1,6 \text{ cm}^3$

Η άσκηση θα πρέπει να θεωρηθεί δύσκολη για τους φοιτητές του δείγματός μας. Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι η έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης, όταν αυτή εμπλέκεται σε προβλήματα, μεγάλα ποσοστά μαθητών δεν αντιλαμβάνονται την παρουσία της και δεν τη λαμβάνουν υπόψη στους υπολογισμούς για τη λύση του προβλήματος (Tyler, 1998, Tyler, 1992, Kampourakis & Tsapralis, 2003). Ένα εξαιρετικά μεγάλο ποσοστό μαθητών δεν ασχολήθηκε καθόλου με την άσκηση (ποσοστό 78,8%) και αυτός είναι ένας ακόμη λόγος που δείχνει ότι για τους φοιτητές ήταν απαιτητική. Το 85,4% των φοιτητών που ασχολήθηκε με την άσκηση εμφανίζει επίδοση μεταξύ 0-1, το 14,3%, επίδοση μεταξύ 1,5-4 και μόνο το 5,3% έχει επίδοση από 6-9 μονάδες. Η μέση επίδοση στο σύνολο του δείγματος (N=151) είναι 0,7 (με άριστα τις 10 μονάδες) και η τυπική απόκλιση είναι 1,7. Από τη διαδικασία συγκρότησης των βαθμολογικών σχημάτων με τους τέσσερις βαθμολογητές καταλήξαμε στο παρακάτω βαθμολογικό σχήμα (Πίνακας, 9.7).



Πίνακας 9.7 Βαθμολογικό σχήμα για το θέμα 7 (άριστα 10 μονάδες)

Σχήματα	Βήματα	Μονάδες ανά βήμα
Εύρεση της αρχικής πίεσης του εγκλωβισμένου αέρα.	1) Στα άκρα υγρού (υδράργυρος) σε ισορροπία, που βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, στα δύο σκέλη σωλήνα ασκούνται ίσες πιέσεις.	1
	2) Στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση.	1,5
	3) Η πίεση που ασκεί ο εγκλωβισμένος αέρας είναι ίση με την ατμοσφαιρική: $P_{αρχ} = P_{ατμ} = 76 \text{ cm Hg} = 1 \text{ Atm}$ .	1
Εύρεση της τελικής πίεσης του εγκλωβισμένου αέρα.	1) Στήλη υγρού ασκεί υδροστατική πίεση.	0,5
	2) Η επιπλέον πίεση αντιστοιχεί στο ύψος στήλης υγρού που είναι πάνω από το κοινό οριζόντιο επίπεδο του υγρού στα δύο σκέλη του σωλήνα.	1,5
	3) Η τελική πίεση του εγκλωβισμένου αέρα είναι: $P_{τελ} = P_{ατμ} + P_{στήλ. υδρ.} = 76 + 19 \text{ cm Hg} = 95 \text{ cm Hg}$ ή $1 \text{ Atm} + 1/4 \text{ Atm} = 5/4 \text{ Atm}$ .	1,5
Σύνδεση αρχικής και τελικής κατάστασης αερίου.	1) Επειδή η θερμοκρασία του αερίου παρέμεινε σταθερή, η μεταβολή είναι ισόθερμη (νόμος του Boyle).	0,5
	2) Η πίεση και ο όγκος ορισμένης ποσότητας αερίου είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα: $P_{αρχ} \cdot V_{αρχ} = P_{τελ} \cdot V_{τελ}$ .	1,5
	3) Αριθμητικές πράξεις, εύρεση τιμής και μονάδα	1,0

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ι: — ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΟΜΑΔΩΝ

#### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΑΝ ΚΑΙ ΑΝΑ ΘΕΜΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

##### 10.1 Θέμα 1

Οι επιδόσεις των τεσσάρων ομάδων, στο σύνολο της άσκησης (θέμα 1) καθώς και στα δύο ερωτήματα που την αποτελούσαν καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10.1 Επίδοση των ομάδων στο θέμα 1 (άριστα το 10). Το α' ερώτημα βαθμολογήθηκε με άριστα τις 4,5 μονάδες και το β' με τις 5,5.

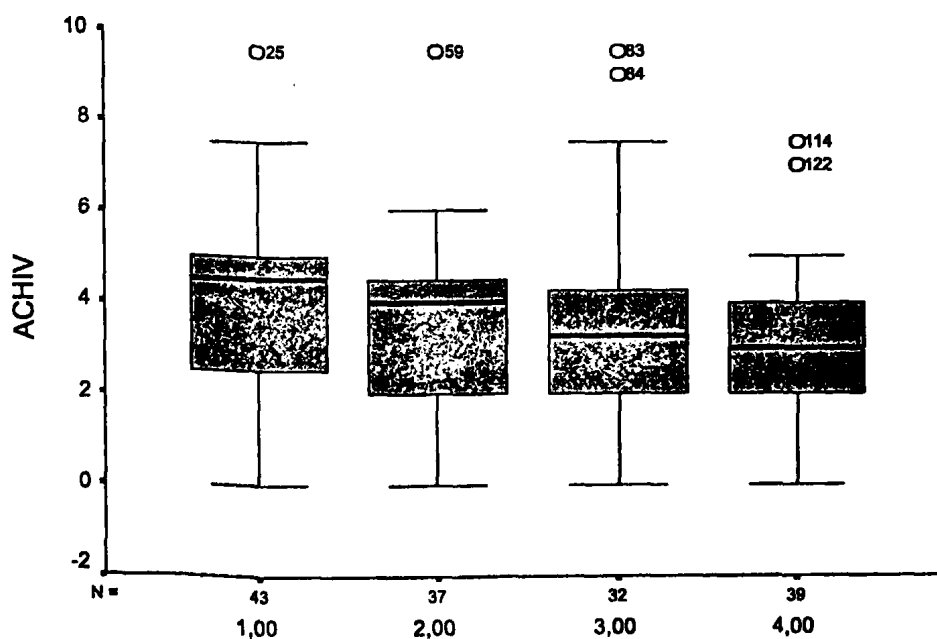
Ομάδα	Επίδοση	Μ.Τ. (Τ. Α)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	Στο α' ερώτημα	3,5 (1,9)	1,641	4,5	0,0
	Στο β' ερώτημα	0,6 (1,1)	1,141	5,0	0,0
	Συνολική	4,1 (1,9)	3,638	9,5	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Στο α' ερώτημα	3,1 (1,3)	1,706	4,5	0,0
	Στο β' ερώτημα	0,4 (1,0)	1,021	5,5	0,0
	Συνολική	3,5 (1,8)	3,312	9,5	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Στο α' ερώτημα	2,7 (1,3)	1,797	4,5	0,0
	Στο β' ερώτημα	0,9 (1,8)	3,296	5,5	0,0
	Συνολική	3,6 (2,4)	5,609	9,5	0,0
Ελάχιστου (N=39)	Στο α' ερώτημα	2,4 (1,4)	1,915	4,5	0,0
	Στο β' ερώτημα	0,5 (1,1)	1,208	5,5	0,0
	Συνολική	2,9 (1,7)	2,996	7,5	0,0



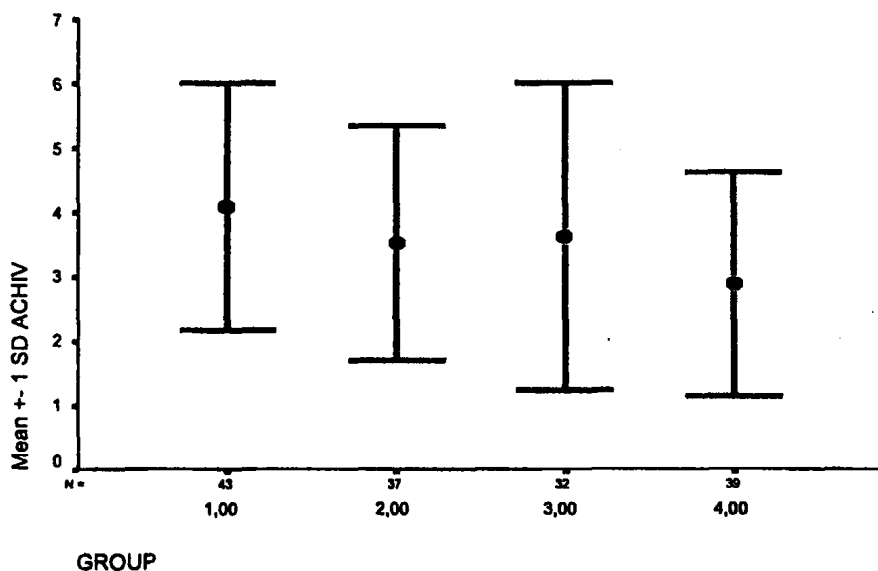
Ο παραπάνω πίνακας συνοψίζεται εικονικά στο διάγραμμα 10.1 «κουτιού-και-μουστακιού» (box-and-whisker plot). Το διάγραμμα δείχνει τις επιδόσεις των φοιτητών σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Στον οριζόντιο άξονα οι αριθμοί 1, 2, 3 και 4 αντιστοιχούν στις ομάδες που παρακολούθησαν τις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους της παρέμβασης Β. Στον αριθμό 1 αντιστοιχεί η ομάδα που αντιμετώπισε τα προβλήματα με συνεργατικό τρόπο (ομάδα πειραμάτων), στον αριθμό 2 η ομάδα που αντιμετώπισε τα προβλήματα με πειράματα επίδειξης (ομάδα επίδειξης), στον αριθμό 3 η ομάδα που αντιμετώπισε τα προβλήματα με συμβατική διδασκαλία (συμβατική ομάδα) και τέλος στον αριθμό 4, η ομάδα που δεν παρακολούθησε καθόλου την παρέμβαση Β (ομάδα ελέγχου). Επιπλέον στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος οι διψήφιοι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των φοιτητών κάθε ομάδας.

Στο διάγραμμα το «κουτί» δείχνει το εύρος των τιμών επίδοσης, παραλείποντας το υψηλότερο και το χαμηλότερο 25% όλων των τιμών. Η γραμμή μέσα στο κουτί δείχνει τη τιμή της διαμέσου (median), ώστε το 50% των τιμών να είναι μικρότερες και το άλλο 50% να είναι μεγαλύτερες από τη τιμή αυτή. Τα «μουστάκια» δείχνουν τις τιμές του υψηλότερου και του χαμηλότερου βαθμού (MacRae, 1995, pp. 32-33). Το επόμενο διάγραμμα 10.2 απεικονίζει τη μέση τιμή επίδοσης κάθε ομάδας και το εύρος των τιμών επίδοσης σε μια περιοχή που ορίζεται μια τυπική απόκλιση πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.

**Διάγραμμα 10.1** Οι επιδόσεις στο θέμα 1 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



**Διάγραμμα 10.2** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 1 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή τους.



Από τον πίνακα 10.1 προκύπτει ότι οι ομάδες έχουν χαμηλή επίδοση (η μέση τιμή στο σύνολο του δείγματος είναι 3,5 και η τυπική απόκλιση 2,0). Η «ομάδα πειραμάτων» έχει την υψηλότερη επίδοση και η «ομάδα ελέγχου» τη χαμηλότερη. Η «ομάδα επίδειξης» και η «συμβατική» έχουν σχεδόν την ίδια επίδοση. Για τη σύγκριση των μέσων όρων πολλών ανεξαρτήτων δειγμάτων εφαρμόσαμε την ανάλυση διακύμανσης (analysis of variance – ANOVA).

Τα τέσσερα ανεξάρτητα δείγματα εξετάστηκαν κατ' αρχήν ως προς την ομοιογένεια των πληθυσμών από τους οποίους προέρχονται με το τεστ του Levene. Η τιμή  $W = 0,917$  των δειγμάτων μας είναι μικρότερη της κρίσιμης τιμής  $F$  ( $F = 2,605$ ) για 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $W < F_{3, 147, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Άρα οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς. Οι διαφορές στην επίδοση μεταξύ των ομάδων δεν οφείλονται στη διασπορά των βαθμών επίδοσης, αλλά στις μέσες τιμές. Οπότε μπορούμε να προχωρήσουμε σε ανάλυση διακύμανσης.

Εναλλακτικά για τον έλεγχο της διασποράς των τιμών επίδοσης μπορούμε από τον πίνακα 10.1 να επιλέξουμε τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη τιμή διακύμανσης από τα δείγματα και να σχηματίσουμε το λόγο τους, που δίνει την τιμή της  $F_{max}$ , δηλαδή  $F_{max} = 5,609/2,996 = 1,872$ . Για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 1% και για 31 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 38 για τον παρονομαστή, οι κρίσιμες τιμές είναι 1,693 και 2,114 αντίστοιχα. Η υπολογισθείσα τιμή 1,872 είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής του 5% και μικρότερη της κρίσιμης τιμής του 1%. Αφού οι δύο ακραίες τιμές διακυμάνσεων

δεν διαφέρουν σημαντικά (σε επίπεδο 1%), αποφαινόμαστε ότι υπάρχει ομοιογένεια στη διασπορά των τεσσάρων πληθυσμών που αντιπροσωπεύουν τα δείγματα.

Από την ανάλυση διακύμανσης για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

**Πίνακας 10.2** Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων στο θέμα 1.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	29,634	3	9,878		
Μέσα στις ομάδες	559,760	147	3,808	2,594	0,05
Στο σύνολο των ομάδων	589,394	150			

Από τον πίνακα των κρίσιμων τιμών της F κατανομής, για βαθμούς ελευθερίας που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα και για επίπεδο σημαντικότητας 5% και 1%, έχουμε αντίστοιχα,  $F_{3, 147, 0,05} = 2,605$  και  $F_{3, 147, 0,01} = 3,781$ . Η ευρεθείσα τιμή  $F = 2,594$  είναι οριακά μικρότερη από την κρίσιμη τιμή για επίπεδο 5%. Οριακά μεταξύ των μέσων τιμών επίδοσης των τεσσάρων δειγμάτων, συνεξεταζομένων κάτω από την επίδραση των τεσσάρων διδακτικών μεθόδων, υπάρχει διαφορά. Τουλάχιστον μια μέση τιμή διαφέρει συστηματικά από μια άλλη ( $F \geq F_{3, 147, 0,05} = 2,594, p < 0,05$ ).

Για τις δυαδικές συγκρίσεις των μέσων τιμών των δειγμάτων σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς εφαρμόζουμε τη μέθοδο του Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 1% καθώς και τη μέθοδο LSD. Οι τιμές που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 10.3. Η μέση διαφορά μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας ελέγχου» είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 1%. Οι υπόλοιπες διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών των δειγμάτων δε διαφέρουν στατιστικά ούτε σε επίπεδο 10%.

**Πίνακας 10.3** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο θέμα 1.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
LSD	1	2	0,56	0,44	-0,57	1,68
		3	0,46	0,46	-0,71	1,63
		4	1,19*	0,43	0,09	2,30
	2	3	-0,09	0,47	-1,30	1,11
		4	0,64	0,45	-0,50	1,79
	3	4	0,74	0,46	-0,46	1,93

\*Η μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01



## 10.2 Θέμα 2

Από τις βαθμολογίες των γραπτών των τεσσάρων ομάδων (Πίνακας 10.4) προέκυψε ότι αυτές κινήθηκαν σε υψηλά επίπεδα. Η μέση τιμή επίδοσης στο σύνολο των δειγμάτων είναι 7,0 (τυπική απόκλιση 1,2). Η ομάδα των φοιτητών που εκτέλεσε τα πειράματα «πειραματική ομάδα» παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση τιμή επίδοσης (7,3), ενώ η ομάδα «επίδειξης πειραμάτων» και η «συμβατική» έχουν σχεδόν τις ίδιες μέσες τιμές επίδοσης, 7,2 και 7,0 αντίστοιχα, που είναι ελαφρά μικρότερες από την «πειραματική». Η ομάδα ελέγχου έχει την μικρότερη μέση επίδοση (6,6), που διαφέρει από την ομάδα πειραμάτων κατά 0,7.

Πίνακας 10.4 Επίδοση των ομάδων στο θέμα 2 (άριστα το 10). Το α' ερώτημα βαθμολογήθηκε με άριστα τις 3,5 μονάδες, το β' με 2,5 και το τρίτο με 4,0.

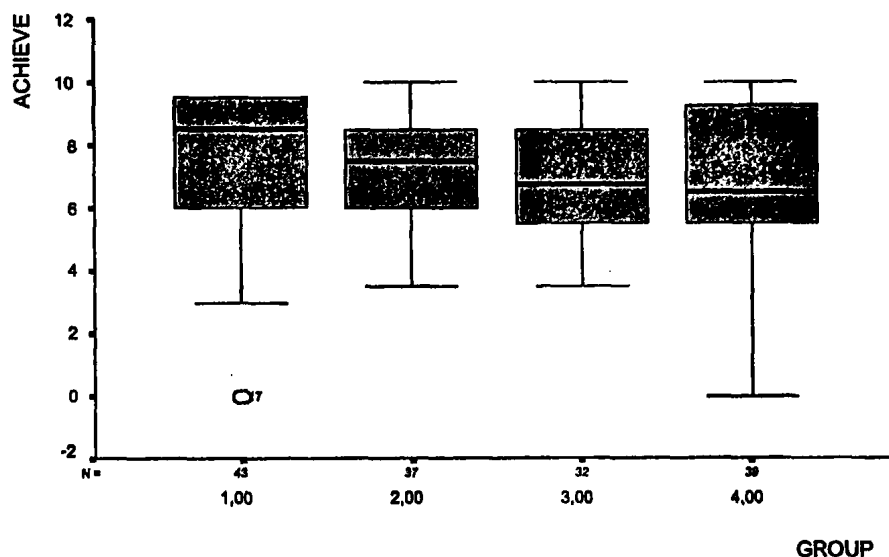
Ομάδα	Επίδοση	Μ.Τ. (Τ. Α)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	α' ερώτημα	3,2 (0,8)	0,6	3,5	0,0
	β' ερώτημα	2,3 (0,6)	0,3	2,5	0,0
	γ' ερώτημα	1,9 (1,6)	2,7	4,0	0,0
	Συνολική	7,3 (2,3)	5,2	9,5	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	α' ερώτημα	3,3 (0,5)	0,2	3,5	1,0
	β' ερώτημα	2,2 (0,5)	0,3	2,5	0,0
	γ' ερώτημα	1,7 (1,5)	2,1	4,0	0,0
	Συνολική	7,2 (1,7)	2,9	10,0	3,5
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	α' ερώτημα	3,3	0,6	3,5	0,0
	β' ερώτημα	2,1 (0,8)	0,6	2,5	0,0
	γ' ερώτημα	1,7 (1,6)	2,5	4,0	0,0
	Συνολική	7,0 (1,7)	3,0	10,0	3,5
Ελέγχου (N=39)	α' ερώτημα	3,0 (1,0)	1,0	3,5	0,0
	β' ερώτημα	1,9 (0,8)	0,7	2,5	0,0
	γ' ερώτημα	1,6 (1,7)	2,8	4,0	0,0
	Συνολική	6,6 (2,7)	7,6	10,0	0,0

Ας σημειωθεί ότι και οι τρεις ομάδες εμφανίζουν τις μικρότερες επιδόσεις στο τρίτο ερώτημα, που διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους και επίσης οι τυπικές αποκλίσεις έχουν τιμές που είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες μέσες τιμές τους. Το διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού» καθώς και το διάγραμμα «μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης» συνοψίζει τις μέσες επιδόσεις των τεσσάρων ομάδων (Διάγραμμα 10.3 και 10.4).

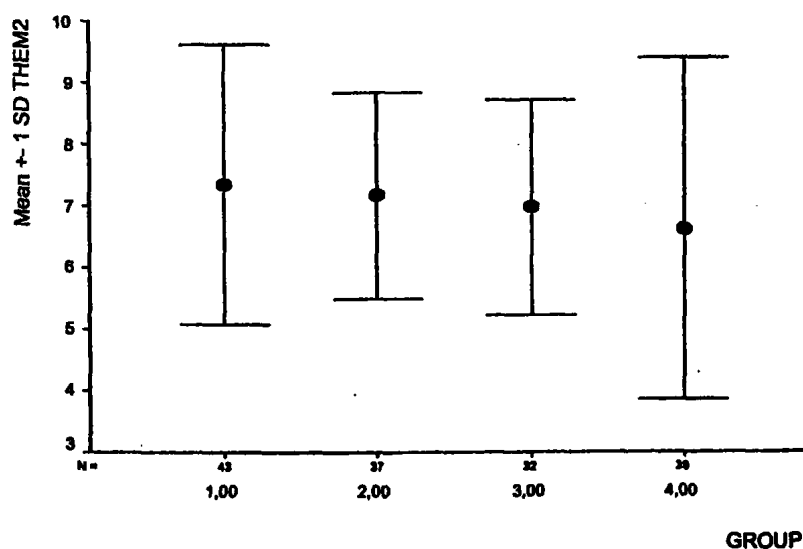
Οι διαφορές στις μέσες τιμές επίδοσης των ομάδων είναι μικρές, μικρότερες της μιας μονάδας και είναι πολύ πιθανό οι διαφορές αυτές να μη είναι στατιστικά σημαντικές. Η συνεξέταση των τεσσάρων τιμών διασποράς των δειγμάτων έδωσε ότι η

τιμή  $W$  του κριτηρίου του Levene ( $W=2,828$ ) είναι μικρότερη της κρίσιμης τιμής της κατανομής  $F$  με 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 1% ( $W < F_{3, 147, 0,01}$ ,  $p < 0,01$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς.

**Διάγραμμα 10.3** Οι επιδόσεις στο θέμα 2 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



**Διάγραμμα 10.4** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 2 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.



Από την ανάλυση διακύμανσης για τη συνεξέταση των μέσων τιμών των δειγμάτων (Πίνακας 10.5), προέκυψε η τιμή  $F = 0,826$ . Η ευρεθείσα τιμή είναι μικρότερη των κρίσιμων τιμών της  $F$  κατανομής για 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή και για επίπεδα 5% και 1% ( $F_{3, 147, 0,05} = 2,605$  και  $F_{3, 147, 0,01} = 3,782$ ). Συνεπώς μεταξύ των μέσων τιμών των δειγμάτων συνεξεταζομένων σε όλες τις δυνατές δυαδικές συγκρίσεις δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ( $F < F_{3, 147, 0,05}$ ,  $p > 0,05$ ).

**Πίνακας 10.5** Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων στο θέμα 2.

	Αθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	11,840	3	3,947		
Μέσα στις ομάδες	702,494	147	4,779	0,826	0,482
Στο σύνολο των ομάδων	714,334	150			

Συμπερασματικά για το θέμα 2 μπορούμε να πούμε ότι ήταν προσιτό σε όλες τις ομάδες. Τα δύο πρώτα ερωτήματα απαιτούσαν απλή εφαρμογή στους τύπους και προετοίμαζαν τους φοιτητές για το τρίτο. Σ' αυτά δεν αναμενόταν διαφορές στις μέσες επιδόσεις. Το τρίτο ερώτημα παρουσιάζει εννοιολογική δυσκολία και προσδοκούσαμε να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων, όμως από την εξέταση των μέσων επιδόσεων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Φαίνεται ότι η περίπτωση της «βιτρίνας που δεν σπάει παρά τη μεγάλη τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης» είναι αρκετά δημοφιλής μεταξύ των εκπαιδευτικών που διδάσκουν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

### 10.3 Θέμα 3

Από τις βαθμολογίες των γραπτών των τεσσάρων ομάδων (Πίνακας 10.6) προέκυψε ότι οι επιδόσεις των φοιτητών κινήθηκαν σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Η μέση επίδοση στο σύνολο του δείγματος ( $N=151$ ) είναι 1,7 (με τυπική απόκλιση 1,4). Η δε μέση επίδοση των τριών δειγμάτων που πήραν μέρος στην παρέμβαση Β είναι 1,8 μονάδες. Η ομάδα που εκτέλεσε τα πειράματα, «ομάδα πειραμάτων», παρουσίασε τη μεγαλύτερη μέση τιμή επίδοσης (2,3), και η «ομάδα ελέγχου» την χαμηλότερη (1,4). Η ομάδα «επίδειξης πειραμάτων» και η «συμβατική» παρουσίασαν μέσες επιδόσεις (1,6 και 1,4 αντίστοιχα), που διαφέρουν λίγο μεταξύ τους.

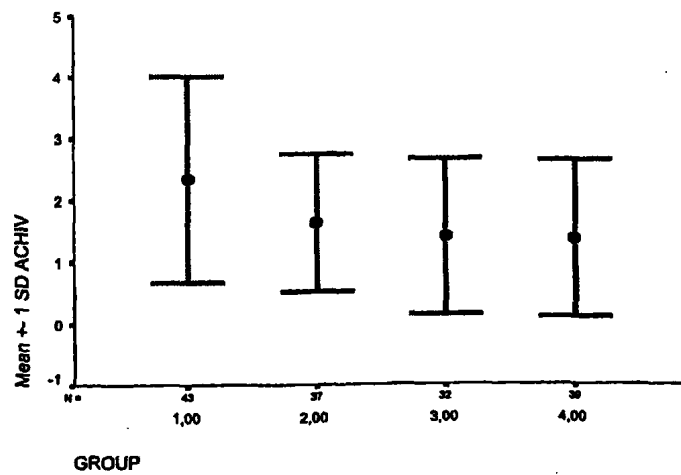
Το διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού» καθώς και το διάγραμμα των μέσων επιδόσεων των ομάδων με το εύρος των τιμών επίδοσης σε μια περιοχή που ορίζεται από μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από κάθε μέση τιμή επίδοσης, συνοψίζουν τις επιδόσεις των τεσσάρων ομάδων.



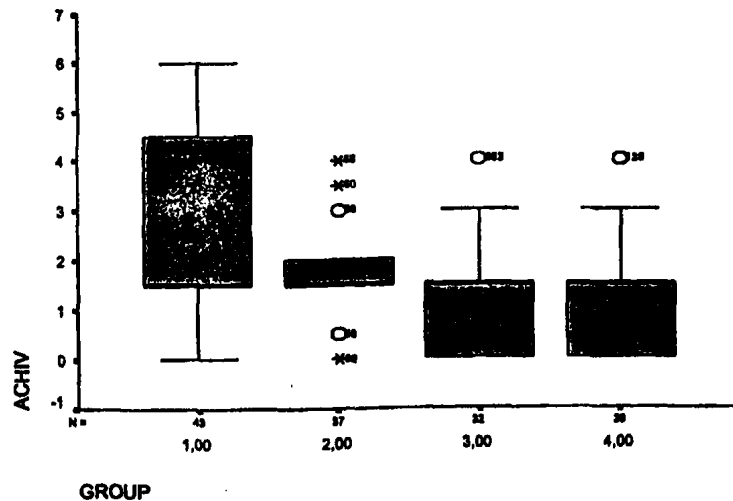
Πίνακας 10.6 Επίδοση των ομάδων στο θέμα 3 (άριστα το 10).

Ομάδα	Μ.Τ. (T. A)	Διακόμευση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	2,3 (1,7)	2,8	6,0	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	1,6 (1,1)	1,3	4,0	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	1,4 (1,3)	1,6	4,0	0,0
Ελέγχου (N=39)	1,4 (1,3)	1,6	4,0	0,0

Διάγραμμα 10.5 Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 3 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή τους.



Διάγραμμα 10.6 Οι επιδόσεις στο θέμα 3 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



Η συνεξέταση των τεσσάρων τιμών διασποράς των δειγμάτων έδωσε, με βάση το κριτήριο Levene, τιμή  $W=4,668$  που είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής της κατανομής  $F$ , με 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή για επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% ( $F_{3, 147, 0,05} = 2,605$ ,  $p>0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ανομοιογενείς ( $W > F_{3, 147, 0,05}$ ).

Το κριτήριο του Levene είναι αυστηρό και λαμβάνει υπόψη του τις τυπικές αποκλίσεις και των τεσσάρων δειγμάτων. Ο έλεγχος της ομοιογένειας των πληθυσμών και με την εφαρμογή του λιγότερου αυστηρού κριτηρίου της  $F_{\max}$ , όπου  $F_{\max} = 2,782 / 1,259 = 2,209$ , (στον αριθμητή θέτουμε τη διακύμανση του δείγματος που εμφάνισε τη μεγαλύτερη τιμή απ'όλα τα δείγματα που συνεξετάζουμε και στον παρονομαστή τη διακύμανση του δείγματος που εμφάνισε τη μικρότερη τιμή) έδειξε επίσης ότι οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ανομοιογενείς ( $F_{\max} > F_{42, 36, 0,01} = 2,114$ ,  $p > 0,01$ ). Όπως αναφέρουμε στην ενότητα «Στατιστική Μεθοδολογία» (κεφ. 5, ενότητα 5.9) το κριτήριο  $F$  για την ανάλυση διακύμανσης επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από την ανομοιογένεια των πληθυσμών από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα.

Από την ανάλυση διακύμανσης για την συνεξέταση των μέσων τιμών των δειγμάτων, προέκυψε η τιμή  $F = 4,390$  (Πίνακας 10.7). Η ευρεθείσα τιμή είναι μεγαλύτερη των κρίσιμων τιμών της κατανομής  $F$  για 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή και για επίπεδα 5% και 1% ( $F_{3, 147, 0,05} = 2,605$  και  $F_{3, 147, 0,01} = 3,782$ ). Συνεπώς μεταξύ των μέσων τιμών των δειγμάτων συνεξεταζομένων υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά, δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν.

Πίνακας 10.7 Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων στο θέμα 3.

	Αθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	24,526	3	8,175		
Μέσα στις ομάδες	273,763	147	1,862	4,390	0,005
Στο σύνολο των ομάδων	298,288	150			

Για τις δυαδικές συγκρίσεις των μέσων τιμών των δειγμάτων σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς εφαρμόσαμε τη μέθοδο του Tukey -HSD και τη LSD. Από τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 10.8 προκύπτει ότι η ομάδα που εκτέλεσε τα πειράματα παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση της, σε επίπεδο 1% σε σχέση με την ομάδα ελέγχου (μέθοδος Tukey) και με την ομάδα που παρακολούθησε συμβατική διδασκαλία (μέθοδος LSD). Επίσης η «η ομάδα πειραμάτων» παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την «ομάδα επίδειξης» σε επίπεδο 5% (μέθοδος LSD).

Μεταξύ δε της ομάδας που παρακολούθησε τη λύση προβλημάτων με τη βοήθεια επίδειξης πειραμάτων και των ομάδων που παρακολούθησαν συμβατική διδασκαλία και της ομάδας ελέγχου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 10.8** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο θέμα 3.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,702**	0,306	-0,163	1,567
		3	0,931	0,319	0,029	1,832
		4	0,965*	0,302	0,112	1,819
	2	3	0,229	0,329	-0,703	1,160
		4	0,263	0,313	-0,622	1,149
		3	0,034	0,325	-0,886	0,955
LSD	1	3	0,931*	0,319	0,029	1,832

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
 \*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

#### 10.4 Θέμα 4

Με βάση το βαθμολογικό σχήμα που δομήθηκε (Κεφ. 9, Πίνακας 9.4), οι βαθμολογίες των γραπτών των τεσσάρων ομάδων στο θέμα 4 κινήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα (μέση επίδοση στο σύνολο του δείγματος 2,1 μονάδες και η τυπική απόκλιση 1,9) (Πίνακας 10.9). Φαίνεται ότι η έννοια της διαλυτότητας αερίου στο νερό είναι αρκετά δυσπρόσιτη στους φοιτητές και ελάχιστοι απ' αυτούς προσέγγισαν την απάντηση εφαρμόζοντας την έννοια αυτή. Οι περισσότεροι φοιτητές εξηγούν ότι ένας αριθμός από τα ψάρια στις κλειστές δεξαμενές πεθαίνουν τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού λόγω του φαινομένου της εξάτμισης του νερού.

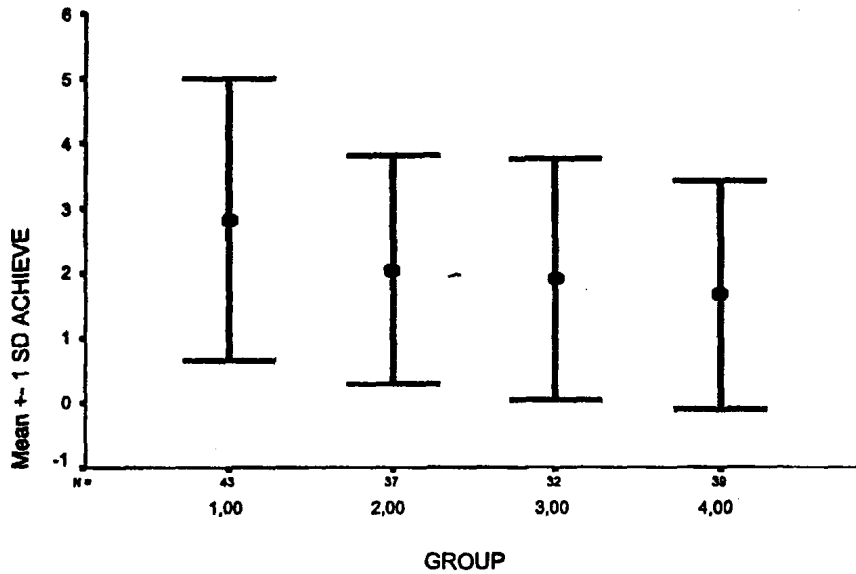
Η «ομάδα πειραμάτων» και σ' αυτό το θέμα παρουσίασε την υψηλότερη μέση επίδοση. Η «ομάδα επίδειξης» και η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» εμφανίζουν ίσες περίπου επιδόσεις, η δε «ομάδα ελέγχου» παρουσίασε τη χαμηλότερη επίδοση. Οι παραπάνω επιδόσεις συνοψίζονται στα διαγράμματα 10.7 και 10.8.

**Πίνακας 10.9** Επίδοση των ομάδων στο θέμα 4 (άριστα το 10).

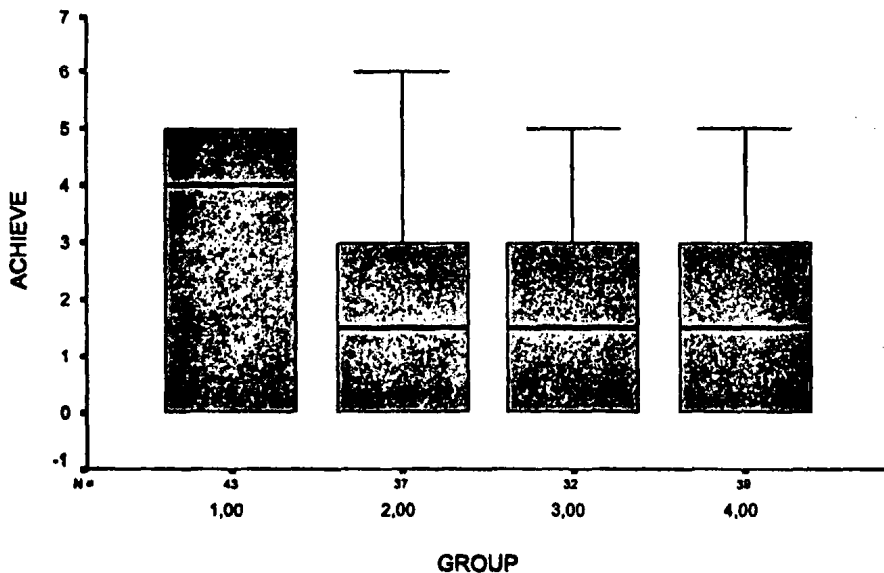
Ομάδα	Μ.Τ. (Τ. Α)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	2,8 (2,2)	4,7	5,0	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	2,0 (1,7)	3,1	6,0	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	1,9 (1,9)	3,4	5,0	0,0
Ελέγχου (N=39)	1,6 (1,8)	3,1	5,0	0,0



**Διάγραμμα 10.7** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 4 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.



**Διάγραμμα 10.8** Οι επιδόσεις των τεσσάρων ομάδων, στο θέμα 4 σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



Για τον έλεγχο της ομοιογένειας των πληθυσμών ο δείκτης W του κριτηρίου του Levene έδωσε τιμή 4,482, που είναι μεγαλύτερη των κρίσιμων τιμών 2,605 και 3,782 της κατανομής F για 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στο παρονομαστή, σε επίπεδο σημαντικότητας 5% και 1% αντίστοιχα. Συνεπώς οι τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων συνεξεταζόμενες διαφέρουν στατιστικά, οι πληθυσμοί είναι ανομοιογενείς.

Εφαρμόζοντας το λιγότερο αυστηρό κριτήριο  $F_{\max}$  για την ομοιογένεια, βρήκαμε  $F_{\max} = 4,726/3,094 = 1,527$ . Η ευρεθείσα τιμή  $F_{\max}$  είναι μικρότερη της κρίσιμης τιμής  $F = 1,637$ , με 42 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 38 στο παρονομαστή, για επίπεδο σημαντικότητας 5%, οπότε οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η ανομοιογένεια στη διασπορά των βαθμών επίδοσης των ομάδων ελάχιστα επηρεάζει την τιμή  $F$  της ανάλυσης διακύμανσης.

Από τον πίνακα της ανάλυσης διακύμανσης (Πίνακας 10.10) η ευρεθείσα τιμή  $F$  είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής  $F$ , για 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $F_{3, 147, 0,05}=2,605$ ). Άρα τουλάχιστον δύο μέσες τιμές εκ των ομάδων που συνεξετάζονται διαφέρουν ( $F > F_{3, 147, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ).

Πίνακας 10.10 Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων των ομάδων στο θέμα 4.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	31,181	3	10,394		
Μέσα στις ομάδες	533,929	147	3,632	2,862	0,039
Στο σύνολο των ομάδων	565,109	150			

Πίνακας 10.11 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο θέμα 4.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
LSD	1	2	0,787	0,427	-0,311	1,885
		3	0,923	0,445	-0,219	2,066
		4*	1,160	0,421	0,077	2,243
	2	3	0,136	0,460	-1,046	1,318
		4	0,373	0,437	-0,750	1,497
		4	0,237	0,455	-0,931	1,405
Tukey HSD	1	3	0,923**	0,445	-0,219	2,066
LSD	1	2	0,787***	0,427	-0,311	1,885

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
 \*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05  
 \*\*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10

Η δυαδική σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων με το κριτήριο Tukey-HSD και το LSD, όπως φαίνεται στον πίνακα 10.11, δείχνει ότι μεταξύ των



ομάδων που παρακολούθησαν διαφορετικές διδακτικές μεθοδολογίες υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους. Η «ομάδα πειραμάτων» έχουσα την υψηλότερη επίδοση και η «ομάδα ελέγχου» τη χαμηλότερη, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 1%.

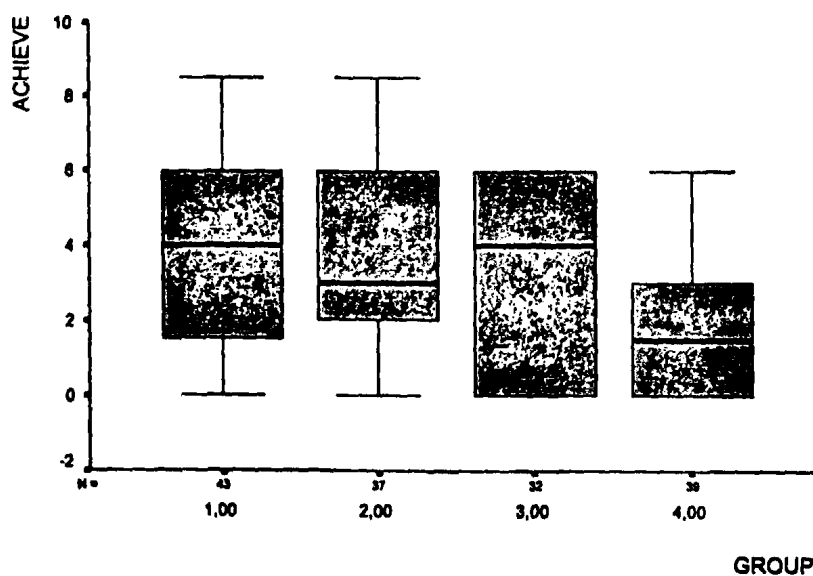
### 10.5 Θέμα 5

Από τη βαθμολόγηση των γραπτών προέκυψε ότι και σ' αυτό το θέμα η επίδοση των φοιτητών που πήραν μέρος στην έρευνα ήταν χαμηλή (N=151, M.T.=3,0, T.A.=2,4). Οι επιδόσεις των τριών ομάδων που παρακολούθησαν διαφορετικούς τύπους διδασκαλίας στην παρέμβαση Β κυμαίνονται σε μια περιοχή μέσων τιμών επίδοσης από 3,6-3,1. Την υψηλότερη επίδοση παρουσίασε η ομάδα που ασχολήθηκε με την πειραματική αντιμετώπιση των προβλημάτων και τη χαμηλότερη η ομάδα ελέγχου (Πίνακας 10.12). Τα αποτελέσματα επίδοσης παρουσιάζονται και στα διαγράμματα 10.9 και 10.10.

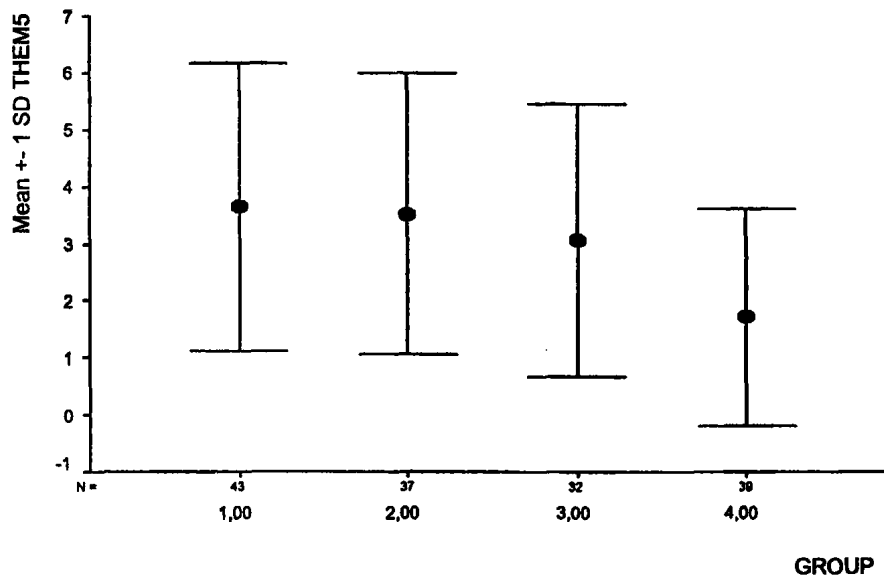
Πίνακας 10.12 Επίδοση των ομάδων στο θέμα 5 (άριστα το 10).

Ομάδα	M.T. (T. A)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	3,6 (2,5)	6,4	8,0	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	3,5 (2,5)	6,1	8,5	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	3,1 (2,4)	5,7	6,0	0,0
Έλεγχος (N=39)	1,7 (1,9)	3,6	6,0	0,0

Διάγραμμα 10.9 Οι επιδόσεις στο θέμα 5 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



**Διάγραμμα 10.10** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 5 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.



Ο δείκτης  $W$  του κριτηρίου του Levene για τον έλεγχο της ομοιογένειας έδειξε ότι οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $W=1,641 < F_{3, 147, 0,05} = 2,605$ ,  $p < 0,05$ ).

Για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων εφαρμόσαμε την ανάλυση διακύμανσης (Πίνακας 10.13). Η ευρεθείσα τιμή  $F=5,665$  είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή  $F$  για τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας για επίπεδο 5%. Μεταξύ των επιδόσεων των ομάδων συνεξεταζομένων υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ( $F > F_{3, 147, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ).

**Πίνακας 10.13** Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων των ομάδων στο θέμα 5.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	92,807	3	30,936		
Μέσα στις ομάδες	802,693	147	5,460	5,665	0,001
Στο σύνολο των ομάδων	895,500	150			

Οι δυαδικές συγκρίσεις των μέσων τιμών των δειγμάτων σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς εξετάστηκαν με εφαρμογή του κριτηρίου Tukey-HSD και LSD. Η κάθε ομάδα στην οποία εφαρμόστηκε μια από τις διδακτικές μεθόδους παρουσιάζει στατιστικά



σημαντική διαφορά στην επίδοση της σε σχέση με την ομάδα ελέγχου. Μεταξύ δε των τριών ομάδων που εφαρμόστηκαν οι διαφορετικές διδακτικές μέθοδοι δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την επίδοσή τους.

Στη θέση αυτή θέλουμε να επισημάνουμε ότι στη διδακτική παρέμβαση Β οι φοιτητές δε διδάχθηκαν κάποια ενότητα που να είναι εστιασμένη στη σχέση θερμοκρασίας - πίεσης αερίου, όταν ο όγκος παραμένει σταθερός. Για την απάντηση στο θέμα οι φοιτητές θα έπρεπε να στηριχθούν στη συνολική κατανόηση της μικροσκοπικής δομής των αερίων, την οποία αποκόμισαν από την όλη διδακτική παρέμβαση.

**Πίνακας 10.14** Πολλαπλές συγκρίσεις των επιδόσεων των ομάδων στο θέμα 5.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,124	0,524	-1,076	1,326
		3	0,573	0,546	-0,677	1,823
		4	1,933*	0,517	0,749	3,117
	2	3	0,449	0,564	-0,844	1,741
		4	1,809*	0,536	0,580	3,038
		3	4	1,360	0,557	0,083
LSD	3	4	1,360**	0,557	0,083	2,637

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
 \*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

### 10.6 Θέμα 6

Από τη βαθμολόγηση των γραπτών προέκυψε ότι η μέση τιμή επίδοσης στο σύνολο του δείγματος είναι χαμηλή (Μ.Τ. 2,6 και Τ.Α. 2,2). Η ομάδα των φοιτητών που εκτέλεσε τα πειράματα παρουσιάζει την υψηλότερη επίδοση και η ομάδα ελέγχου τη χαμηλότερη. Η ομάδα που παρακολούθησε επιδείξεις πειραμάτων και συμβατική διδασκαλία έχουν περίπου ίσες επιδόσεις με τη δεύτερη ομάδα να παρουσιάζει μια ελαφρά καλύτερη επίδοση. Τα χαρακτηριστικά των επιδόσεων των ομάδων περιγράφονται στον πίνακα 10.15.

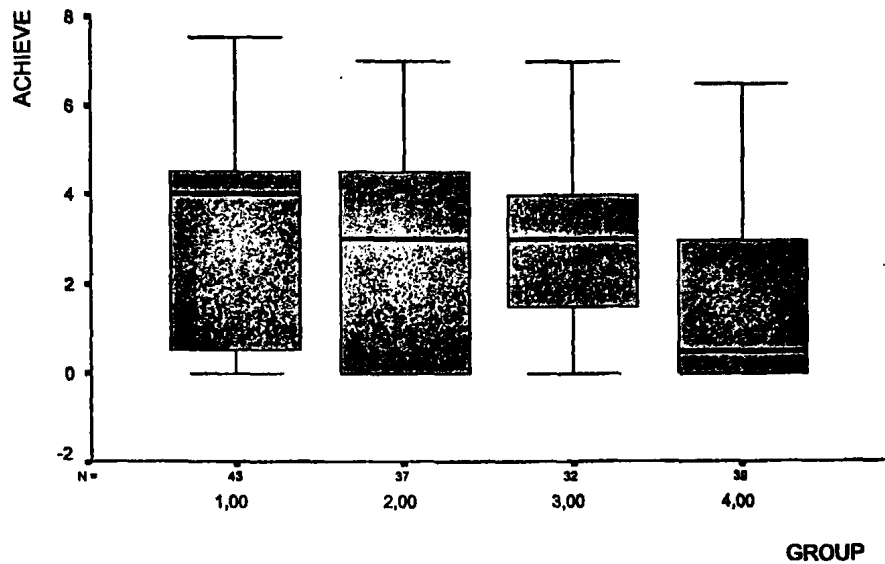
**Πίνακας 10.15** Επίδοση των ομάδων στο θέμα 6 (άριστα το 10).

Ομάδα	Μ.Τ. (Τ. Α)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	3,2 (2,3)	5,3	7,5	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	2,6 (2,2)	5,0	7,0	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	2,9 (2,1)	4,3	7,0	0,0
Ελέγχου (N=39)	1,6 (1,9)	3,6	6,5	0,0

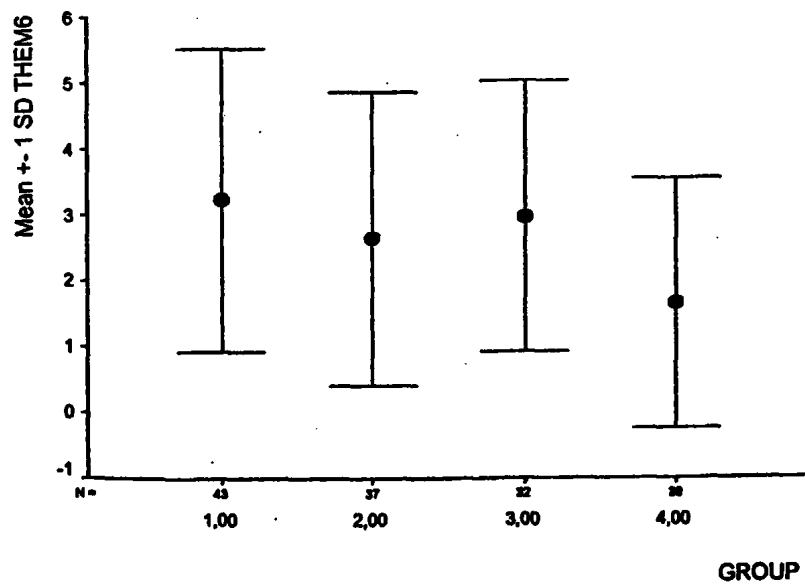


Τα αποτελέσματα επίδοσης των τεσσάρων ομάδων απεικονίζονται στα διάγραμμα 10.11 και 10.12.

**Διάγραμμα 10.11** Οι επιδόσεις στο θέμα 6 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



**Διάγραμμα 10.12** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 6 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και μια κάτω από τη μέση τιμή.



Με εφαρμογή του τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης του Levene, βρέθηκε ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση σε σχέση με τη διασπορά των επιδόσεων των τεσσάρων ομάδων για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $W=0,570 < F_{3, 147, 0,05} = 2,605, p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς και οι διαφορές τους οφείλονται στις διαφορές τους ως προς τις μέσες τιμές.

Για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των τεσσάρων ομάδων συνεξεταζομένων, η ανάλυση διακύμανσης (Πίνακας 10.16) έδειξε ότι οι επιδόσεις των ομάδων διαφέρουν στατιστικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $F > F_{3, 147, 0,05}, p < 0,05$ ).

Πίνακας 10.16 Ανάλυση διακύμανσης της επίδοσης των ομάδων στο θέμα 6.

	Αθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	56,806	3	18,935		
Μέσα στις ομάδες	671,426	147	4,568	4,146	0,007
-Στο σύνολο των ομάδων	728,232	150			

Με εφαρμογή του κριτηρίου Tukey -HSD, των πολλαπλών συγκρίσεων, βρέθηκε ότι η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει σημαντικά από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο σημαντικότητας 1% (μέθοδος Tukey) (Πίνακας 10.17). Επίσης η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει σημαντικά από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 1% (μέθοδος LSD) και η «ομάδα επίδειξης» διαφέρει από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 5% (μέθοδος LSD).

Πίνακας 10.17 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο θέμα 6.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,58	0,48	-0,65	1,81
		3	0,25	0,49	-1,03	1,53
		4	1,58*	0,47	0,36	2,79
	2	3	-0,34	0,52	-1,66	0,99
		4	0,99	0,49	-0,26	2,25
		3	4	1,33	0,51	0,02
LSD	3	4	1,33*	0,51	0,02	2,64
LSD	2	4	0,99**	0,49	-0,26	2,25

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

\*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

### 10.7 Θέμα 7

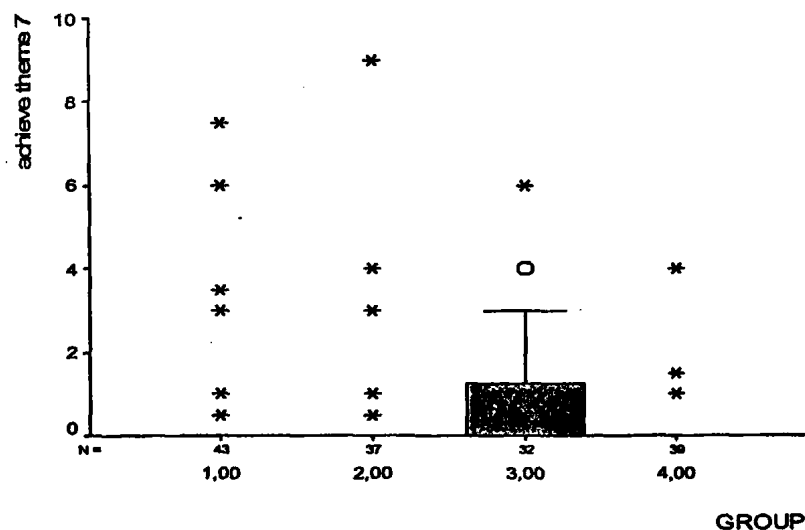
Οι επιδόσεις των ομάδων καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα 10.18.

Πίνακας 10.18 Επίδοση των ομάδων στο θέμα 7 (άριστα το 10).

Ομάδα	M.T. (T. A)	Διακύμανση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Πειραμάτων (N=43)	0,8 (1,9)	3,8	7,5	0,0
Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	0,7 (1,8)	3,4	9,0	0,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	1,1 (1,9)	3,9	6,0	0,0
Ελέγχου (N=39)	0,2 (0,7)	0,5	4,0	0,0

Τα αποτελέσματα επίδοσης των τεσσάρων ομάδων απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα 10.13 και 10.14.

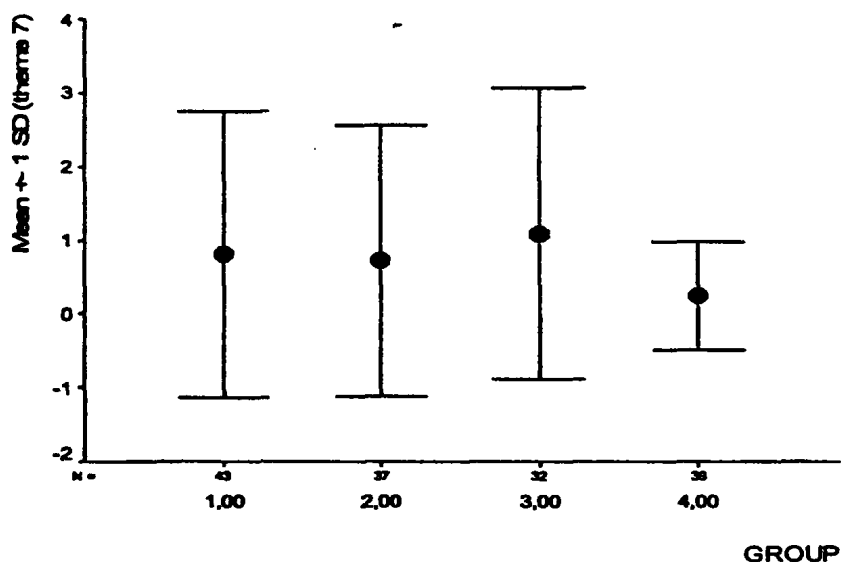
Διάγραμμα 10.13 Οι επιδόσεις στο θέμα 7 των τεσσάρων ομάδων σε διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού».



Στο διάγραμμα «κουτιού και μουστακιού» η τιμή της διαμέσου σε κάθε ομάδα βρίσκεται σχεδόν πάνω στον οριζόντιο άξονα (τιμή επίδοσης μηδέν). Με αστερίσκους σημειώνονται, για κάθε ομάδα, οι περιπτώσεις των τιμών που απέχουν από τις άνω πλευρές του κάθε «κουτιού» απόσταση μεγαλύτερη από 3 φορές το πλάτος του, τιμές extremes. Η δε περίπτωση με τον κύκλο στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» δηλώνει τιμή που απέχει απόσταση από την άνω τιμή του «κουτιού» 1,5 - 3 φορές, τιμή outlier.

Έτσι στην «πειραματική ομάδα» έχουμε δύο φοιτητές που έφεραν καλή επίδοση (βαθμολογίες μεγαλύτερες των πέντε μονάδων), στην «ομάδα επίδειξης» ένα, στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» επίσης ένα και στην «ομάδα ελέγχου» κανένας φοιτητής δεν έφερε βαθμολογία μεγαλύτερη των πέντε μονάδων.

**Διάγραμμα 10.14** Οι μέσες επιδόσεις στο θέμα 7 των τεσσάρων ομάδων και το εύρος των επιδόσεών τους σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και μια κάτω από τη μέση τιμή.



Το τεστ του Lavene για τον έλεγχο της διακύμανσης μεταξύ των τιμών επίδοσης των ομάδων έδωσε τιμή  $W = 0,569$ . Οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $W < F_{0,05, 3,147} = 2,605$ ).

Η ανάλυση διακύμανσης για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων έδωσε τιμή  $F < F_{0,05, 3,147} = 2,605$ . Συνεπώς οι μέσες τιμές επίδοσης των ομάδων, στο θέμα 7 δε διαφέρουν σημαντικά.

**Πίνακας 10.19** Ανάλυση διακύμανσης της επίδοσης των ομάδων στο θέμα 7.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	13,613	3	4,538		
Μέσα στις ομάδες	423,318	147	2,880	1,576	0,198
Στο σύνολο των ομάδων	436,930	150			

### 10.8 Σύγκριση των επιδόσεων στο σύνολο των θεμάτων (για τα πραγματικά δείγματα) σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν

Μια πρώτη σύγκριση των τριών διδακτικών μεθόδων που εφαρμόσαμε σε σχέση με την επίδοση σε κάθε ένα από τα επτά τεθέντα θέματα έγινε στην προηγούμενη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου. Για να έχουμε ένα έγκυρο κριτήριο για τη σύγκριση των τριών διδακτικών μεθόδων υπολογίσαμε τη μέση επίδοση των φοιτητών κάθε ομάδας στο σύνολο των θεμάτων που εξετάστηκαν. Όπως γνωρίζουμε σε κάθε εξέταση η πλειονότητα των εξεταζομένων δεν απαντάει στον ίδιο βαθμό σε όλα τα τεθέντα θέματα. Ένας εξεταζόμενος συνήθως επιλέγει κάποια θέματα που θεωρεί γι' αυτόν προσιτά και σ' αυτά εστιάζει την προσοχή του, σε άλλα θέματα απαντάει εν μέρει και κάποια άλλα τα προσπερνά ή απλώς γράφει ό,τι θυμάται από παλαιότερες ενασχολήσεις του μ' αυτά. Το ενδιαφέρον για τις απαντήσεις στα επιμέρους θέματα εστιάστηκε κυρίως στην καταγραφή των νοητικών μοντέλων που κατέχουν οι φοιτητές, στις εναλλακτικές τους ιδέες καθώς και στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν, όταν έρχονται αντιμέτωποι με θέματα που αναφέρονται στην αέρια κατάσταση. Αυτό γίνεται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο. Έννοιες που έχουν κατανοηθεί καθώς και έννοιες που είναι δυσπρόσιτες αποτελούν αφετηριακά σημεία για μια γόνιμη και καρποφόρα διδασκαλία.

Για να έχουμε λοιπόν μια πιο συνεκτική εικόνα της επίδοσης των ομάδων, υπολογίσαμε τη μέση επίδοση των φοιτητών, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου στο σύνολο των επτά θεμάτων. Από τον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 10.20) βλέπουμε ότι την υψηλότερη επίδοση, τόσο στα επιμέρους θέματα (με εξαίρεση το θέμα 7), όσο βέβαια και στο σύνολο των θεμάτων εμφανίζει η «ομάδα πειραμάτων». Η «ομάδα επίδειξης» και η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» παρουσιάζουν την ίδια μέση επίδοση στο σύνολο των θεμάτων. Στα θέματα 2, 3, 4 και 5 η «ομάδα επίδειξης» εμφανίζει μια ελαφρά υψηλότερη επίδοση από την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας», ενώ στα θέματα 1, 6 και 7 εμφανίζεται το αντίθετο. Ας σημειωθεί ότι στο θέμα 2, που είναι εύκολο, όλες οι ομάδες παρουσίασαν υψηλή επίδοση. Στο θέμα 7, που είναι δύσκολο για τις δυνατότητες των φοιτητών του δείγματος, όλες οι ομάδες παρουσίασαν πολύ χαμηλή επίδοση. Οι μέσες επιδόσεις τόσο στα επιμέρους θέματα, όσο και σύνολο των θεμάτων αναπαριστούνται και στα διαγράμματα 10.15 και 10.16.

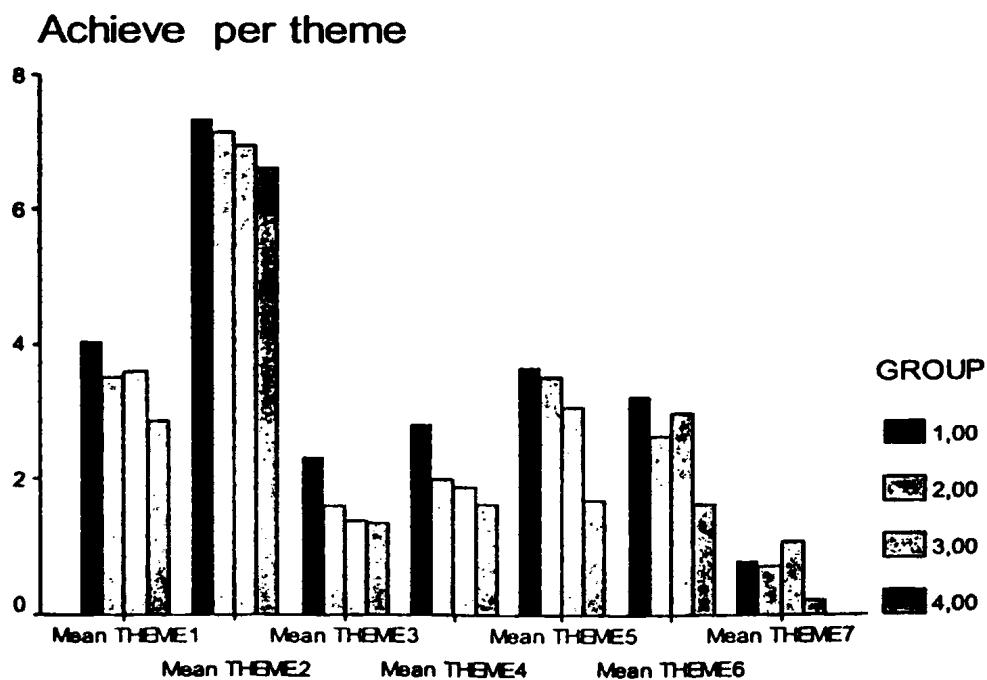
Αναμφισβήτητα, θα επιθυμούσαμε οι επιδόσεις των φοιτητών στα θέματα να ήταν αρκετά υψηλότερες. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συμβεί αν ο χρόνος της διδακτικής παρέμβασης Β ήταν μεγαλύτερος, ώστε να δοθεί η δυνατότητα οι φοιτητές να επαναλάβουν και να εμβαθύνουν στις έννοιες με τις οποίες ασχολήθηκαν. Επιπλέον δε να ασχοληθούν με περισσότερα προβλήματα παρόμοια μ' αυτά που τους τέθηκαν. Όμως το ζήτημα του χρόνου και οι περιορισμοί που τίθενται κατά τη διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων (π.χ. μικρός αριθμός διδακτικών ωρών στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα για το μάθημα της χημείας, έλλειψη οργανωμένων εργαστηρίων κ.ά.) είναι ένα ζήτημα που υπάρχει και στο δεδομένο πλαίσιο η διδακτική θα εξακολουθήσει να δίνει τη μάχη της για την αναβάθμιση της διδασκαλίας των μαθημάτων αυτών.



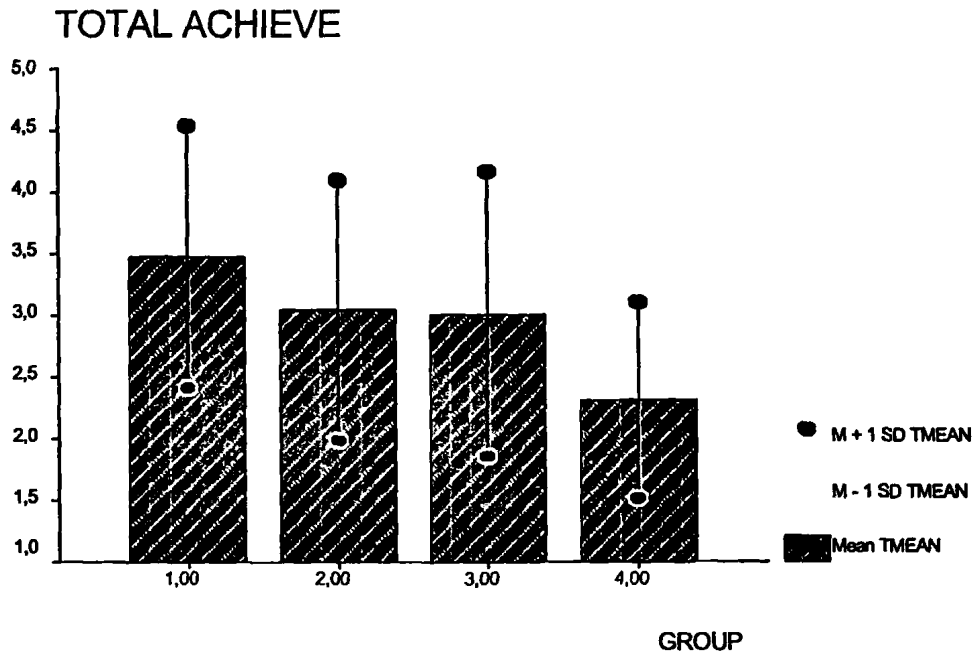
Πίνακας 10.20 Συγκεντρωτικός πίνακας επιδόσεων (άριστα το 10) [μέση τιμή και τυπική απόκλιση] των ομάδων ανά θέμα και στο σύνολο των θεμάτων.

Θέμα Ομάδα	Θέμα							Στο σύνολο των θεμάτων	Μέγιστη / Ελάχιστη Επίδοση στο σύνολο των θεμάτων
	1	2	3	4	5	6	7		
Πειραμάτων (N=43)	4,1 (1,9)	7,4 (2,3)	2,3 (1,7)	2,8 (2,2)	3,6 (2,5)	3,2 (2,3)	0,8 (1,9)	3,5 (1,1)	6,1 1,1
Επίδειξης (N=37)	3,5 (1,8)	7,2 (1,7)	1,6 (1,1)	2,0 (1,8)	3,5 (2,5)	2,6 (2,2)	0,7 (1,8)	3,0 (1,0)	5,9 1,3
Συμβατικής (N=32)	3,6 (2,4)	7,0 (1,7)	1,4 (1,3)	1,9 (1,9)	3,1 (2,4)	2,9 (2,1)	1,1 (1,9)	3,0 (1,2)	5,7 0,8
Ελέγχου (N=39)	2,9 (1,7)	6,6 (2,8)	1,4 (1,3)	1,6 (1,8)	1,7 (1,9)	1,6 (1,9)	0,2 (0,7)	2,3 (0,8)	3,9 0,8
Στο σύνολο των ομάδων (N=151)	3,5 (1,9)	7,0 (2,2)	1,7 (1,4)	2,1 (1,9)	3,0 (2,4)	2,6 (2,2)	0,7 (1,7)	3,0 (1,1)	6,1 0,8

Διάγραμμα 10.15 Μέσες επιδόσεις ανά θέμα και ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας.



**Διάγραμμα 10.16** Οι μέσες επιδόσεις στο σύνολο των θεμάτων, ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας. Στο διάγραμμα σημειώνεται και το εύρος των επιδόσεων σε μια περιοχή μια μονάδα τυπικής απόκλισης πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.



Μια άλλη περίπτωση για τη βελτίωση των εμφανιζόμενων επιδόσεων των φοιτητών της έρευνάς μας θα ήταν να παραλείψουμε έναν αριθμό φοιτητών από κάθε ομάδα που παρουσίασαν τη χαμηλότερη μέση επίδοση. Από τη μελέτη των επιδόσεων στην «ομάδα πειραμάτων» εντοπίσαμε δύο φοιτητές με επίδοση μικρότερη και ίση της 1,5 μονάδας, στην «ομάδα επίδειξης» εντοπίσαμε επίσης δύο φοιτητές, στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» τρεις, και στην «ομάδα ελέγχου» 8 φοιτητές. Μια τέτοια ενέργεια δε θα παραβίαζε την «επιστημονική εντιμότητα», αφού οι φοιτητές αυτοί μπορούμε να ισχυριστούμε ότι έδειξαν μικρό ενδιαφέρον κατά τη διδασκαλία και γενικότερα για τη μάθηση της ύλης που διδάχθηκαν. Συνεπώς η μη ενεργός συμμετοχή τους δεν θα έπρεπε να επηρέαζε την αξιολόγηση των τριών διδακτικών μεθόδων που εφαρμόσαμε. Αν κάτι τέτοιο συνέβαινε οι μέσες τιμές επίδοσης θα εμφάνιζαν κάποια βελτίωση και οι τυπικές αποκλίσεις κάποια πιο ικανοποιητική σύγκλιση περί τη μέση τιμή. Όμως η «ωραιοποίηση» της εικόνας επίδοσης δεν θα πρόσφερε σχεδόν τίποτε στα στατιστικά κριτήρια σύγκρισης των επιδόσεων των ομάδων, αφού αυτά εξετάζουν τις διαφορές των μέσων επιδόσεων. Οι διαφορές θα παραμείνουν σχεδόν οι ίδιες.

Για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων εφαρμόσαμε τη μέθοδο ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA). Το τεστ ομοιογένειας έδωσε τιμή του δείκτη  $W = 1,522$ , όπου  $W < F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ . Επομένως οι διακυμάνσεις των τεσσάρων δειγμάτων

δεν διαφέρουν στατιστικά σε επίπεδο 5%. Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς.

Από τον πίνακα ανάλυσης διακύμανσης (Πίνακας 10.21) προέκυψε η τιμή  $F=9,057$ , όπου  $F > F_{0,01, 3, 147} = 3,782$ . Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν μεταξύ τους.

**Πίνακας 10.21** Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	28,137	3	9,379		
Μέσα στις ομάδες	152,229	147	1,036	9,057	0,000
Στο σύνολο των ομάδων	180,367	150			

Για τις πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών (Πίνακας 10.22) εφαρμόσαμε αρχικά το κριτήριο Tukey και στη συνέχεια το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς-LSD (Least significant difference).

**Πίνακας 10.22** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης		
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο	
Tukey HSD	1	2	0,427	0,228	-0,159	1,014	
		3	0,462	0,238	-0,149	1,073	
		4	1,163*	0,225	0,584	1,741	
	2	3	0,035	0,246	0,597	0,666	
		4	0,735*	0,234	0,135	1,336	
		3	0,700	0,243	0,077	1,324	
LSD	3	4	0,700*	0,243	0,077	1,324	
		1	2	0,427**	0,228	0,005	0,805
			3	0,462**	0,238	0,007	0,855

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10

Ο κύριος στόχος της έρευνας είναι να διαπιστώσουμε κατά πόσο η λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων, που αφορούν την αέρια κατάσταση, από



ομάδες φοιτητών στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης, είναι αποδοτικότερη σε σχέση με τη μέθοδο επίδειξης πειραμάτων και τη συμβατική διδασκαλία, επίλυση προβλημάτων με «κιμωλία και πίνακα», που είναι και η επικρατούσα μέθοδος στη χώρα μας.

Όταν εφαρμόζεται το φειδωλό κριτήριο Tukey-HSD και εξετάζεται η στατιστική σημαντικότητα των διαφορών, σε ένα επίπεδο σημαντικότητας, επειδή τα δείγματα μας δεν είναι ισοπληθή το κριτήριο Tukey θεωρεί ως κοινό μέγεθος δείγματος το μέσο αρμονικό μέγεθος των δειγμάτων (harmonic mean sample size), εν προκειμένω αυτό έχει τιμή 37,32. Κατ'αρχήν εξετάζουμε τη σημαντικότητα της διαφοράς των μέσων τιμών επίδοσης με εφαρμογή του κριτηρίου Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 1%. Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το κριτήριο L.S.D. για το ίδιο επίπεδο σημαντικότητας. Ακολουθεί ανάλογη εφαρμογή των δύο κριτηρίων σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Σχεδόν πάντοτε το κριτήριο L.S.D., σε επίπεδο 1% και το κριτήριο Tukey σε επίπεδο 5% δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Τέλος εφαρμόζουμε το κριτήριο L.S.D. σε επίπεδο σημαντικότητας 10%. Αν και η σημαντικότητα της διαφοράς των μέσων τιμών σε επίπεδο 10% έχει μικρή αξία την αναφέρουμε, καθόσον προσπαθούμε να επισημάνουμε ποια μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική έναντι κάποιας άλλης.

Σε όλες τις περιπτώσεις που προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με το κριτήριο Tukey σε ένα επίπεδο σημαντικότητας αυτές ισχύουν και για τη μέθοδο L.S.D. για το ίδιο επίπεδο σημαντικότητας.

Οι συγκρίσεις των επιδόσεων των ομάδων τόσο στα επιμέρους θέματα, όσο και στο σύνολο των θεμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα 10.23. Μια στατιστικά σημαντική διαφορά που σημειώνεται σε ένα κελί του πίνακα, ισχύει και για οποιαδήποτε άλλο κελί που βρίσκεται δεξιά του στην ίδια γραμμή.

Οι ευρεθείσες στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιδόσεων (στο σύνολο των θεμάτων) των τριών ομάδων που πήραν μέρος στις διδακτικές παρεμβάσεις Α και Β και της ομάδας ελέγχου, που πήρε μέρος στην παρέμβαση Α, ήταν αναμενόμενες και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η «ομάδα ελέγχου» απλώς αναφέρεται ως «ομάδα αναφοράς» ή ως ένα «επίπεδο ελάχιστης ενέργειας». Όμως το ότι η «ομάδα πειραμάτων» στις περισσότερες των περιπτώσεων (επιδόσεις ανά θέμα) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της «ομάδας ελέγχου» και όχι οι δύο άλλες ομάδες διδακτικής μεθοδολογίας, υπογραμμίζουν ότι οι διδακτικές διεργασίες στην ομάδα αυτή εμπεριέχουν στοιχεία που υπερτερούν έναντι των άλλων.

Σε ερευνητικές εργασίες (Jackman et al. 1987, Francisco et al. 1998, κ.ά.) που έχουν εφαρμοστεί πολλαπλές διδακτικές μέθοδοι για να διδάξουν ένα αντικείμενο και στη συνέχεια αυτές συγκρίνονται για να διερευνηθεί πια είναι η αποτελεσματικότερη, στην αρχή της διαδικασίας γίνεται ένα προ-τεστ (pro-test) για το σύνολο των υποκειμένων της έρευνας. Το προ-τεστ έχει στόχο να διαπιστώσει τι οι μαθητές γνωρίζουν σε σχέση με το αντικείμενο που πρόκειται να διδαχθούν και ποιες είναι οι προϋπάρχουσες γνώσεις τους. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας η επίδοση σε ένα άλλο τεστ, μετα-τεστ (post-test), στο σύνολο των υποκειμένων, που πήραν μέρος στις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους, συγκρίνεται με το προ-τεστ για να διαπιστωθεί η



σημαντικότητα της μάθησης που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Στη δική μας περίπτωση η επίδοση της «ομάδας ελέγχου» μπορούμε να ισχυριστούμε ότι παίζει το ρόλο του προ-τεστ. Οι φοιτητές της ομάδας αυτής είχαν παρακολουθήσει τη διδασκαλία των θεμελιωδών εννοιών που σχετίζονται με την αέρια κατάσταση (παρέμβαση Α), καθόσον είχε μεσολαβήσει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, περίπου εννιά μηνών από την τελευταία τους έκθεση σε μάθημα φυσικών επιστημών. Ο χρόνος αυτός μετρήθηκε από την αποφοίτησή τους από το λύκειο μέχρι την έναρξη της διδακτικής παρέμβασης Α.

Από τη σύγκριση της επίδοσης στο σύνολο των θεμάτων κάθε ομάδας διδακτικής μεθόδου με την επίδοση της «ομάδα ελέγχου» προέκυψε ότι η διαφορά τους είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 1% (Πίνακας 10.23). Συνεπώς και η μέση επίδοση των τριών ομάδων, των τριών διδακτικών μεθόδων, ως σύνολο διαφέρει σημαντικά της μέσης επίδοσης της «ομάδας ελέγχου».

**Πίνακας 10.23** Σύγκριση των μέσων επιδόσεων των ομάδων [Μ(Π), Μ(ΕΠ), Μ(Σ), Μ(ΕΛ) η μέση επίδοση των προερχομένων από την ομάδα πειραμάτων, επίδειξης, συμβατική και ελέγχου αντίστοιχα] στα επιμέρους θέματα και στο σύνολο των θεμάτων.

Θέμα	Σύγκριση μέσων επιδόσεων – Κριτήριο - Επίπεδο σημαντικότητας			
	Tukey (1%)	L.S.D (1%) ή Tukey (5%)	L.S.D (5%)	L.S.D (10%)
1	-	M(Π)-M(ΕΛ)*		
2	-	-	-	-
3	M(Π)-M(ΕΛ)	M(Π)-M(Σ)	M(Π)-M(ΕΠ)	
4	-	M(Π)-M(ΕΛ)	M(Π)-M(Σ)	M(Π)-M(ΕΠ)
5	M(Π)-M(ΕΛ) M(ΕΠ)-M(ΕΛ)		M(Σ)-M(ΕΛ)	
6	M(Π)-M(ΕΛ)	M(Σ)-M(ΕΛ)	M(ΕΠ)-M(ΕΛ)	
7	-	-	M(Σ)-M(ΕΛ)	-
Στο σύνολο των θεμάτων	M(Π)-M(ΕΛ) M(ΕΠ)-M(ΕΛ)	M(Σ)-M(ΕΛ)		M(Π)-M(Σ) M(Π)-M(ΕΠ)

\*Η μέση επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει στατιστικά σε επίπεδο σημαντικότητας 1% από τη μέση επίδοση της «ομάδας ελέγχου».

Τέλος, κατά τη σύγκριση των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων η «ομάδα πειραμάτων» παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 10% (κριτήριο L.S.D.), έναντι της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας». Αυτό είναι ένα ενδιαφέρον στοιχείο. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση της έρευνας μας ότι οι αφηρημένες έννοιες που σχετίζονται με την κατανόηση της αέριας κατάστασης μπορούν να γίνουν πιο προσιτές με τη βοήθεια πειραμάτων, στο πλαίσιο της

συνεργατικής μάθησης. Αν και η στατιστική εκτίμηση των διαφορών σε επίπεδο σημαντικότητας 10% έχει μικρή αξία τη σημειώνουμε επειδή υπογραμμίζει την τάση της «ομάδας πειραμάτων» να επιτυγχάνει υψηλότερη επίδοση σε σχέση με τις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους που εφαρμόσαμε. Ας σημειωθεί δε ότι η επίδοση της «ομάδας επίδειξης» και «της ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» δεν διαφέρουν στατιστικά.

### 10.9 Σύγκριση των επιδόσεων στο σύνολο των θεμάτων για τα ισοσταθμισμένα δείγματα σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν

Οι χαρακτηριστικές περιγραφικές τιμών των ισοσταθμισμένων δειγμάτων, όπως αυτά διαμορφώθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 5 (5.7) περιγράφεται στον πίνακα 10.24. Στον πίνακα αυτό για λόγους σύγκρισης αναφέρονται και οι χαρακτηριστικές τιμές των πραγματικών δειγμάτων. Η διαφορά μεταξύ των τιμών των δύο δειγμάτων είναι η ελαφρά μείωση της μέσης τιμής επίδοσης (κατά δύο δέκατα της μονάδας) της «ομάδας πειραμάτων».

Πίνακας 10.24 Συγκεντρωτικός πίνακας επιδόσεων (άριστα το 10) [μέση τιμή και τυπική απόκλιση] των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων.

Ομάδα	Πειραμάτων	Επίδειξης	Συμβατικής	Ελέγχου	Στο σύνολο των ομάδων
Μέση επίδοση στο σύνολο των θεμάτων (τυπική απόκλιση) Στις πραγματικές ομάδες	(N=43) 3,5 (1,1)	(N=37) 3,0 (1,0)	(N=32) 3,0 (1,2)	(N=39) 2,3 (0,8)	(N=151) 3,0 (1,1)
Μέση επίδοση στο σύνολο των θεμάτων (τυπική απόκλιση) Στις ισοσταθμισμένες ομάδες	(N=36) 3,3 (0,9)	(N=34) 3,0 (1,0)	(N=31) 3,0 (1,2)	(N=37) 2,4 (0,8)	(N=138) 2,9 (1,0)
Μέγιστη /ελάχιστη επίδοση στο σύνολο των θεμάτων Στις πραγματικές ομάδες	6,1 1,1	5,9 1,3	5,7 0,8	3,9 0,8	6,1 0,8
Μέγιστη /ελάχιστη επίδοση στο σύνολο των θεμάτων Στις ισοσταθμισμένες ομάδες	5,1 1,1	5,9 1,3	5,7 0,8	3,9 0,8	5,9 0,8



Στις ισοσταθμισμένες ομάδες  $W=2,091$ ,  $W < F_{3, 134, 5\%} = 2,67$ , οι διακυμάνσεις δεν διαφέρουν, οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης υπολογίστηκε η τιμή  $F=6,279$  ( $F > F_{3, 134, 1\%} = 3,91$ ) (Πίνακας 10.25). Δύο τουλάχιστον από τις μέσες τιμές διαφέρουν.

Εξετάζοντας τις διαφορές των μέσων επιδόσεων των ομάδων σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προέκυψε ο πίνακας 10.26. Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey), η μέση διαφορά των δύο ομάδων προσεγγίζει την μια μονάδα. Η επίδοση δε των δύο άλλων ομάδων, «ομάδα επίδειξης» και «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει (οι μέσες διαφορές των ομάδων είναι λίγο παραπάνω από τη μισή μονάδα) από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey). Αυτό μπορεί να δηλώνει ότι η διδακτική μέθοδος λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων εμπεριέχει περισσότερα ποιοτικά στοιχεία από τις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους.

Πίνακας 10.25 Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	18,214	3	6,071		
Μέσα στις ομάδες	129,577	134	0,967	6,279	0,001
Στο σύνολο των ομάδων	147,791	137			

Πίνακας 10.26 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων (για τα ισοσταθμισμένα δείγματα)

Κριτήριο	Ομάδα -	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,342	0,235	-0,390	1,074
		3	0,322	0,241	-0,428	1,072
		4	0,974*	0,230	0,257	1,691
	2	3	-0,019	0,244	-0,780	0,741
		4	0,632**	0,234	-0,095	1,356
		3	0,652**	0,239	-0,094	1,397

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05 (κριτήριο Tukey) ή 1% με το κριτήριο LSD

Η εξέταση της σημαντικότητας των διαφορών σε επίπεδο 10% με το κριτήριο Tukey και σε επίπεδο 5% και 10% με το κριτήριο LSD για τις ισοσταθμισμένες διδακτικές ομάδες, δεν δίνει επιπλέον στατιστικά σημαντικές διαφορές κάτι που συμβαίνει με το πραγματικό δείγμα, πιθανώς λόγω της σύγκλισης των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων και της μείωσης του μεγέθους τους. Από τη στατιστική μελέτη των δύο δειγμάτων (πραγματικά και ισοσταθμισμένα) δεν προέκυψαν ουσιώδεις διαφορές στις επιδόσεις των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων.

#### 10.10 Σύγκριση των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση (για τα πραγματικά δείγματα)

Εξετάζοντας λεπτομερέστερα τις επιδόσεις των φοιτητών στο σύνολο των θεμάτων, βρήκαμε τα ποσοστά των φοιτητών ανά βαθμολογική περιοχή και ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου (Πίνακας 10.27). Ας θεωρήσουμε, στο πλαίσιο των βαθμολογιών που παρουσίασαν οι ομάδες, ως καλή την επίδοση των φοιτητών που έφεραν επίδοση μεγαλύτερη και ίση των 4,5 μονάδων και χαμηλή την επίδοση κάτω των 4,5 μονάδων, έτσι τα ποσοστά επιδόσεων χωρίστηκαν σε δύο περιοχές (διπαραγοντική ομάδα). Το κατάλληλο κριτήριο για την αξιολόγηση της διαφοράς ποσοστιαίων αναλογιών διπαραγοντικών ομάδων, όπου η μία τουλάχιστον από τις δύο διαστάσεις έχει περισσότερες από δύο κατηγορίες (διδακτικές μέθοδοι), είναι το  $\chi^2$  (chi-square).

Πίνακας 10.27 Ανάλυση των επιδόσεων των φοιτητών στο σύνολο των θεμάτων ανά βαθμολογική περιοχή και ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου.

Περιοχή βαθμολογίας Ομάδα	0 ≤ ε < 2,5	2,5 ≤ ε < 3,5	3,5 ≤ ε < 4,5	4,5 ≤ ε < 5,5	ε ≥ 5,5
	Ποσοστό % των φοιτητών				
Πειραμάτων (N=43)	11,6	34,9	37,2	13,9	2,3
Επίδειξης (N=37)	29,7	40,5	21,6	5,4	2,7
Συμβατικής (N=32)	28,1	40,6	25,0	3,1	3,1
Ελέγχου (N=39)	53,8	41,0	5,1	0,0	0,0
Στο σύνολο των ομάδων (N=151)	30,5	39,1	22,5	6,0	1,9

Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) θεωρεί ότι οι λόγοι των ποσοστιαίων αναλογιών των τριών πρώτων σειρών του παραπάνω πίνακα είναι ίσοι μεταξύ τους. Δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των λόγων των μετρούμενων (παρατηρηθεισών) ποσοστών και των λόγων των θεωρητικών ή των αναμενόμενων ποσοστών. Δηλαδή δεν υπάρχει διαφορά (συνάφεια) στη διδακτική μέθοδο διδασκαλίας που παρακολούθησε κάθε ομάδα και στη ποιοτική διμεταβλητή καλή/χαμηλή επίδοση στα θέματα εξέτασης. Η εναλλακτική υπόθεση ( $H_1$ ) διατυπώνεται ανάλογα. Ο πίνακας 10.28 που συνοψίζει τις μετρούμενες και αναμενόμενες τιμές (crosstabulation table) για την παραπάνω διμεταβλητή.



Η ομάδα ελέγχου δεν συμπεριελήφθηκε στον πίνακα 10.28, επειδή κανένας φοιτητής δεν είχε καλή επίδοση. Στον παραπάνω πίνακα κανένα κελί δεν έχει αναμενόμενη τιμή μικρότερη από 5. Η ελάχιστη αναμενόμενη τιμή είναι 10,0. Η τιμή του συντελεστή  $\chi^2$  (Pearson Chi-Square) υπολογίστηκε ίση με 6,222 με βαθμούς ελευθερίας 2 [d.f.=2, d.f.=(αριθ. σειρών-1).(αριθ. στηλών-1)=(3-1).(2-1)].

**Πίνακας 10.28** Παρατηρηθείσες και αναμενόμενες ποσοστιαίες αναλογίες φοιτητών με καλή / χαμηλή επίδοση για τις τρεις διδακτικές μεθόδους.

Ομάδα	Συχνότητες	Επίδοση		
		Καλή $\geq 4,5$	Χαμηλή $< 4,5$	Σύνολο
Πειραμάτων (N=43)	Παρατηρηθείσες	16,0	84,0	100,0
	Αναμενόμενες	10,0	90,0	100,0
Επίδειξης (N=37)	Παρατηρηθείσες	8,0	92,0	100,0
	Αναμενόμενες	10,0	90,0	100,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Παρατηρηθείσες	6,0	94,0	100,0
	Αναμενόμενες	10,0	90,0	100,0
Σύνολο (N=112)	Παρατηρηθείσες	30,0	270,0	300,0
	Αναμενόμενες	30,0	270,0	300,0

Από τον πίνακα πιθανοτήτων της κατανομής  $\chi^2$ , η κρίσιμη τιμή για επίπεδο σημαντικότητας 5% και για βαθμούς ελευθερίας 2 είναι 5,99. Συνεπώς δεχόμαστε την εναλλακτική υπόθεση, μεταξύ καλών και χαμηλών επιδόσεων, σε σχέση με τις ομάδες διαφορετικής διδακτικής μεθόδου υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ( $\chi^2=6,222$ , d.f.=2,  $p<0,05$ ). Η διαφορά ανάμεσα στα παρατηρούμενα ποσοστά φοιτητών με καλή / χαμηλή επίδοση και τα ποσοστά που θα βρίσκαμε, αν και στις τρεις ομάδες εφαρμόζαμε την ίδια διδακτική μέθοδο (αναμενόμενα ποσοστά) είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 5%. Αποφαινόμαστε ότι και οι τρεις διδακτικές μέθοδοι για τη διδασκαλία βασικών εννοιών και την επίλυση προβλημάτων, που αναφέρονται στην αέρια κατάσταση, δεν έχουν τον ίδιο βαθμό αποτελεσματικότητας. Η «ομάδα πειραμάτων» είναι αποτελεσματικότερη, καθόσον ο λόγος των παρατηρηθεισών συχνοτήτων είναι μεγαλύτερος από το λόγο των αναμενόμενων.

### 10.11 Σύγκριση των επιδόσεων των ομάδων στο σύνολο των θεμάτων ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση για τα ισοσταθμισμένα δείγματα

Επαναλάβαμε την ίδια διαδικασία όπως στην προηγούμενη ενότητα για τα ισοσταθμισμένα δείγματα. Από τη σύγκριση του πίνακα 10.28 με τον 10.29 που αναφέρεται στο πραγματικό δείγμα προκύπτει μια μείωση της παρατηρούμενης συχνότητας των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» που έχουν «καλή» επίδοση.



Η υπολογισθείσα τιμή είναι ίση με 1,600 και οι βαθμοί ελευθερίας είναι 2 ( $\chi^2=1,600$ , d.f.=2). Η κρίσιμη του  $\chi^2$  για δύο βαθμούς ελευθερίας και για επίπεδο σημαντικότητας 5% είναι 5,99, συνεπώς δεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση. Μεταξύ της

**Πίνακας 10.29** Παρατηρηθείσες και αναμενόμενες ποσοστιαίες αναλογίες φοιτητών με καλή / χαμηλή επίδοση για τις τρεις διδακτικές μεθόδους.

Ομάδα	Συχνότητες	Επίδοση		
		Καλή $\geq 4,5$	Χαμηλή $< 4,5$	Σύνολο
Πειραμάτων (N=36)	Παρατηρηθείσες	11,0	89,0	100
	Αναμενόμενες	8,7	91,3	100,0
Επίδειξης (N=34)	Παρατηρηθείσες	9,0	91,0	100,0
	Αναμενόμενες	8,7	91,3	100,0
Συμβατικής διδασκαλίας (N=31)	Παρατηρηθείσες	6,0	94,0	100,0
	Αναμενόμενες	8,7	91,3	100,0
Σύνολο (N=101)	Παρατηρηθείσες	26	274	300
	Αναμενόμενες	26	274,0	300,0

διμεταβλητής καλή/χαμηλή επίδοση και της διδακτικής μεθόδου δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ( $\chi^2=1,600$ , d.f.=2,  $p>0,005$ ). Η διδακτική μέθοδος στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων δειγμάτων δε διαφοροποίησε τις επιδόσεις των φοιτητών ως προς το διαχωρισμό τους σε «υψηλόβαθμους» και «χαμηλόβαθμους», σε αντίθεση με την περίπτωση του πραγματικού δείγματος, όπου η αναλογία μεταξύ φοιτητών με καλή / χαμηλή επίδοση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 5%. Η παραπάνω διαφοροποίηση μεταξύ των πραγματικών και ισοσταθμισμένων δειγμάτων οφείλεται στο ότι τα πηλικά των τετραγώνων της διαφοράς ανάμεσα στην παρατηρηθείσα και στη θεωρητική συχνότητα δια της θεωρητικής συχνότητας σε όλα τα κελιά διπλής ταξινόμησης (Πίνακας 10.29) στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων δειγμάτων δίνουν μικρότερες τιμές. Και αυτό μπορεί να αποδοθεί κυρίως στο ότι οι διαφορές μεταξύ παρατηρηθεισών (πραγματικών) και αναμενόμενων τιμών (θεωρητικών) τιμών είναι μικρότερες.

#### 10.12 Ποιες κατηγορίες φοιτητών σε σχέση με το επίπεδο επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) ωφελήθηκαν περισσότερο από κάθε διδακτική μέθοδο (για τα πραγματικά δείγματα)

Στην προηγούμενη ενότητα εξετάσαμε την επίδραση των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση. Η διδακτική εμπειρία καθώς και η έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών συγκλίνουν στην εκτίμηση ότι οι μαθητές / φοιτητές με υψηλές επιδόσεις καθώς και αυτοί με χαμηλές επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους. Συνεπώς το ενδιαφέρον της διδακτικής εστιάζεται κυρίως στην περίπτωση των μαθητών / φοιτητών που αποτελούν το 68,3% (κεντρική περιοχή) στην κανονική κατανομή επίδοσης (κατανομή Gauss) ενός



πληθυσμού. Τα δύο άκρα της κατανομής, φοιτητές με υψηλή και χαμηλή επίδοση περιλαμβάνουν το καθένα το 15,8% του πληθυσμού.

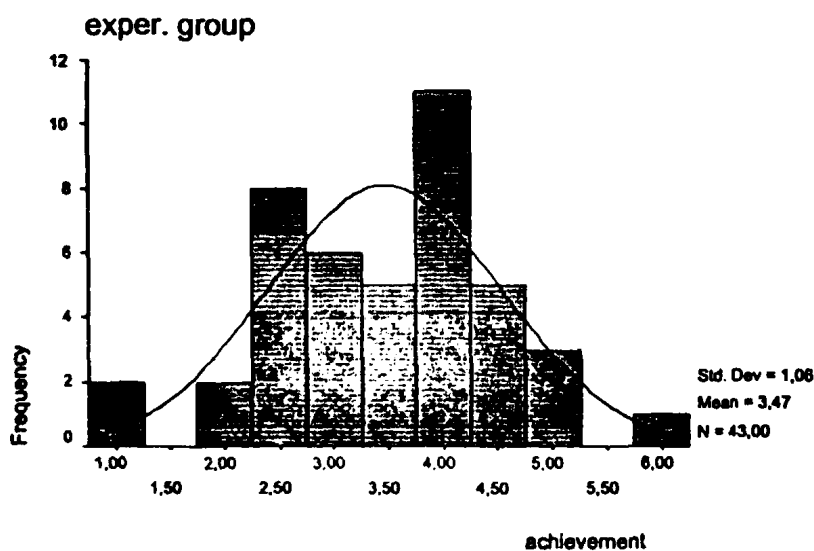
Για το σκοπό αυτό η επίδοση των φοιτητών στο σύνολο των θεμάτων εξέτασης για κάθε ομάδα χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετήθηκαν οι φοιτητές που είχαν επίδοση μεγαλύτερη και ίση της μέσης επίδοσης της ομάδας συν μια τυπική απόκλιση. Την επίδοση αυτή χαρακτηρίζουμε ως καλή. Τη δεύτερη κατηγορία αποτέλεσαν οι φοιτητές που παρουσίασαν επίδοση στο διάστημα μεταξύ μιας τυπικής απόκλισης άνω και μιας τυπικής απόκλισης κάτω από τη μέση τιμή επίδοσης της ομάδας. Την επίδοση αυτή χαρακτηρίζουμε ως μέτρια. Και τέλος την τρίτη κατηγορία, την οποία χαρακτηρίζουμε ως χαμηλή, αποτέλεσαν οι φοιτητές που είχαν επίδοση μικρότερη και ίση της μέσης τιμής μείον μια τυπική απόκλιση. Με τον παραπάνω τρόπο για κάθε ομάδα διδακτικής μεθόδου προέκυψαν τρεις κατηγορίες φοιτητών.

Στην «ομάδα πειραμάτων», όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα 10.30 και το διάγραμμα 10.17, το 16,3% των φοιτητών παρουσιάζει καλή επίδοση, το 69,7% μέτρια και το 13,9% χαμηλή.

**Πίνακας 10.30** Χαρακτηριστικές τιμές επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» (N=43) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης

Επίδοση	Ποσοστό %	Μ.Τ. (Τ. Α.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	16,3	5,0 (0,5)	6,1	4,6
Μέτρια	69,7	3,4 (0,6)	3,9	2,0
Χαμηλή	13,9	1,8 (0,6)	2,4	1,1
Σύνολο	99,9	3,5 (1,1)	6,1	1,1

**Διάγραμμα 10.17** Ιστογράμμο συχνότητας των επιδόσεων των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» με προσαρμογή της κανονικής κατανομής.





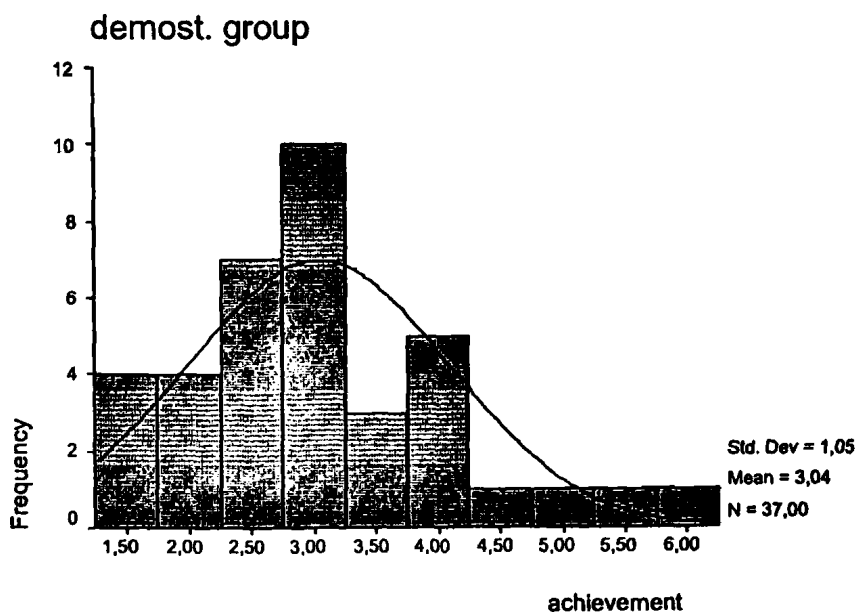
Η κατανομή βαθμολογίας της ομάδας αυτής μπορεί να θεωρηθεί με πολύ καλή προσέγγιση ως συμμετρική κωδωνοειδής, αφού το 69,7% των βαθμολογιών βρίσκονται μεταξύ της περιοχής, μια τυπική απόκλιση άνω και μια τυπική απόκλιση κάτω της μέσης τιμής (στην κατανομή Gauss στην περιοχή αυτή συμπεριλαμβάνεται το 68,3% των τιμών). Ο συντελεστής κύρτωσης (Kurtosis) της κατανομής έχει τιμή 0,07 (στην κανονική κατανομή ο δείκτης κύρτωσης έχει τιμή μηδέν). Επιπλέον ο δείκτης λοξότητας (skewness) έχει τιμή -0,093. Η κατανομή είναι ελαφρά ασύμμετρη δεξιά, γεγονός που δηλώνει ότι η πλειονότητα των φοιτητών έχει μέτρια και καλή επίδοση.

Από την επίδοση της «ομάδας επίδειξης» προέκυψε ότι το 16,2% των φοιτητών είχαν καλή επίδοση, το 70,3% μέτρια και το 13,5% χαμηλή (Πίνακας 10.31, Διάγραμμα 10.18).

**Πίνακας 10.31** Χαρακτηριστικές τιμές επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας επίδειξης» (N=37) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	Μ.Τ. (Τ. Α.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	16,2	4,8 (0,7)	5,9	4,1
Μέτρια	70,3	2,9 (0,5)	3,9	2,0
Χαμηλή	13,5	1,5 (0,2)	1,9	1,3
Σύνολο	100,0	3,0 (1,0)	5,9	1,3

**Διάγραμμα 10.18** Ιστόγραμμα συχνότητας των επιδόσεων των φοιτητών της «ομάδας επίδειξης» με προσαρμογή της κανονικής κατανομής.



Η κατανομή βαθμολογίας της ομάδας αυτής επίσης μπορεί να θεωρηθεί με καλή προσέγγιση ως συμμετρική κωδωνοειδής, αφού το 70,3% των βαθμολογιών βρίσκονται



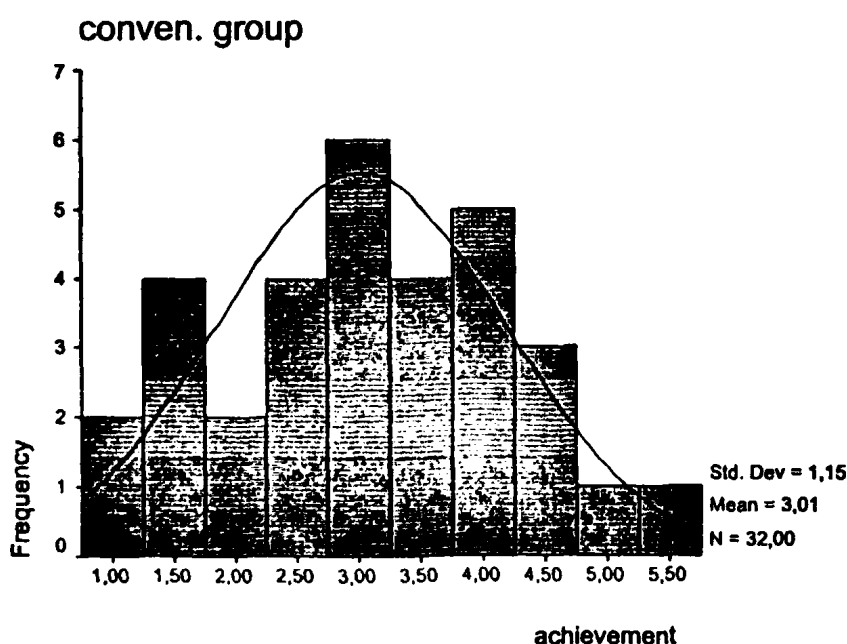
μεταξύ της περιοχής, μια τυπική απόκλιση άνω και μια τυπική απόκλιση κάτω της μέσης τιμής. Ο συντελεστής κύρτωσης έχει θετική τιμή 0,542, η κατανομή είναι οξύκυρτη. Επιπλέον ο δείκτης λοξότητας έχει θετική τιμή 0,641. Η κατανομή είναι ασύμμετρη αριστερά, γεγονός που δηλώνει ότι η πλειονότητα των φοιτητών έχει μέτρια και χαμηλή επίδοση.

Στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» το 59,4% των επιδόσεων βρίσκεται σε μια περιοχή, μια τυπική απόκλιση άνω και μια τυπική απόκλιση κάτω της μέσης τιμής επίδοσης της ομάδας. Το 18,7% των επιδόσεων είναι μεγαλύτερο και ίσο της μέσης τιμής συν μια τυπική απόκλιση και το 21,9% είναι μικρότερο της τυπικής απόκλισης μείον μια τυπική απόκλιση (Πίνακας 10.32, Διάγραμμα 10.19).

**Πίνακας 10.32** Χαρακτηριστικές τιμές της επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» (N=32) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	Μ.Τ. (Τ. Α.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	18,7	4,6 (0,6)	5,7	4,2
Μέτρια	59,4	3,1 (0,6)	3,9	2,1
Χαμηλή	21,9	1,4 (0,4)	1,7	0,8
Σύνολο	100,0	3,0 (1,1)	5,7	0,8

**Διάγραμμα 10.19** Ιστόγραμμα συχνότητας των επιδόσεων των φοιτητών της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» με προσαρμογή της κανονικής κατανομής.



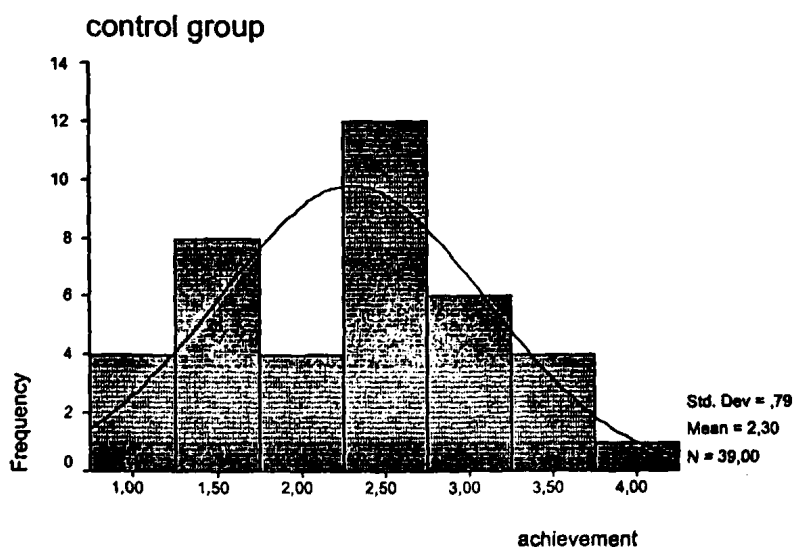
Η κατανομή βαθμολογίας της ομάδας αυτής μπορεί να θεωρηθεί με καλή προσέγγιση ως συμμετρική κωδωνοειδής. Ο συντελεστής κύρτωσης έχει αρνητική τιμή - 0,259, η κατανομή είναι ελαφρά πλατύκυρτη. Επιπλέον ο δείκτης λοξότητας έχει θετική τιμή 0,074. Η κατανομή είναι ελαφρά ασύμμετρη προς τα αριστερά, γεγονός που δηλώνει ότι παρουσιάζει ουρά προς τα δεξιά και ως προς την επίδοση αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των φοιτητών έχει μέτρια και χαμηλή επίδοση.

Τέλος η «ομάδα ελέγχου» παρουσιάζει μια κατανομή βαθμολογιών παρόμοια με αυτή της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας». Το 59,0% των επιδόσεων βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ μιας τυπικής απόκλισης άνω και μιας τυπικής απόκλισης κάτω της μέσης τιμής. Το 20,5% παρουσιάζει επίδοση μεγαλύτερη και ίση της μέσης τιμής συν μια τυπική απόκλιση και το 20,5% μικρότερη και ίση της μέσης τιμής μείον μια τυπική απόκλιση (Πίνακας 10.33, Διάγραμμα 10.20).

**Πίνακας 10.33** Χαρακτηριστικές τιμές της επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας ελέγχου» (N=39) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	Μ.Τ. (Τ. Α.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	20,5	3,4 (0,3)	3,9	3,1
Μέτρια	59,0	2,3 (0,4)	2,9	1,6
Χαμηλή	20,5	1,2 (0,2)	1,4	0,8
Σύνολο	100,0	2,3 (0,8)	3,9	0,8

**Διάγραμμα 10.20** Ιστόγραμμα συχνότητας των επιδόσεων των φοιτητών της «ομάδας ελέγχου» με προσαρμογή της κανονικής κατανομής.



Η κατανομή βαθμολογίας της ομάδας αυτής μπορεί να θεωρηθεί με καλή προσέγγιση ως συμμετρική κωδωνοειδής. Ο συντελεστής κύρτωσης έχει αρνητική τιμή -



0,771. Η κατανομή είναι αρκετά πλατύκυρτη με κοντές ουρές. Επιπλέον ο δείκτης λοξότητας έχει αρνητική τιμή  $-0,023$ . Η κατανομή έχει ελαφρά ασυμμετρία προς τα δεξιά, γεγονός που δηλώνει ότι παρουσιάζει ουρά προς τα αριστερά και αυτό ως προς την επίδοση σημαίνει ότι η πλειονότητα των φοιτητών έχει μέτρια και υψηλή επίδοση στην περιοχή επίδοσης της ομάδας.

Ας σημειωθεί ότι καθώς κινούμαστε από την «ομάδα πειραμάτων» προς την «ομάδα ελέγχου» έχουμε μια μείωση της μέσης τιμής επίδοσης (από 3,5 σε 2,3 μονάδες) και επιπλέον μια ελάττωση του ποσοστού των μέσων επιδόσεων (από 69,7% σε 59,0%), περίπου κατά 11 ποσοστιαίες μονάδες. Οι μονάδες αυτές εμφανίζονται ως μοιρασμένη αύξηση στις περιοχές με υψηλή και χαμηλή επίδοση στα άκρα των κατανομών βαθμολογίας. Οι φοιτητές που παρακολούθησαν τις δύο πρώτες διδακτικές μεθόδους εμφανίζουν κατανομή επιδόσεων που είναι κανονική οξύκυρτη, ενώ οι φοιτητές των δύο τελευταίων ομάδων εμφανίζουν κατανομή που είναι κανονική πλατύκυρτη.

Για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης θεωρήσαμε ως εξαρτημένη μεταβλητή τις επιδόσεις των φοιτητών της ίδιας κατηγορίας (καλή, μέτρια, χαμηλή επίδοση) σε κάθε μια από τις τέσσερις ομάδες και ως ανεξάρτητη μεταβλητή τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Για την περίπτωση της κατηγορίας των φοιτητών με καλή επίδοση (Διάγραμμα 10.21) η στατιστική μέθοδος των πολλαπλών συγκρίσεων (ANOVA) έδωσε τιμή του δείκτη  $W=1,827$ , με τρεις βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή (αριθμός διδακτικών μεθόδων - 1) και 23 στον παρονομαστή (συνολικός αριθμός φοιτητών κατηγορίας - 4). Από τους πίνακες των κρίσιμων τιμών της κατανομής  $F$  προκύπτει ότι:  $W < F_{3, 23, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ . Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών που έχουν καλή επίδοση είναι ομοιογενείς. Επιπλέον από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F=13,372$ . Η τιμή αυτή είναι  $F > F_{3, 23, 0,01}$ , άρα δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Από τη σύγκριση ανά δύο των μέσων τιμών των δειγμάτων σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προέκυψε ο πίνακας 10.34.

**Πίνακας 10.34** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν καλή επίδοση.

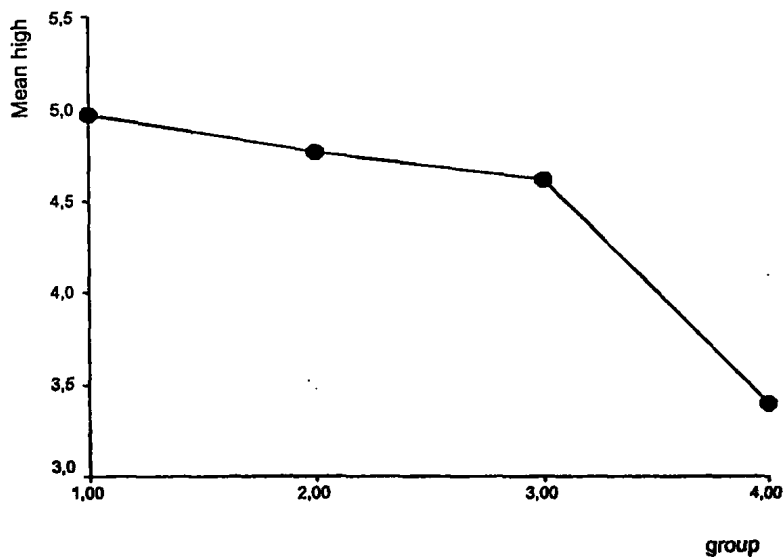
Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,205	0,296	-0,828	1,237
		3	0,355	0,296	-0,678	1,387
		4	1,571*	0,275	0,611	2,532
	2	3	0,150	0,307	-0,921	1,221
		4	1,367*	0,287	0,364	2,367
		3	4	1,217*	0,287	0,214

\*Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

1, 2, 3, 4 οι ομάδες πειραμάτων, επίδειξης, συμβατικής και ελέγχου αντίστοιχα.

Οι διαφορές των επιδόσεων των φοιτητών με καλή επίδοση που παρακολούθησαν διαφορετικές διδακτικές μεθόδους δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι φοιτητές αυτοί που αποτελούν το 17,0% των φοιτητών στο σύνολο των τριών διδακτικών ομάδων (N=112) δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την επίδοσή τους στην τελική εξέταση. Γι'αυτούς οι τρεις διδακτικές μέθοδοι είχαν ίση διδακτική αξία. Η στατιστικά σημαντική διαφορά κάθε ομάδας σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» απλώς επιβεβαιώνει ότι κατά τη διδασκαλία κάθε μεθόδου έλαβε χώρα μάθηση σε σχέση με τις έννοιες που διδάχθηκαν.

**Διάγραμμα 10.21** Οι μέσες επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με καλή επίδοση.



Ανάλογα για τη σύγκριση των φοιτητών που παρουσίασαν μέση επίδοση, η τιμή του δείκτη W υπολογίστηκε ίση με 3,488 και οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W < F_{3, 94, 0,01}, p < 0,01$ ). Οι διακυμάνσεις των επιδόσεων δεν διαφέρουν. Η τιμή του δείκτη F υπολογίστηκε ίση με 19,176, δύο τουλάχιστον από τις συνεξεταζόμενες μέσες τιμές διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο 1% ( $F > F_{3, 94, 0,01}, p < 0,01$ ). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των μέσων τιμών των δειγμάτων σε όλους τους δυνατούς τρόπους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 10.35.

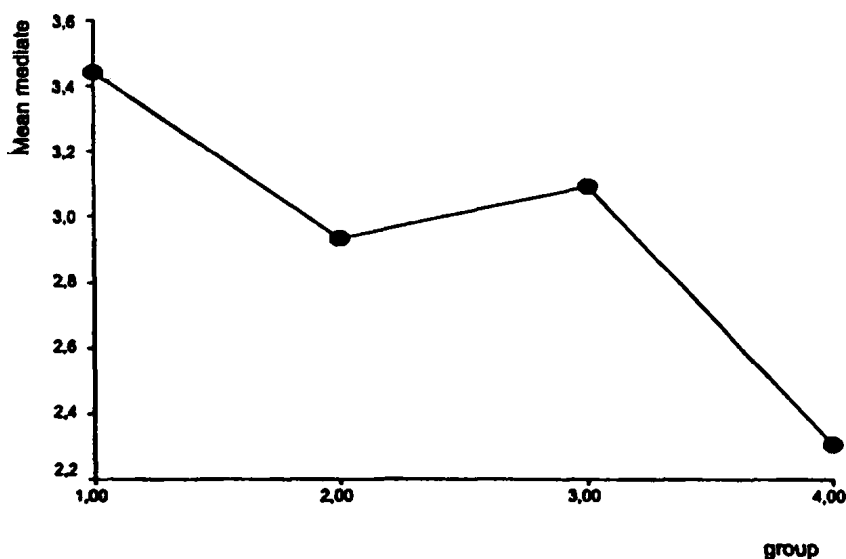
Οι διαφορές των επιδόσεων των φοιτητών με μέτρια επίδοση, που αποτελούν ποσοστό 67% στο συνολικό δείγμα των φοιτητών (N=112) που πήραν μέρος στις τρεις διδακτικές μεθόδους, παρουσιάζουν ενδιαφέροντα στοιχεία.

Πίνακας 10.35 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με μέτρια επίδοση.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,513*	0,146	0,045	0,979
		3	0,354	0,160	-0,157	0,865
		4	1,135*	0,151	0,651	1,618
	2	3	-0,159	0,165	-0,685	0,367
		4	0,622*	0,156	0,123	1,121
	3	4	0,780*	0,169	0,240	1,321
* Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01						
Κριτήριο	1	3**	0,354	0,160	95% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
LSD					0,036	0,671
** Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05						

Η «ομάδα πειραμάτων» παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της «ομάδας επίδειξης» σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey) και επίσης στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD). Οι επιδόσεις της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» και της «ομάδας επίδειξης» δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ούτε σε επίπεδο 10% (κριτήριο LSD).

Διάγραμμα 10.22 Οι μέσες επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με μέτρια επίδοση.



Από τα παραπάνω μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η μέθοδος διδασκαλίας λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων είχε ευεργετικότερη επίδραση στη μάθηση από τις άλλες δύο διδακτικές μεθόδους. Επιπλέον δε η διδασκαλία με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης και με συμβατική διδασκαλία είναι ισοδύναμες, για την κατηγορία των φοιτητών με μέση επίδοση. Η διαφορά κατά 0,2 που παρουσιάζει η μέση επίδοση των φοιτητών που διδάχτηκαν με συμβατική διδασκαλία σε σχέση μ' αυτούς της «ομάδας επίδειξης» δεν οφείλεται στη διαφορετική διδακτική μέθοδο (συστηματικός παράγοντας) αλλά μπορεί να θεωρηθεί συνήθης στα τυχαία δείγματα.

Τέλος για τη σύγκριση των επιδόσεων των φοιτητών που παρουσίασαν χαμηλή επίδοση, η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι: Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται οι ομάδες είναι ομοιογενείς ( $W=4,239$ ,  $W < F_{3, 22, 0,01}$ ,  $p < 0,01$ ). Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η τιμή του κριτηρίου F από τον πίνακα της ανάλυσης διακύμανσης υπολογίστηκε ίση με 3,692 ( $F > F_{3, 22, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Οι φοιτητές που παρουσίασαν χαμηλή επίδοση αποτελούν το 16% στο σύνολο των φοιτητών που παρακολούθησαν τις τρεις διδακτικές μεθόδους. Τα αποτελέσματα των δυαδικών συγκρίσεων συνοψίζονται στον πίνακα 10.36.

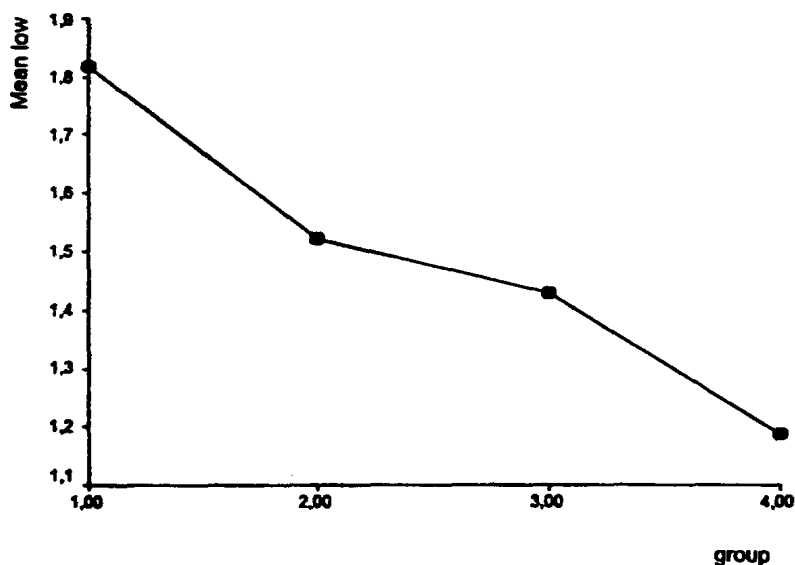
**Πίνακας 10.36.** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν χαμηλή επίδοση.

Κριτήριο Tukey	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
	1	4	0,629*	0,202	0,069	1,189
* Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05						
Κριτήριο LSD	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
	1	2	0,217	0,216	-0,230	0,664
		3	0,467**	0,216	0,019	0,914
	2	3	0,250	0,216	-0,197	0,697
		4	0,412	0,202	-0,006	0,830
3	4	0,162	0,202	-0,256	0,581	
** Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05						
Κριτήριο LSD	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	90% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
	2	4	0,412*	0,202	0,066	0,759
* Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10						



Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι και οι φοιτητές με χαμηλή επίδοση επηρεάζονται από τη διδακτική μέθοδο. Αξίζει όμως να σημειώσουμε ότι οι φοιτητές που προέρχονται από την «ομάδα πειραμάτων» πλεονεκτούν στην επίδοσή τους έναντι της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% (κριτήριο Tukey) και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD). Η δε «ομάδα επίδειξης» διαφέρει σε επίπεδο 10% έναντι της «ομάδας ελέγχου». Επιπλέον, η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» δεν διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου», δηλαδή σε σχέση με εκείνους τους φοιτητές που δεν παρακολούθησαν την παρέμβαση Β.

**Διάγραμμα 10.23** Οι μέσες επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με χαμηλή επίδοση.



Από την ανακεφαλαίωση των παραπάνω συγκρίσεων μπορούμε να σημειώσουμε ότι οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» και στις τρεις κατηγορίες επίδοσης έφεραν την καλύτερη βαθμολογία. Οι φοιτητές με καλή και χαμηλή επίδοση δεν επηρεάστηκαν γενικά από τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν, αν και οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» με χαμηλή επίδοση παρουσίασαν στατιστικά καλύτερη επίδοση (σε επίπεδο 5%) από τους φοιτητές της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας». Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδοση των φοιτητών με μέτρια επίδοση, που αποτελούν το 64,9% στο σύνολο του δείγματος, που παρακολούθησαν τις τρεις διδακτικές μεθόδους και το 70,0% στο συνολικό δείγμα. Οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους σε σχέση με τους φοιτητές που παρακολούθησαν τις δύο άλλες ομάδες (επίδειξης και συμβατικής διδασκαλίας). Τα παραπάνω συμπεράσματα συνοψίζονται στον πίνακα 10.37.



**Πίνακας 10.37** Ανακεφαλαιωτική σύγκριση των τριών κατηγοριών επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) των φοιτητών σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν [Μ(Π), Μ(ΕΠ), Μ(Σ), Μ(ΕΛ) η μέση επίδοση των φοιτητών της ομάδας πειραμάτων, επίδειξης, συμβατικής και ελέγχου αντίστοιχα].

Επίδοση	Ομάδες				Σύγκριση μέσων τιμών Επίπεδο σημαντικότητας Κριτήριο
	Π (N=43)	ΕΠ (N=37)	Σ (N=32)	ΕΛ (N=39)	
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) Ποσοστό %					
Καλή	5,0	4,8	4,6	3,4	M(Π)-M(ΕΛ), p<0,01 (Tukey HSD)
	(0,5)	(0,7)	(0,6)	(0,3)	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), p<0,01 (Tukey HSD)
	16,3	16,2	18,7	20,5	M(Σ)-M(ΕΛ), p<0,01 (Tukey HSD)
Μέτρια	3,4	2,9	3,1	2,3	M(Π)-M(ΕΠ), p<0,01 (Tukey HSD)
	(0,6)	(0,5)	(0,6)	(0,4)	M(Π)-M(Σ), p<0,05 (LSD)
	69,7	70,3	59,4	59,0	M(Π)-M(ΕΛ), p<0,01 (Tukey HSD)
					M(ΕΠ)-M(ΕΛ), p<0,01 (Tukey HSD)
Χαμηλή	1,8	1,6	1,3	1,2	M(Π)-M(Σ), p<0,05 (LSD)
	(0,6)	(0,3)	(0,4)	(0,2)	M(Π)-M(ΕΛ), p<0,05 (Tukey HSD)
	13,9	13,5	21,9	20,5	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), p<0,10 (LSD)

**10.13 Ποιες κατηγορίες φοιτητών σε σχέση με το επίπεδο επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) ωφελήθηκαν περισσότερο από κάθε διδακτική μέθοδο για τα ισοσταθμισμένα δείγματα**

Κάθε μια από τις τρεις ισοσταθμισμένες ομάδες που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο καθώς και η «ομάδα ελέγχου» χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, στους φοιτητές που έφεραν καλή, μέτρια και χαμηλή επίδοση με το ίδιο κριτήριο όπως στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων. Χαρακτηριστικές τιμές επίδοσης των φοιτητών κάθε ομάδας σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες περιγράφονται στους πίνακες 10.38 έως 10.41.

**Πίνακας 10.38** Χαρακτηριστικές τιμές επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» (N=36) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης

Επίδοση	Ποσοστό %	Μ.Τ. (Τ. Α.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	22,2	4,5 (0,3)	5,1	4,2
Μέτρια	63,9	3,2 (0,5)	4,0	2,5
Χαμηλή	13,9	2,0 (0,5)	2,4	1,1
Σύνολο	100,0	3,3 (0,9)	5,1	1,1



**Πίνακας 10.39** Χαρακτηριστικές τιμές επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας επίδειξης» (N=34) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	M.T. (T. A.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	17,6	4,8 (0,7)	5,9	4,1
Μέτρια	64,7	2,9 (0,5)	3,9	2,1
Χαμηλή	17,6	1,6 (0,3)	2,0	1,3
Σύνολο	99,9	3,0 (1,0)	5,9	1,3

**Πίνακας 10.40** Χαρακτηριστικές τιμές της επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» (N=31) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	M.T. (T. A.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	19,3	4,6 (0,6)	5,7	4,2
Μέτρια	61,3	3,0 (0,6)	3,9	1,9
Χαμηλή	19,3	1,3 (0,4)	1,7	0,8
Σύνολο	99,9	3,0 (1,2)	5,7	0,8

**Πίνακας 10.41** Χαρακτηριστικές τιμές της επίδοσης των φοιτητών της «ομάδας ελέγχου» (N=37) σε σχέση με τις τρεις κατηγορίες επίδοσης.

Επίδοση	Ποσοστό %	M.T. (T. A.)	Μέγιστη επίδοση	Ελάχιστη επίδοση
Καλή	18,9	3,4 (0,3)	3,9	3,2
Μέτρια	54,0	2,5 (0,3)	3,1	2,1
Χαμηλή	27,0	1,4 (0,3)	1,6	0,8
Σύνολο	99,9	2,4 (0,8)	3,9	0,8

**Σύγκριση των επιδόσεων των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν καλή επίδοση**

Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 2,859$  με  $d.f_1 = 3$ ,  $d.f_2 = 23$  ( $W < F_{3, 23, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών, των τεσσάρων ομάδων που έχουν καλή επίδοση είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 10,144$  ( $F > F_{3, 25, 0,01}$ ), δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Από τις πολλαπλές συγκρίσεις των επιδόσεων των ομάδων που είχαν καλή επίδοση προέκυψε ότι οι φοιτητές που συμμετείχαν σε μια από τρεις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η επίδοση όμως κάθε ομάδας που συμμετείχε σε μια διδακτική μέθοδο παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την ομάδα ελέγχου (Πίνακας 10.42). Τα ίδια ζεύγη στατιστικά σημαντικών διαφορών προέκυψαν και για τα πραγματικά δείγματα.



**Πίνακας 10.42** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν καλή επίδοση.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	-0,292	0,264	-1,214	0,630
		3	-0,142	0,264	-1,064	0,780
		4	1,032*	0,253	0,149	1,916
	2	3	0,150	0,283	-0,836	1,136
		4	1,324*	0,272	0,374	2,274
		3	1,174*	0,272	0,374	2,274

\*Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

#### Σύγκριση των επιδόσεων των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με μέτρια επίδοση

Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 6,137$  με  $d.f_1 = 3$ ,  $d.f_2 = 80$  ( $W > F_{3, 80, 0,05}$ ,  $p > 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών που έχουν μέτρια επίδοση είναι ανομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 7,897$  ( $F > F_{3, 80, 0,01}$ ), δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Από τις πολλαπλές συγκρίσεις των επιδόσεων των τεσσάρων ομάδων που είχαν μέτρια επίδοση προέκυψε ότι, οι φοιτητές που συμμετείχαν σε μια από τρεις διδακτικές μεθόδους παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου», επιπλέον δε η «ομάδα πειραμάτων» παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά από την «ομάδα επίδειξης».

Η στατιστικά σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey) μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας ελέγχου» καθώς και μεταξύ της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» και της «ομάδας ελέγχου» σημειώνονται και στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων. Όμως στα πραγματικά δείγματα για τους φοιτητές μέτριας επίδοσης μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας επίδειξης» καθώς και μεταξύ της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας ελέγχου» υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey), ενώ στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων δειγμάτων αυτές οι διαφορές είναι σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD). Η ουσιαστική διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων των πραγματικών και ισοσταθμισμένων δειγμάτων είναι ότι στην πρώτη περίπτωση η «ομάδα πειραμάτων» υπερέχει στατιστικά σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD) και σε σχέση με την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» ενώ στη δεύτερη περίπτωση αυτή η διαφορά δεν σημειώθηκε.



**Πίνακας 10.43** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν μέτρια επίδοση.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,326	0,151	-0,159	0,811
		3	0,199	0,157	-0,305	0,704
		4	0,736*	0,155	0,238	1,234
	2	3	-0,126	0,159	-0,636	0,383
		4	0,410	0,156	-0,093	0,913
		3	0,536*	0,162	0,018	1,058
LSD	1	2	0,326**	0,151	0,025	0,627
	2	4	0,410**	0,156	0,099	0,721

95% διάστημα  
εμπιστοσύνης

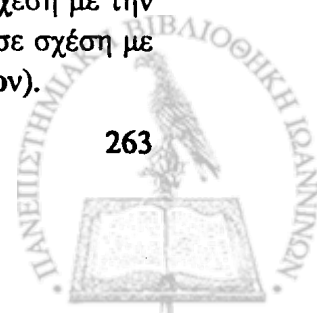
\*Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

\*\*Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

#### Συγκρίσεις των επιδόσεων των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων με χαμηλή επίδοση

Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 1,008$  ( $W < F_{3, 23, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών που έχουν χαμηλή επίδοση είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 3,860$  ( $F > F_{3, 23, 0,05}$ ), άρα δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν χαμηλή επίδοση έδωσαν τον πίνακα 10.44. Οι συγκρίσεις των ισοσταθμισμένων δειγμάτων δίνουν κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα πραγματικά δείγματα.

Στα ισοσταθμισμένα δείγματα η «ομάδα πειραμάτων» σημειώνει στατιστικά σημαντική διαφορά όχι μόνο σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» (1% κριτήριο Tukey) αλλά και σε σχέση με την «ομάδα επίδειξης» (5% κριτήριο LSD), ενώ στα πραγματικά δείγματα η «ομάδα πειραμάτων» εμφανίζει διαφορά σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» (5% κριτήριο Tukey) και με την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» (5% κριτήριο LSD). Επιπλέον στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων δειγμάτων σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ «ομάδας επίδειξης» και «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD) ενώ στη περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων η διαφορά μεταξύ των ομάδων αυτών είναι σε επίπεδο 10% (κριτήριο LSD). Τέλος στα ισοσταθμισμένα δείγματα μεταξύ της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» και της «ομάδας ελέγχου» σημειώνεται διαφορά σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey). Συμπερασματικά και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων η «ομάδα πειραμάτων» πλεονεκτεί τη μία φορά σε σχέση με την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» (στα πραγματικά δείγματα) και την άλλη σε σχέση με την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» (περίπτωση ισοσταθμισμένων δειγμάτων).



**Πίνακας 10.44** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων που είχαν χαμηλή επίδοση.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορά μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
LSD	1	2	0,360	0,211	-0,232	0,952
		3	0,610*	0,211	0,018	1,202
		4	0,590*	0,191	0,055	1,125
	2	3	0,250	0,201	-0,314	0,814
		4	0,230	0,180	-0,275	0,735
	3	4	-0,020	0,180	-0,525	0,485

\*Οι διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01 με το κριτήριο LSD ή σε επίπεδο 0,05 με το κριτήριο Tukey

#### 10.14 Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών από το λύκειο (για τα πραγματικά δείγματα)

Όπως έχουμε αναφέρει οι φοιτητές κάθε ομάδας υπήρξαν απόφοιτοι διαφορετικών κατευθύνσεων από το λύκειο. Ως εκ τούτου ως πρωτοετείς φοιτητές είχαν διαφορετική γνωστική υποδομή στις φυσικές επιστήμες. Τα ερωτήματα που τίθεται είναι: α) κατά πόσο οι επιδόσεις τους στα τεθέντα προς εξέταση θέματα επηρεάστηκαν απ' αυτό το συστηματικό παράγοντα, αν και είχαν παρέλθει εννιά μήνες από την τελευταία έκθεσή τους σε έννοιες των φυσικών επιστημών, και κυρίως β) τι επίδραση είχε σε κάθε επιμέρους ομάδα (απόφοιτοι θετικής, τεχνολογικής, θεωρητικής κατεύθυνσης) η διδακτική μέθοδος που παρακολούθησαν κατά την παρέμβαση Β.

Καταγράφοντας τις επιδόσεις των φοιτητών κάθε ομάδας σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησής τους από το λύκειο προέκυψε ο πίνακας 10.45. Από μια πρώτη εκτίμηση των επιδόσεων φαίνεται ότι οι φοιτητές που παρακολούθησαν μια από τις τρεις διδακτικές μεθόδους και ήταν απόφοιτοι της θετικής κατεύθυνσης παρουσιάζουν υψηλότερη επίδοση από τους αποφοίτους της τεχνολογικής και οι της τεχνολογικής υψηλότερη των αποφοίτων της θεωρητικής. Οι φοιτητές της «ομάδας ελέγχου» εκτός του ότι παρουσιάζουν την χαμηλότερη επίδοση στο σύνολο τους, παρουσιάζουν και τις μικρότερες διαφοροποιήσεις σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης και επιπλέον δε οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης της ομάδας αυτής παρουσιάζουν λίγο υψηλότερη επίδοση έναντι των αποφοίτων της θετικής κατεύθυνσης.

Επιπλέον η «ομάδα πειραμάτων» εμφανίζει μεγαλύτερη μέση επίδοση σε σχέση με την «ομάδα επίδειξης» και την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας». Οι μέσες δε επιδόσεις των δύο τελευταίων ομάδων είναι ίσες αλλά μεγαλύτερες της μέσης επίδοσης της «ομάδας ελέγχου». Τα παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα 10.45 και στο διάγραμμα 10.24.



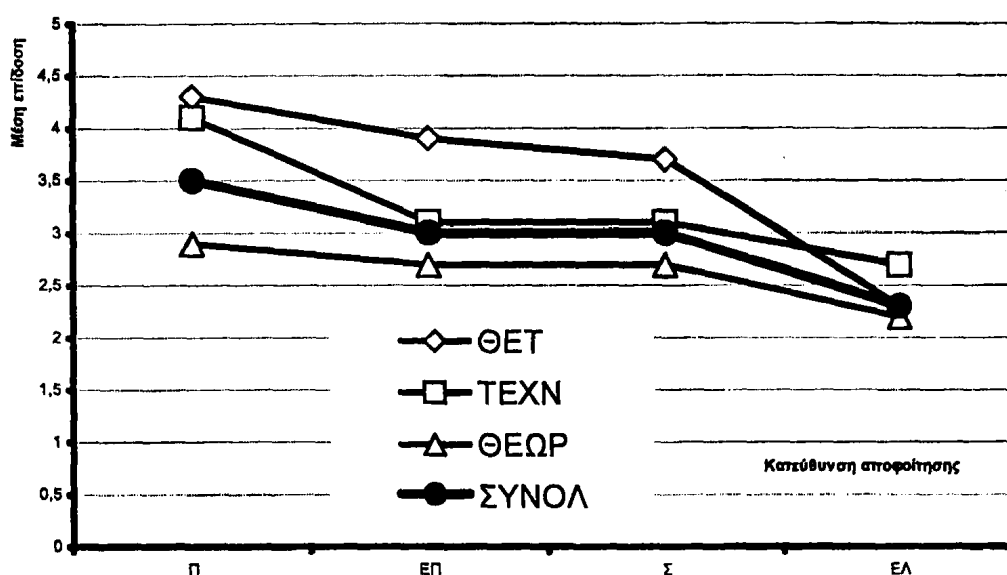
Η διαφοροποίηση στην επίδοση των ομάδων που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» επισημαίνει ακόμη μια φορά ότι η παρέμβαση Β έπαιξε ρόλο σε δύο βασικές λειτουργίες της μάθησης και της απόκτησης γνώσης, της αντίληψης και της μνήμης. Κατά την παρέμβαση Β οι εισερχόμενες πληροφορίες με εννοιολογικό περιεχόμενο ή κάποιες κωδικοποιημένες αναπαραστάσεις τους μετασηματίστηκαν και προσαρμόστηκαν, ώστε να ταιριάζουν στις ήδη υπάρχουσες νοητικές δομές (assimilation-accommodation). Έτσι βοήθησαν να αναγνωριστούν πληροφορίες που ήδη υπήρχαν, να ανακληθούν και να αξιοποιηθούν από την μνήμη πληροφορίες από παλαιότερες εκθέσεις σ' αυτές.

Πίνακας 10.45 Οι επιδόσεις των φοιτητών ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση αποφοίτησης	Ομάδα πειραμάτων	Ομάδα επίδειξης	Ομάδα συμβατικής διδασκαλίας	Ομάδα ελέγχου	Σύνολο
Αριθμός φοιτητών, μέση επίδοση, τυπική απόκλιση					
Θετική	(N=8) 4,3 (1,1)	(N=6) 3,9 (0,9)	(N=5) 3,7 (0,9)	(N=6) 2,3 (0,7)	(N=25) 3,6 (1,2)
	(N=19) 4,0 (1,0)				
Τεχνολογική	(N=11) 4,1 (0,6)	(N=11) 3,2 (1,3)	(N=10) 3,1 (0,9)	(N=9) 2,7 (0,5)	(N=41) 3,3 (1,0)
	(N=32) 3,5 (1,0)				
Θεωρητική	(N=24) 2,9 (0,9)	(N=20) 2,7 (0,8)	(N=17) 2,7 (1,3)	(N=24) 2,2 (0,9)	(N=85) 2,6 (1,0)
	(N=61) 2,8 (1,0)				
Σύνολο	(N=43) 3,5 (1,1)	(N=37) 3,0 (1,0)	(N=32) 3,0 (1,2)	(N=39) 2,3 (0,8)	(N=151) 3,0 (1,1)
	(N=112) 3,2 (1,1)				

Η ομάδα ελέγχου μη συμμετέχοντας στη διδακτική διαδικασία Β έχασε τη δυνατότητα να ξανασκεφτεί αυτά που ήδη γνώριζε από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (οι πληροφορίες «χάθηκαν μέσα στη μνήμη»). Δεν ενίσχυσε τις υπάρχουσες νοητικές της δομές σε σχέση με έννοιες της αέριας κατάστασης και έχασε τη δυνατότητα που είχαν οι άλλες ομάδες κατά την παρέμβαση Β, να συσχετίσουν έννοιες που διδάχθηκαν καθώς και να συσχετίσουν τις έννοιες αυτές με άλλες έννοιες και πληροφορίες που ήδη γνώριζαν. Έτσι φοιτητές, απόφοιτοι της θετικής κατεύθυνσης, στην ομάδα ελέγχου έφεραν επίδοση χαμηλότερη από φοιτητές προερχόμενους από τη θεωρητική κατεύθυνση, που όμως πήραν μέρος στη λύση προβλημάτων με πειράματα στο εργαστήριο. Επιβεβαιώνεται ότι η μάθηση και η απόκτηση γνώσης σχετίζεται άμεσα με το χρόνο που αφιερώνεται γι' αυτή, αλλά και με τη μορφή άσκησης που γίνεται γι' αυτή.

**Διάγραμμα 10.24** Η μέση επίδοση των φοιτητών σε σχέση με την κατεύθυνση\* αποφοίτησης από το λύκειο και ανά διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.



\*Η έντονη γραμμή στο διάγραμμα αναφέρεται στη μέση επίδοση των τεσσάρων ομάδων (πειραμάτων, επίδειξης, συμβατικής διδασκαλίας και ελέγχου) σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Για τη σύγκριση της αποτελεσματικότητας των τριών διδακτικών μεθόδων συγκρίναμε, με τη μέθοδο ανάλυσης διακύμανσης τις επιδόσεις των φοιτητών που ήταν απόφοιτοι της ίδιας κατεύθυνσης σε σχέση με τις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους που παρακολούθησαν (μικτή διμεταβλητή, της οποίας η κατηγορική μεταβλητή έχει τέσσερις κατηγορίες). Επίσης στις συγκρίσεις συμπεριλάβαμε και την «ομάδα ελέγχου».

Από την ανάλυση διακύμανσης, για τους αποφοίτους θετικής κατεύθυνσης, το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή δείκτη  $W=0,557$ , με 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 21 στον παρονομαστή. Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W < F_{3, 21, 0,05}, p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή του κριτηρίου  $F=5,160$  ( $F > F_{3, 21, 0,01}, p < 0,01$ ). Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές διαφέρουν. Για να καθοριστεί ποια συγκεκριμένα δείγματα διαφέρουν, εφαρμόσαμε τη μέθοδο των πολλαπλών συγκρίσεων και τα κριτήρια Tukey και L.S.D (Πίνακας 10.46).

Οι φοιτητές, απόφοιτοι της θετικής κατεύθυνσης (ποσοστό 17,9% στο σύνολο του δείγματος των τριών διδακτικών ομάδων ( $N=112$ )), αν και είχαν τις υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τους φοιτητές που ήταν απόφοιτοι των δύο άλλων κατευθύνσεων, οι επιδόσεις τους δεν διαφοροποιούνται στατιστικά σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Βεβαίως παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τους αποφοίτους θετικής κατεύθυνσης που δεν παρακολούθησαν την παρέμβαση Β (ομάδα ελέγχου). Επομένως η καλή γνωστική υποδομή των αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης επηρέασε ως συστηματικός παράγοντας την επίδοσή τους στην εξέταση. Οι



παρατηρούμενες διαφορές στην επίδοσή τους δεν μπορούν ν' αποδοθούν στη διδακτική μέθοδο αλλά στη διακύμανση της τυχαίας δειγματοληψίας.

Πίνακας 10.46 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,404	0,512	-1,403	2,211
		3	0,587	0,541	-1,319	2,495
		4	1,954*	0,512	0,147	3,761
	2	3	0,183	0,575	-1,148	1,785
		4	1,550**	0,548	0,023	3,077
		3	1,367	0,575	-0,235	2,968
L.S.D.	3	4	1,367**	0,575	0,172	2,562

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Πίνακας 10.47 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	4	1,397*	0,407	0,376	2,756
L.S.D.	1	2	0,909**	0,386	0,126	1,692
		3	0,914**	0,396	0,111	1,716
	2	3	0,004	0,396	-0,798	0,807
		4	0,488	0,407	-0,337	1,313
	3	4	0,483	0,416	-0,360	1,327

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Εξετάζοντας στατιστικά τις διαφορές των μέσων επιδόσεων των αποφοίτων τεχνολογικής κατεύθυνσης (ποσοστό 28,6% στο σύνολο του δείγματος των τριών ομάδων (N=112) προέκυψε ότι, οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W = 3,811$ ,  $W < F_{3, 37, 0,01}$ ,  $p < 0,01$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή



του  $F = 4,254$ . Δύο τουλάχιστον από τις συνεξεταζόμενες μέσες τιμές διαφέρουν ( $F > F_{3, 37, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Η μέθοδος των πολλαπλών συγκρίσεων, για την αξιολόγηση των διαφορών επίδοσης σε όλες τις δυνατές συγκρίσεις των ομάδων, έδωσε τον πίνακα 10.47.

Η ομάδα που διδάχτηκε λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων έφερε στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή της σε σχέση με την «ομάδα επίδειξης» και την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» και βέβαια σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου». Οι ομάδες επίδειξης και συμβατικής διδασκαλίας έφεραν σχεδόν την ίδια επίδοση. Τέλος για τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης (ποσοστό 54,5% στο σύνολο των τριών ομάδων ( $N=112$ )) από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι, οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W = 1,519$ ,  $W < F_{3, 81, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή του κριτηρίου  $F = 2,773$ , δύο τουλάχιστον από τις συνεξεταζόμενες μέσες τιμές διαφέρουν ( $F > F_{3, 81, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Η μέθοδος των πολλαπλών συγκρίσεων για την αξιολόγηση των διαφορών επίδοσης σε όλες τις δυνατές συγκρίσεις των ομάδων έδωσε τον πίνακα 10.48.

Πίνακας 10.48 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	90% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
L.S.D.	1	2	0,197	0,290	-0,286	0,679
		3	0,187	0,304	-0,318	0,692
	2	3	-0,009	0,316	-0,535	0,516
		4	0,562**	0,290	0,079	1,044
3	4	0,571**	0,304	0,066	1,076	

\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	4	0,758*	0,276	0,033	1,484

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Οι απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης δεν διαφοροποιούνται σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Οι επιδόσεις των τριών πρώτων ομάδων είναι στατιστικά σημαντικές μόνο σε σχέση με τους φοιτητές θεωρητικής κατεύθυνσης της «ομάδας ελέγχου».

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις προκύπτει ότι οι απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης δεν διαφοροποιούνται στην επίδοσή τους σε σχέση με την διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Το ίδιο ισχύει και για τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης.



Συνεπώς οι έχοντες καλή και ασθενή υποδομή σε σχέση με τις φυσικές επιστήμες δεν επηρεάστηκαν από τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης στη δική μας έρευνα διαφοροποιούνται σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο και συγκεκριμένα, όσοι συμμετείχαν στη λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι αυτών που παρακολούθησαν την ίδια διδασκαλία με πειράματα επίδειξης και με συμβατική διδασκαλία. Μεταξύ δε της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση.

Στον παρακάτω πίνακα 10.49 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών από το λύκειο.

Πίνακας 10.49 Επίδραση των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση αποφοίτησης	Ομάδα (αριθ. φοιτητών, μέση επίδοση)				Σύγκριση Μ.Τ. Επίπ. σημαντικότητας Κριτήριο
	Π	ΕΠ	Σ	ΕΛ	
Θετική					M(Π)-M(ΕΛ), p<0,05 (Tukey)
	(N=8) 4,3	(N=6) 3,9	(N=5) 3,7	(N=6) 2,3	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), p<0,05 (Tukey)
					M(Σ)-M(ΕΛ), p<0,05 (L.S.D.)
Τεχνολογική					M(Π)-M(ΕΠ), p<0,05 (L.S.D.)
	(N=11) 4,1	(N=11) 3,2	(N=10) 3,1	(N=9) 2,7	M(Π)-M(Σ), p<0,05 (LSD)
					M(Π)-M(ΕΛ), p<0,05 (Tukey)
Θεωρητική					M(Π)-M(ΕΛ), p<0,05 (Tukey)
	(N=24) 2,9	(N=20) 2,7	(N=17) 2,7	(N=24) 2,2	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), p<0,10 (L.S.D.)
					M(Σ)-M(ΕΛ), p<0,10 (L.S.D.)

### 10.15 Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης των φοιτητών από το λύκειο για τα ισοσταθμισμένα δείγματα

Η στατιστική περιγραφή των ισοσταθμισμένων δειγμάτων δίνεται στον πίνακα 10.50. Από τη σύγκριση του πίνακα αυτού με τον αντίστοιχο πίνακα για τα πραγματικά

δείγματα (Πίνακας 10.50) παρατηρούμε ότι υπάρχουν μικρές διαφορές στις μέσες τιμές των δειγμάτων, η «ομάδα πειραμάτων» παρουσιάζει μια μείωση κατά δύο δέκατα της μονάδας και η «ομάδα ελέγχου» μια αύξηση κατά ένα δέκατο. Ανάλογες είναι και οι μεταβολές στις τυπικές αποκλίσεις.

**Πίνακας 10.50** Οι επιδόσεις των φοιτητών ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο.

Κατεύθυνση αποφοίτησης	Ομάδα πειραμάτων	Ομάδα επίδειξης	Ομάδα συμβατικής διδασκαλίας	Ομάδα ελέγχου	Σύνολο
Αριθμός φοιτητών, μέση επίδοση, τυπική απόκλιση					
Θετική	(N=5) 4,0 (0,9)	(N=5) 4,0 (1,0)	(N=5) 3,7 (0,9)	(N=6) 2,3 (0,7)	(N=21) 3,5 (1,1)
	(N=15) 3,9 (0,9)				
Τεχνολογική	(N=9) 4,0 (0,6)	(N=9) 3,1 (1,4)	(N=9) 3,2 (1,0)	(N=9) 2,7 (0,5)	(N=36) 3,2 (1,0)
	(N=27) 3,4 (1,1)				
Θεωρητική	(N=22) 2,9 (0,7)	(N=20) 2,7 (0,8)	(N=17) 2,7 (1,3)	(N=22) 2,2 (0,8)	(N=81) 2,6 (0,9)
	(N=59) 2,8 (0,9)				
Σύνολο	(N=36) 3,3 (0,9)	(N=34) 3,0 (1,0)	(N=31) 3,0 (1,2)	(N=37) 2,4 (0,8)	(N=138) 2,9 (1,0)
	(N=101) 3,1 (1,0)				

Από την εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης για τους φοιτητές που ήταν απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης και συμμετείχαν σε μια από τις τέσσερις ομάδες το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 0,059$  με  $d.f_1 = 3$ ,  $d.f_2 = 17$  ( $W < F_{3, 17, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 4,677$  ( $F > F_{3, 17, 0,05}$ ). Άρα δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων περιγράφονται στον πίνακα 10.51. Οι συγκρίσεις των ισοσταθμισμένων δειγμάτων δίνουν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα όπως και στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων.



**Πίνακας 10.51** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	2	0,060	0,558	-1,527	1,647
		3	0,340	0,558	-1,247	1,927
		4	1,707*	0,535	0,187	3,226
	2	3	0,280	0,558	-1,307	1,867
4		1,647*	0,535	0,127	3,166	
L.S.D.	3	4	1,367*	0,535	0,239	2,495

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Στη συνέχεια εξετάζοντας την περίπτωση των φοιτητών που ήταν απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης πρόεκυψε:  $W = 4,349$  με  $d.f_1 = 3$ ,  $d.f_2 = 32$  ( $W < F_{3, 32, 0,01}$ ,  $p < 0,01$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης πρόεκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 3,051$  ( $F > F_{3, 17, 0,05}$ ), άρα δύο τουλάχιστον μέσες τιμές, από τις τέσσερις που συνεξετάζονται, διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των φοιτητών των τεσσάρων ομάδων περιγράφονται στον πίνακα 10.52.

**Πίνακας 10.52** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	4	1,333*	0,452	0,109	2,558
		2	0,922*	0,452	0,001	1,843
	2	3	-0,111	0,452	-1,032	0,809
		4	0,411	0,452	-0,509	1,332
L.S.D.	3	4	0,522	0,452	-0,398	1,443
					90% Διάστημα εμπιστοσύνης	
	1	3	0,811**	0,452	0,045	1,577

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05  
\*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10

Η «ομάδα πειραμάτων» και στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων δειγμάτων διατηρεί στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey) σε σχέση με

την «ομάδα ελέγχου», καθώς και σε σχέση με την «ομάδα επίδειξης» σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD). Η διαφοροποίηση που παρατηρείται μεταξύ των δύο δειγμάτων είναι ότι η «ομάδα πειραμάτων» στα πραγματικά δείγματα διαφέρει από την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD) ενώ στην περίπτωση των ισοσταθμισμένων διαφέρει σε επίπεδο 10% (κριτήριο LSD). Αυτό μπορεί να αποδοθεί αφ' ενός στη μείωση του μεγέθους των δειγμάτων και αφ' ετέρου στη μικρή μείωση των διαφορών μεταξύ των μέσων τιμών.

Τέλος κατά την εξέταση των φοιτητών, αποφοίτων θεωρητικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν προέκυψε ότι:  $W = 1,949$  με  $d.f_1 = 3$ ,  $d.f_2 = 77$  ( $W < F_{3, 77, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των φοιτητών είναι ομοιογενείς. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε τιμή του κριτηρίου  $F = 2,043$  ( $F < F_{3, 77, 0,05}$ ), άρα οι μέσες τιμές, από τις τέσσερις ομάδες που συνεξετάζονται, δεν διαφέρουν σημαντικά. Μόνο η «ομάδα πειραμάτων» εμφανίζει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% (κριτήριο LSD) σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου». Στην περίπτωση των φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης στα ισοσταθμισμένα δείγματα υπάρχει μια υποχώρηση των ομάδων που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου». Στα πραγματικά δείγματα η «ομάδα πειραμάτων» διαφέρει σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 5% με το κριτήριο Tukey και η «ομάδα επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 10% με το κριτήριο LSD.

#### 10.16 Μελέτη της επίδοσης των φοιτητών ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από λύκειο σε σχέση με την ομάδα διδακτικής μεθόδου και των μορίων εισαγωγής στο πανεπιστήμιο (με τη μέθοδο συνδυακόμενης - ANCOVA)

##### Απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης

Μια πιο αυστηρή μέθοδος στατιστικής ανάλυσης για τη σύγκριση των μέσων επιδόσεων των φοιτητών, αποφοίτων της ίδιας κατεύθυνσης, στα θέματα εξέτασης είναι η μέθοδος συνδυακόμενης καθόσον αυτή συνυπολογίζει για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την συμμεταβλητή «μόρια εισαγωγής» των φοιτητών.

Η κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο και τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών του δείγματός μας στο πανεπιστήμιο είναι δύο παράγοντες που υπήρχαν πριν αυτοί εμπλακούν στην ερευνητική διαδικασία και σχετίζονται άμεσα με το γνωστικό τους επίπεδο στις φυσικές επιστήμες. Κάθε υποκείμενο που ήταν απόφοιτος της ίδιας κατεύθυνσης μπορεί να χαρακτηρίζεται από τρεις μεταβλητές, την επίδοση του στα θέματα εξέτασης (εξαρτημένη μεταβλητή) και δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, τα μόρια εισαγωγής του στο πανεπιστήμιο και τη διδακτική μέθοδο στην οποία συμμετείχε κατά την έρευνα. Οι διαφορές στην επίδοση των θεμάτων εξέτασης μπορούν να αποδοθούν όχι μόνο στις διαφορετικές διδακτικές μεθόδους αλλά και στις αρχικές διαφορές των μορίων εισαγωγής στο πανεπιστήμιο. Για να ελέγξουμε την αιτία της μεταβλητότητας (covariate variable) εφαρμόσαμε τη στατιστική μέθοδο της ανάλυσης συνδυακόμενης



(ANCOVA). Η μέθοδος αυτή τροποποιεί τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής επί τη βάσει των μορίων εισαγωγής.

Οι επιδόσεις των αποφοίτων θετικής κατεύθυνσης (στα πραγματικά δείγματα) ανά διδακτική μέθοδο περιγράφονται στον πίνακα 10.45 και τα μόρια εισαγωγής τους στο πανεπιστήμιο στον πίνακα 5.11. Κατ'αρχήν εξετάζουμε αν οι διακυμάνσεις της εξαρτημένης μεταβλητής είναι ίσες κατά μήκος των τεσσάρων διδακτικών μεθόδων. Το τεστ του Levene (Levene's test of equality of error variance) έδωσε τις παρακάτω τιμές.

**Πίνακας 10.53** Έλεγχος ομοιογένειας της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά μήκος των διδακτικών ομάδων για τους αποφοίτους θετικής κατεύθυνσης.

F	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	Επίπεδο σημαντικότητας
0,710	3	21	0,557

$F < F_{3, 21, 0,05} = 3,07, p > 0,05$ . Οι διακυμάνσεις της ανεξάρτητης μεταβλητής είναι ίσες. Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς. Η ανάλυση διακύμανσης συνοψίζεται στον πίνακα 10.54

Η σειρά Corrected Model περιλαμβάνει τη διακύμανση που οφείλεται σε όλες τις επιδράσεις. Στη δεύτερη σειρά (intercept) γίνεται έλεγχος αν ο γενικός μέσος όρος του συνολικού δείγματος διαφέρει από την τιμή μηδέν. Στη τρίτη γραμμή (μόρια) δείχνεται η επίδραση της μεταβλητής «μόρια εισαγωγής». Η επίδραση της είναι στατιστικά ασήμαντη  $F(1, 20) = 0,944, p > 0,05$ . Στη τέταρτη γραμμή δείχνεται η επίδραση της άλλης ανεξάρτητης μεταβλητής «κατεύθυνση αποφοίτησης»,  $F(3, 20) = 5,114, p < 0,01$ . Η επίδραση της είναι σημαντική στις διαφορές των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Ας σημειωθεί ότι η τιμή  $F(3, 20) = 5,114$  διαφέρει πολύ λίγο από την ευρεθείσα με τη μέθοδο ANOVA,  $F(3, 21) = 5,160$  (βλέπε σελίδα 300), κάτι αναμενόμενο, αφού η επίδραση των μορίων είναι ασήμαντη στατιστικά και συμμετέχει σε ποσοστό 4,5% (eta squared) στη συνολική διακύμανση. Η «κατεύθυνση αποφοίτησης»

**Πίνακας 10.54** Ανάλυση διακύμανσης για την εξέταση των επιδράσεων (μόρια εισαγωγής, ομάδα διδακτικής μεθόδου) μεταξύ των επιδόσεων φοιτητών θετικής κατεύθυνσης (tests of between-subjects effects).

Ανεξάρτητη μεταβλητή: Επίδοση φοιτητών θετικής κατεύθυνσης						
Source	Sum of Squ.	df	Mean Squ.	F	Sig.	Eta Squared
Corrected Model	14,792	4	3,698	4,096	0,014	0,450
Intercept	0,818	1	0,818	0,906	0,353	0,043
Μόρια	0,852	1	0,852	0,944	0,343	0,045
Ομάδα	13,851	3	4,617	5,114	0,009	0,434
Error	18,058	20	0,903			
Total	357,570	25				
Corrected Total	32,850	24				

R Squared = 0,450 (Adjusted R Squared = 0,340)



συμμετέχει σε ποσοστό 43,4% στη συνολική διακύμανση (η αντίστοιχη τιμή του  $\eta^2$  squared είναι 0,434). Η τιμή του δείκτη  $\eta^2$  squared στην τελευταία στήλη του πίνακα υπολογίζεται ως η σχέση της διακύμανσης μιας επίδρασης ( $SS_{\text{effect}}$ ) προς τη συνολική διακύμανση ( $SS_{\text{total}}$ ).

Η σειρά στον πίνακα που αναφέρεται στο σφάλμα διασποράς (error), αντιστοιχεί στην πηγή διασποράς εντός των ομάδων. Το μέσο τετράγωνο της σειράς αυτής αποτελεί τον παρονομαστή του κλάσματος του κριτηρίου F. Η σειρά total δείχνει το συνολικό άθροισμα τετραγώνων, συμπεριλαμβανομένου του Intercept, των κύριων επιδράσεων, των αλληλεπιδράσεων (εάν υπάρχουν) και του σφάλματος (error). Τέλος, η σειρά Corrected Total περιλαμβάνει μόνο το άθροισμα τετραγώνων των σειρών Corrected Model και Error. Η σημείωση στο κάτω μέρος του πίνακα δίνει την τιμή του δείκτη  $R^2$  (συντελεστής προσδιορισμού) καθώς και την τιμή του προσαρμοσμένου (adjusted) δείκτη  $R^2$  για τον πληθυσμό. Στο δείγμα μας, το 45,0% της διασποράς της εξαρτημένης μεταβλητής οφείλεται στη στατιστική επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  δείχνει αν το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης σωστά επελέγη και επιπλέον κατά πόσο η τελικά εκτιμηθείσα παλινδρόμηση προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Οι τιμές του  $R^2$  βρίσκονται ανάμεσα στο 0 και το 1. Στη δική μας περίπτωση η τιμή 0,450 δείχνει μια ικανοποιητική σχέση μεταξύ του στατιστικού μοντέλου που επιλέξαμε και των δεδομένων μας.

Εφ' όσον διαπιστώσαμε ότι η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής (ομάδα διδακτικής μεθόδου) είναι στατιστικώς σημαντική και επειδή αυτή περιλαμβάνει τέσσερις ομάδες, θα εξετάσουμε ποια ζεύγη μέσων τιμών διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Η μέθοδος συνδυακύμανσης υπολογίζει εν συνεχεία τις προσαρμοσμένες μέσες τιμές (adjusted means), δηλαδή τις διορθωμένες τιμές των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, οι οποίες θα προέκυπταν για κάθε συνδυαστική ομάδα, εάν όλα τα υποκείμενα είχαν την ίδια επίδοση όσον αφορά τη συμμεταβλητή, μόρια εισαγωγής. Η διαδικασία προσαρμογής των μέσων τιμών είναι στην ουσία μια πρόβλεψη των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, αν όλοι οι συμμετέχοντες φοιτητές είχαν την ίδια τιμή «μορίων εισαγωγής». Αυτή η σταθερή τιμή είναι ο γενικός μέσος όρος του συνολικού δείγματος και γράφεται ως υποσημείωση κάτω από τον πίνακα που δίνει τις προσαρμοσμένες τιμές. Μάλιστα, η διασπορά εντός των ομάδων (error term) στην ανάλυση διακύμανσης υπολογίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των τιμών από τις προσαρμοσμένες μέσες τιμές των ομάδων και όχι από τις παρατηρούμενες μέσες τιμές, όπως στην απλή ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Οι παρατηρούμενες μέσες τιμές των ομάδων και οι προσαρμοσμένες παρουσιάζονται στον πίνακα 10.55.



**Πίνακας 10.55** Παρατηρούμενες και προσαρμοσμένες τιμές επίδοσης των διδακτικών ομάδων για φοιτητές θετικής κατεύθυνσης (Οι προσαρμοσμένες τιμές εκτιμήθηκαν με 15.416,8 μόρια).

Ομάδα	Παρατηρούμενη Μ.Τ.	Τυπική απόκλιση	Προσαρμοσμένη Μ.Τ.	Τυπικό σφάλμα
Πειραμάτων	4,287	1,099	4,196	0,349
Επίδειξης	3,883	0,915	4,003	0,407
Συμβατικής	3,700	0,927	3,729	0,426
Ελέγχου	2,333	0,753	2,312	0,389

Για τις πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων (Πίνακας 10.56) επιλέγουμε κριτήριο Bonferroni. Αυτό διαφέρει από το L.S.D. και το Tukey στο γεγονός ότι διορθώνει την περιοχή απόρριψης (κριτική περιοχή) για όλες τις συγκρίσεις των μέσων τιμών. Αν δηλαδή το επίπεδο σημαντικότητας είναι 5% και οι δυνατές συγκρίσεις είναι 5, όπως εν προκειμένω, τότε η διόρθωση της περιοχής απόρριψης είναι  $0,05/5=0,01$ .

**Πίνακας 10.56** Πολλαπλές συγκρίσεις (κριτήριο Bonferroni) για τις επιδόσεις (διορθωμένες τιμές) των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Bonferroni	1	2	0,193	0,557	-1,830	2,216
		3	0,467	0,556	-1,551	2,484
		4	1,884*	0,518	0,002	3,765
	2	3	0,273	0,583	-1,842	2,389
	3	4	1,417	0,578	-0,680	3,515
		2	4	1,691**	0,567	-0,029

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
\*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με την απλή μέθοδο διακύμανσης (ANOVA) και τη μέθοδο συνδυακύμανσης (ANCOVA) η ουσιαστική διαφοροποίηση που προέκυψε είναι, ότι η επίδοση της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» με τη μέθοδο συνδυακύμανσης δεν διαφέρει σημαντικά από την «ομάδα ελέγχου».



### Απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης

Για τους αποφοίτους τεχνολογικής κατεύθυνσης, οι μέσες τιμές επίδοσής τους στα θέματα εξέτασης ανά διδακτική μέθοδο παρουσιάζονται στον πίνακα 10.45 και τα μόρια εισαγωγής τους στο πανεπιστήμιο στον πίνακα 5.12. Η μέθοδος συνδυακόμενης έδωσε κατ' αρχήν ότι οι διακυμάνσεις της εξαρτημένης μεταβλητής δεν είναι ίσες (οριακά) κατά μήκος των τεσσάρων διδακτικών μεθόδων σε επίπεδο 1% ( $F > F_{3, 37, 0,01} = 4,313$ ,  $p < 0,01$ ). Το τεστ του Levene έδωσε τις παρακάτω τιμές. Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ανομοιογενείς.

Προκειμένου να διορθώσουμε τα δεδομένα μας για να μειώσουμε το πρόβλημα που προκύπτει από την ανομοιογένεια μπορούμε να «υψώσουμε σε δύναμη» τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής χρησιμοποιώντας ως εκθέτη τη συνιστάμενη τιμή που μας παρέχει ως υποσημείωση το διάγραμμα «spread vs. level plot» της εντολής «Explore» του προγράμματος SPSS (Παυλόπουλος, 2004, σ. 20, Rutherford, 2001, Turner & Thayer, 2001). Συγκεκριμένα να υψώσουμε τις τιμές της εξαρτημένης μας μεταβλητής στη δύναμη 1,336 (power for transformation). Από την εκτέλεση των υπολογισμών με τις αρχικές τιμές όσο και με τις διορθωμένες της εξαρτημένης μεταβλητής παρατηρήσαμε ότι τα συμπεράσματα που προκύπτουν δεν διαφέρουν. Δηλαδή οι διασπορά των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής δεν επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα του πίνακα συνδυακόμενης καθώς και εκείνα των δυαδικών συγκρίσεων. Γι' αυτό περιγράφουμε την ανάλυση χρησιμοποιώντας τις αρχικές τιμές. Η ανάλυση διακύμανσης συνοψίζεται στον πίνακα 10.57.

**Πίνακας 10.57** Ανάλυση διακύμανσης για την εξέταση των επιδράσεων (μόρια εισαγωγής, ομάδα διδακτικής μεθόδου) μεταξύ των επιδόσεων φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης (Tests of between-subjects effects).

Ανεξάρτητη μεταβλητή: Επίδοση φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Eta Squared
Corrected Model	11,030	4	2,758	3,328	0,020	0,270
Intercept	2,330	1	2,330	2,813	0,102	0,072
Μόρια	0,552	1	0,552	0,666	0,420	0,018
Ομάδα	10,886	3	3,629	4,380	0,010	0,267
Error	29,826	36	0,828			
Total	484,710	41				
Corrected Total	40,856	40				

R Squared 0,270 (Adjusted R Squared = 0,189)

Η επίδραση της μεταβλητής «μόρια εισαγωγής» είναι στατιστικά ασήμαντη ( $F(1, 36) = 0,666$ ,  $p > 0,05$ , συμμετέχει δε σε ποσοστό 1,8% στη συνολική διακύμανση (η αντίστοιχη τιμή του eta squared είναι 0,018). Η επίδραση της άλλης ανεξάρτητης μεταβλητής «ομάδα διδακτικής μεθόδου» είναι σημαντική στις διαφορές των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής,  $F(3, 36) = 4,380$ ,  $p < 0,01$ . Ας σημειωθεί δε ότι και



σ' αυτή την περίπτωση η τιμή  $F(3, 36) = 4,380$  διαφέρει πολύ λίγο από την ευρεθείσα με τη μέθοδο ANOVA,  $F(3, 37) = 4,254$  (βλέπε σελίδα 301) κάτι αναμενόμενο αφού η επίδραση των μορίων είναι ασήμαντη στατιστικά και συμμετέχει σε πολύ μικρό ποσοστό στη συνολική διακύμανση. Η «ομάδα διδακτικής μεθόδου» συμμετέχει σε ποσοστό 26,7% στη συνολική διακύμανση (η αντίστοιχη τιμή του eta squared είναι 0,267).

Οι προσαρμοσμένες μέσες τιμές (adjusted means), δηλαδή οι διορθωμένες τιμές των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, οι οποίες θα προέκυπταν για κάθε συνδυαστική ομάδα εάν όλα τα υποκείμενα είχαν την ίδια επίδοση στα «μόρια εισαγωγής», παρουσιάζονται στον πίνακα 10.58.

**Πίνακας 10.58** Παρατηρούμενες και προσαρμοσμένες τιμές επίδοσης των διδακτικών ομάδων για τους φοιτητές τεχνολογικής κατεύθυνσης.

Ομάδα	Παρατηρούμενη Μ.Τ.	Τυπική απόκλιση	Προσαρμοσμένη Μ.Τ.	Τυπικό σφάλμα
Πειραμάτων	4,064	0,578	4,058	0,275
Επίδειξης	3,154	1,300	3,190	0,278
Συμβατικής διδασκαλίας	3,150	0,939	3,179	0,290
Ελέγχου	2,667	0,522	2,597	0,315

Οι προσαρμοσμένες τιμές εκτιμήθηκαν με 15.767,1 μόρια.

Για τις πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης των ομάδων (Πίνακας 10.59) το κριτήριο Bonferroni έδωσε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας ελέγχου». Με την απλή μέθοδο ANOVA είχαν προκύψει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 5% (κριτήριο L.S.D.) και μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και των ομάδων «επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» (βλέπε, σελίδα 267).

**Πίνακας 10.59** Πολλαπλές συγκρίσεις (κριτήριο Bonferroni) για τις επιδόσεις (διορθωμένες τιμές) των φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Bonferroni	1	2	0,868	0,391	-0,462	2,198
		3	0,879	0,400	-0,480	2,239
		4*	1,462	0,417	0,045	2,878
	2	3	0,010	0,398	-1,341	1,363
		4	0,593	0,429	-0,865	2,052
		3	4	0,583	0,436	-0,898

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

**Απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης**

Για τους αποφοίτους θεωρητικής κατεύθυνσης, οι μέσες τιμές επίδοσης τους στα θέματα εξέτασης ανά διδακτική μέθοδο παρουσιάζονται στον πίνακα 10.45 και τα μόρια εισαγωγής τους στο πανεπιστήμιο στον πίνακα 5.13. Η μέθοδος συνδυακύμανσης έδωσε κατ'αρχήν ότι οι διακυμάνσεις της εξαρτημένης μεταβλητής είναι ίσες κατά μήκος των τεσσάρων διδακτικών μεθόδων σε επίπεδο 5% ( $F < F_{3, 81, 0,05} = 2,680$ ,  $p > 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των τεσσάρων ομάδων είναι ομοιογενείς. Η ανάλυση διακύμανσης συνοψίζεται στον πίνακα 10.60.

**Πίνακας 10.60** Ανάλυση διακύμανσης για την εξέταση των επιδράσεων (μόρια εισαγωγής, ομάδα διδακτικής μεθόδου) μεταξύ των επιδόσεων των φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης (tests of between-subjects effects).

**Ανεξάρτητη μεταβλητή: Επίδοση φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Eta Squared
Corrected Model	16,947	4	4,237	5,216	0,001	0,207
Intercept	0,102	1	0,102	0,126	0,724	0,002
Μόρια	9,316	1	9,316	11,469	0,001	0,125
Ομάδα	4,563	3	1,521	1,872	0,141	0,066
Error	64,983	80	0,812			
Total	664,880	85				
Corrected Total	81,930	84				

R Squared 0,207 (Adjusted R Squared = 0,167)

Η επίδραση της μεταβλητής «μόρια εισαγωγής» είναι στατιστικά σημαντική  $F(1, 80) = 11,469$ ,  $p > 0,01$ , συμμετέχει δε σε ποσοστό 12,5% στη συνολική διακύμανση (η αντίστοιχη τιμή του eta squared είναι 0,125). Η επίδραση της άλλης ανεξάρτητης μεταβλητής «ομάδα διδακτικής μεθόδου» δεν είναι σημαντική στις διαφορές των μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής,  $F(3, 80) = 1,872$ ,  $p > 0,05$ . Η μεταβλητή «ομάδα διδακτικής μεθόδου» συμμετέχει σε μικρό ποσοστό 6,6% στη συνολική διακύμανση (η αντίστοιχη τιμή του eta squared είναι 0,066). Στην περίπτωση των φοιτητών θεωρητικής κατεύθυνσης η τιμή  $F(3, 80) = 1,872$  διαφέρει από την ευρεθείσα με τη μέθοδο ANOVA,  $F(3, 81) = 2,773$  (βλέπε σελίδα 302). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η επίδραση των μορίων είναι σημαντική στατιστικά, ενώ των «ομάδων» δεν είναι σημαντική.

Εφόσον η επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής (ομάδα διδακτικής μεθόδου) δεν είναι στατιστικώς σημαντική δεν προχωρούμε στις δυαδικές συγκρίσεις των διαφορών των διορθωμένων μέσων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην περίπτωση της εξέτασης των διαφορών των μέσων τιμών επίδοσης των φοιτητών, αποφοίτων θεωρητικής κατεύθυνσης, με την απλή μέθοδο ANOVA βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey) μεταξύ της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας ελέγχου», κάτι που δεν επαληθεύτηκε με τη σύνθετη μέθοδο συνδυακύμανσης.



### 10.17 Αξιολόγηση της επίδοσης σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, ανεξάρτητα από τη διδακτική ομάδα στην οποία συμμετείχαν (για τα πραγματικά δείγματα)

Περαιτέρω διερευνήσαμε τον παράγοντα, επίδραση της κατεύθυνσης αποφοίτησης από το λύκειο, στην επίδοση των θεμάτων εξέτασης. Για το σκοπό αυτό συγκρίναμε την επίδοση στο σύνολο των θεμάτων όλων των φοιτητών θετικής, τεχνολογικής και θεωρητικής κατεύθυνσης, που πήραν μέρος στις τρεις διδακτικές μεθόδους, χωρίς όμως να λαμβάνουμε υπόψη τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Επίσης, εντελώς ανάλογα συγκρίναμε την επίδοση των φοιτητών, αποφοίτων των τριών κατευθύνσεων που δεν πήραν μέρος σε καμία διδακτική μέθοδο, παρακολούθησαν μόνο τη διδακτική παρέμβαση Α (ομάδα ελέγχου).

Από τη σύγκριση των τριών ομάδων φοιτητών (θετικής, τεχνολογικής και θεωρητικής κατεύθυνσης), ανεξάρτητα από τη διδακτική μέθοδο στην οποία πήραν μέρος, προέκυψε ότι οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα των τριών ομάδων είναι ομοιογενείς ( $W = 0,611$ ,  $W < F_{2, 109, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ) και οι επιδόσεις δύο τουλάχιστον ομάδων διαφέρουν σημαντικά ( $F > F_{2, 109, 0,01}$ ,  $p < 0,01$ ). Η μέθοδος των πολλαπλών συγκρίσεων (Πίνακας 10.53) έδειξε ότι η επίδοση των φοιτητών θετικής ( $N=19$ ) καθώς και εκείνων της τεχνολογικής κατεύθυνσης ( $N=32$ ) διαφέρει σημαντικά, σε επίπεδο 1% σε σχέση με την επίδοση των φοιτητών της θεωρητικής κατεύθυνσης ( $N=61$ ). Η επίδοση δε μεταξύ φοιτητών θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης δεν διαφέρει σημαντικά. Τα ίδια δε συμπεράσματα ισχύουν και για το σύνολο των φοιτητών (συμπεριλαμβάνοντας και τους φοιτητές της ομάδας ελέγχου) των τριών κατευθύνσεων που πήραν μέρος στην έρευνα ανεξάρτητα από την ομάδα στην οποία συμμετείχαν (θετικής  $N=25$ , τεχνολογικής  $N=41$ , θεωρητικής  $N=85$ ).

**Πίνακας 10.61** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών θετικής, τεχνολογικής και θεωρητικής κατεύθυνσης που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο.

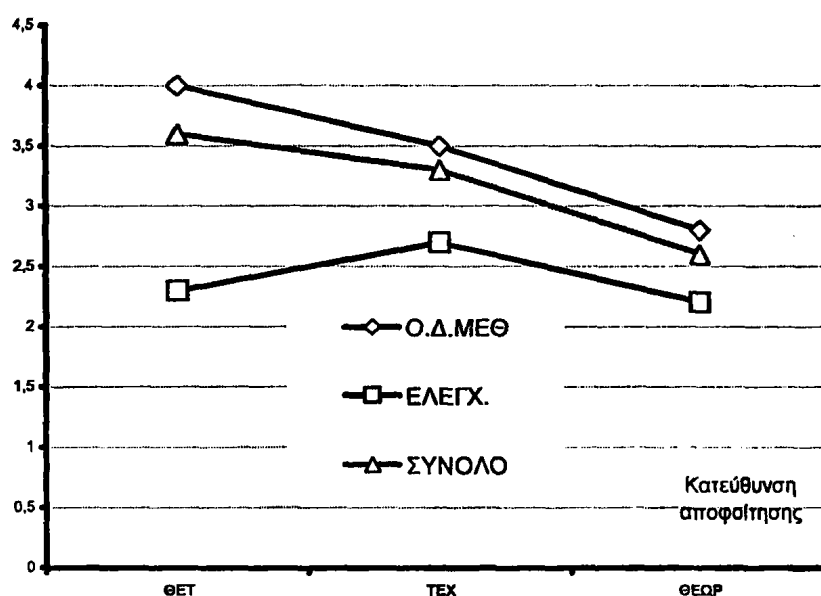
Κριτήριο	Κατ/νση	Κατ/νση	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	ΘΕΤ	ΤΕΧ	0,5396	0,290	-0,3224	1,4017
		ΘΕΩΡ	1,2053*	0,263	0,4233	1,9873
		ΤΕΧ	0,6656*	0,218	0,0159	1,3153

\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

Εξετάζοντας στη συνέχεια την επίδοση των φοιτητών, απόφοιτοι των τριών κατευθύνσεων της «ομάδας ελέγχου» προέκυψε ότι: οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W = 3,236$ ,  $W < F_{2, 36, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ) και οι επιδόσεις τους δεν διαφέρουν σημαντικά ( $F < F_{2, 36, 0,05}$ ,  $p > 0,05$ ).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, η προηγούμενη υποδομή των φοιτητών στις φυσικές επιστήμες είναι ένας συστηματικός παράγοντας που επηρέασε την επίδοσή τους στην εξέταση. Ο παράγοντας όμως αυτός έπαιξε ενεργό ρόλο μόνο για τους φοιτητές που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο, προφανώς η συμμετοχή τους στη διδακτική παρέμβαση Β λειτούργησε ευεργετικά στο να θυμηθούν και να ενισχύσουν περαιτέρω έννοιες που είχαν διδαχθεί στο λύκειο.

Διάγραμμα 10.25 Μέσες τιμές επίδοσης (άριστα το 10) στο σύνολο των θεμάτων ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο



### 10.18 Αξιολόγηση της επίδοσης σε σχέση με την κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο ανεξάρτητα από την ομάδα στην οποία συμμετείχαν για τα ισοσταθμισμένα δείγματα

Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις, ανά κατεύθυνση αποφοίτησης από το λύκειο, των φοιτητών που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο καθώς και των φοιτητών της «ομάδας ελέγχου» περιγράφονται στον πίνακα 10.50.

Για τα ισοσταθμισμένα δείγματα των φοιτητών που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο ο στατιστικός έλεγχος έδειξε ότι αυτά προέρχονται από ομοιογενείς πληθυσμούς ( $W = 1,467$  με  $d.f_1 = 2$ ,  $d.f_2 = 98$ ,  $W < F_{2, 98, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή του δείκτη  $F = 9,445$  ( $F > F_{2, 98, 0,01}$ ). Άρα οι μέσες τιμές επίδοσης των φοιτητών που προέρχονται από τις τρεις κατευθύνσεις και συνεξετάζονται διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών (Πίνακας 10.54) έδειξαν ότι η επίδοση των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης ( $N = 15$ ) και τεχνολογικής κατεύθυνσης ( $N = 27$ ) διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την επίδοση των φοιτητών της θεωρητικής ( $N = 59$ ). Οι επιδόσεις δε των φοιτητών θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης δεν διαφέρουν ούτε σε επίπεδο



10%. Σχεδόν τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και από τις συγκρίσεις του συνόλου των φοιτητών, ανά κατεύθυνση αποφοίτησης, συμπεριλαμβάνοντας και τους φοιτητές της ομάδας ελέγχου. Όμως στην περίπτωση αυτή η διαφορά επίδοσης των φοιτητών θετικής κατεύθυνσης (N=21) και τεχνολογικής κατεύθυνσης (N=36) διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την επίδοση των φοιτητών της θεωρητικής (N=81) σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey).

Μεταξύ των παραπάνω συμπερασμάτων που αναφέρονται στα ισοσταθμισμένα δείγματα και της εξέτασης που έγινε με τα πραγματικά δεν προκύπτουν ουσιώδεις διαφορές με τη διαφοροποίηση, ότι οι διαφορές των μέσων επιδόσεων των φοιτητών που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο στα πραγματικά δείγματα είναι σημαντικές σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey), ενώ στα ισοσταθμισμένα είναι σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey) και σε επίπεδο 5% (Πίνακας 10.62).

**Πίνακας 10.62** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των φοιτητών θετικής, τεχνολογικής και θεωρητικής κατεύθυνσης που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο.

Κριτήριο	Κατ/νση	Κατ/νση	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey	ΘΕΤ	TEX	0,484	0,314	0,453	1,421
HSD		ΘΕΩΡ	1.112*	0,282	0,270	1,953
L.S.D.	TEX	ΘΕΩΡ	0,627**	0,227	0,032	1,223

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
 \*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05 ή σε επίπεδο 1% με το κριτήριο L.S.D.

Η εξέταση στη συνέχεια των επιδόσεων των φοιτητών της «ομάδας ελέγχου» ανά κατεύθυνση αποφοίτησης έδειξε ότι: οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W = 2,261$  με  $d.f_1 = 2$ ,  $d.f_2 = 34$ ,  $W < F_{2, 34, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή του δείκτη  $F = 0,938$  ( $F < F_{2, 34, 0,05}$ ). Άρα οι μέσες τιμές επίδοσης των φοιτητών που προέρχονται από τις τρεις κατευθύνσεις και συνεξετάζονται δεν διαφέρουν σημαντικά. Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων.

### 10.19 Ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις συγκρίσεις

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω περιπτώσεις συγκρίσεων συνοψίζονται ως κάτωθι.

A) Η «ομάδα πειραμάτων» στο σύνολο των θεμάτων εξέτασης παρουσιάζει μια τάση να διαφοροποιηθεί ποιοτικά σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες διδακτικής μεθόδου που εφαρμόσαμε. Η στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση της «ομάδας

πειραμάτων» έναντι των ομάδων «επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» σε επίπεδο 10% με το κριτήριο L.S.D. ( $F > F_{0,01,3,147} = 3,782$ , κριτήριο L.S.D.,  $p < 0,10$ ) υπογραμμίζει αυτή την τάση. Όμως αυτή η διαφορά δεν διατηρείται και στα ισοσταθμισμένα δείγματα. Οι διδακτικές μέθοδοι «επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ούτε σε επίπεδο 10%.

Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει τόσο στα πραγματικά δείγματα όσο και στα ισοσταθμισμένα δείγματα από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey), ενώ η ομάδα «συμβατικής διδασκαλίας» και στα δύο δείγματα διαφέρει από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey). Η «ομάδα επίδειξης» στα πραγματικά δείγματα διαφέρει από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey) και στα ισοσταθμισμένα σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey).

Β) Οι τρεις διδακτικές μέθοδοι από τη μελέτη των πραγματικών δειγμάτων δεν είχαν την ίδια αποτελεσματικότητα σε σχέση με την ποιοτική διμεταβλητή καλή /χαμηλή επίδοση ( $\chi^2 = 6,222$ , d.f.=2,  $p < 0,05$ ). Η «ομάδα πειραμάτων» παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερο ποσοστό φοιτητών που είχαν «καλή» επίδοση σε σχέση με τις ομάδες «επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας». Στα ισοσταθμισμένα δείγματα η παραπάνω διαφοροποίηση δεν διατηρήθηκε ( $\chi^2 = 1,600$ , d.f.=2,  $p > 0,05$ ).

Γ) Οι φοιτητές με «καλή επίδοση» και στα δύο δείγματα (πραγματικά και ισοσταθμισμένα) παρουσίασαν την ίδια στατική διαφορά στην επίδοσή τους, σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» (1% κριτήριο Tukey), ανεξάρτητα από τη διδακτική μέθοδο στην οποία συμμετείχαν. Μεταξύ δε των φοιτητών με «καλή επίδοση», της «ομάδας πειραμάτων» και των φοιτητών στις δύο άλλες διδακτικές ομάδες, δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους. Οι τρεις διδακτικές μέθοδοι για την κατηγορία των φοιτητών με «καλή επίδοση» είχαν την ίδια αποτελεσματικότητα.

Οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» με «μέτρια επίδοση» παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά, έναντι των φοιτητών της «ομάδας επίδειξης» και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων (πραγματικών και ισοσταθμισμένων) και επίσης έναντι των φοιτητών της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» στα πραγματικά δείγματα. Οι φοιτητές με «μέτρια επίδοση» που συμμετείχαν στην «ομάδα πειραμάτων» φαίνεται να «κέρδισαν» περισσότερα σε σχέση με τους φοιτητές που συμμετείχαν στις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους.

Οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» με «χαμηλή επίδοση» παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους, έναντι των φοιτητών της ίδιας κατηγορίας που συμμετείχαν στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» (κριτήριο L.S.D.), στα πραγματικά δείγματα και έναντι της «ομάδας επίδειξης» (κριτήριο L.S.D.) στα ισοσταθμισμένα δείγματα. Συνεπώς και οι φοιτητές με «χαμηλή επίδοση» που συμμετείχαν στην «ομάδα πειραμάτων» φαίνεται να «κέρδισαν» περισσότερα σε σχέση με τους φοιτητές που συμμετείχαν στις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους.

Δ) Οι φοιτητές που ήταν απόφοιτοι θετικής κατεύθυνσης δεν διαφοροποιούνται στην επίδοσή τους σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων. Επίσης η μέθοδος συνδυακύμανσης (ANCOVA), για τα πραγματικά δείγματα, επιβεβαίωσε τη διαφορά επίδοσης της «ομάδας πειραμάτων» και



της «ομάδα επίδειξης» σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου». Προφανώς, η καλή γνωστική τους υποδομή στα φυσικά μαθήματα από το λύκειο επικάλυψε την επίδραση των διαφορετικών διδακτικών μεθόδων.

Οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων», που ήταν απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης, παρουσίασαν επίδοση που είναι στατιστικά σημαντική έναντι των φοιτητών της ίδιας κατεύθυνσης που συμμετείχαν στην «ομάδα επίδειξης» (κριτήριο L.S.D) και στην «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» (κριτήριο L.S.D) και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων. Οι διαφορές αυτές δεν επιβεβαιώθηκαν με τη μέθοδο συνδυακύμανσης, επιβεβαιώθηκε μόνο ότι η διαφορά επίδοσης της «ομάδας πειραμάτων» έναντι της «ομάδα ελέγχου» είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 1%.

Οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» που ήταν απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης, δεν διαφοροποιούνται, ως προς την επίδοσή τους από τους φοιτητές που συμμετείχαν στις δύο άλλες ομάδες και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων. Όμως και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων μόνο η «ομάδα πειραμάτων» διαφοροποιείται στατιστικά σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» (σε επίπεδο 5%). Όμως επειδή αυτή η διαφοροποίηση είναι δεν επιβεβαιώνεται και με την μέθοδο ANCOVA.

Η διδακτική μέθοδος φαίνεται να επηρέασε σε ένα βαθμό τους φοιτητές που είχαν ενδιάμεση γνωστική υποδομή, τους φοιτητές αποφοίτους τεχνολογικής κατεύθυνσης.

Ε) Οι φοιτητές θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης, ανεξάρτητα από τη διδακτική μέθοδο στην οποία συμμετείχαν, παρουσίασαν επίδοση που είναι στατιστικά σημαντική σε σχέση με τους συμφοιτητές τους που ήταν απόφοιτοι θεωρητικής κατεύθυνσης και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων.

Οι φοιτητές, δε των τριών κατευθύνσεων που δεν συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση Β (ομάδα ελέγχου) δεν διαφοροποιούνται ως προς την επίδοσή τους στα θέματα εξέτασης και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων. Το παραπάνω υπογραμμίζει ότι οι φοιτητές που δεν συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο, ακόμη και αν προέρχονταν από θετική και τεχνολογική κατεύθυνση έχασαν τη δυνατότητα να θυμηθούν και να συσχετίσουν έννοιες και πληροφορίες, που σε ένα βαθμό γνώριζαν. Επιπλέον, επιβεβαιώνεται ότι σε κάθε μια διδακτική μέθοδο έλαβε χώρα μάθηση των εννοιών που διδάχθηκαν και ότι η μάθηση και η απόκτηση γνώσης σχετίζεται άμεσα με το χρόνο που αφιερώνεται γι' αυτή, αλλά και με τη μορφή άσκησης που γίνεται γι' αυτή.

Γενικά οι παραπάνω ποσοτικές συγκρίσεις αν και δεν δίνουν τα αποτελέσματα που προσδοκούσαμε για την «ομάδα πειραμάτων» δείχνουν όμως μια τάση ποιοτικής διαφοροποίησής της σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες και αυτό φαίνεται εντονότερα με τις περισσότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρουσιάζει σε σχέση με την ομάδα αναφοράς, την «ομάδα ελέγχου». Η εννοιολογική μετατόπιση των ατόμων είναι μια δύσκολη και μακροχρόνια διαδικασία και μια σύντομη διδακτική παρέμβαση δεν μπορεί να δώσει πολύ διακριτά αποτελέσματα.



**Πίνακας 10.63** Ανακεφαλαίωση των διαφορών περιπτώσεων σύγκρισης των ομάδων για τις δύο περιπτώσεις δειγμάτων

Περίπτωση σύγκρισης	Πραγματικά δείγματα	Ισοσταθμισμένα δείγματα
Σύγκριση της επίδοσης των ομάδων σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο στην οποία συμμετείχαν στο σύνολο των θεμάτων.	<p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% L.S.D. ή 5% Tukey                      Π &gt; Σ, 10% L.S.D.                      Π &gt; ΕΠ, 10% L.S.D.</p>	<p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 5% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% L.S.D. ή 5% Tukey</p>
Σύγκριση της επίδοσης των ομάδων ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση.	<p>Οι τρεις διδακτικές μέθοδοι δεν έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα σε σχέση με τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση (<math>\chi^2 = 6,222</math>, d.f. = 2, <math>p &lt; 0,05</math>). Η «ομάδα πειραμάτων» είναι αποτελεσματικότερη.</p>	<p>Η διδακτική μέθοδος δεν διαφοροποίησε τις επιδόσεις των φοιτητών ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση (<math>\chi^2 = 1,600</math>, d.f. = 2, <math>p &gt; 0,05</math>).</p>
Ποιες κατηγορίες φοιτητών σε σχέση με το επίπεδο επίδοσης (καλή, μέτρια, χαμηλή) ωφελήθηκαν από κάθε διδακτική μέθοδο.	<p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% Tukey</p> <p>Οι τρεις διδακτικές μέθοδοι είχαν την ίδια αποτελεσματικότητα.</p> <p><b>Μέτρια επίδοση</b></p> <p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% Tukey</p> <p>Π &gt; Σ, 5% L.S.D.                      Π &gt; ΕΠ, 1% Tukey</p>	<p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% Tukey</p> <p><b>Καλή επίδοση</b></p> <p>Π &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      ΕΠ &gt; ΕΛ, 1% Tukey                      Σ &gt; ΕΛ, 1% Tukey</p>

## Χαμηλή επίδοση

Π > ΕΛ, 5% Tukey	Π > ΕΛ, 1% Tukey
ΕΠ > ΕΛ, 10% L.S.D.	ΕΠ > ΕΛ, 5% L.S.D.
Π > Σ, 5% L.S.D.	Σ > ΕΛ, 1% Tukey
	Π > ΕΠ, 5% L.S.D.

## Θετικής κατεύθυνσης

Π > ΕΛ, 1% Tukey (ANCOVA/ Bonferroni)	Π > ΕΛ, 5% Tukey
ΕΠ > ΕΛ, 5% Tukey (ANCOVA/ onferroni)	ΕΠ > ΕΛ, 5% Tukey
Σ > ΕΛ, 5% Tukey	Σ > ΕΛ, 5% Tukey

## Τεχνολογικής κατεύθυνσης

Αξιολόγηση των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με την κατεύθυνση αφοσίωσης από το λύκειο.	Π > ΕΛ, 1% Tukey (ANCOVA / Bonferroni)
	Π > ΕΛ, 5% Tukey
	Π > ΕΠ, 5% L.S.D.
	Π > Σ, 5% L.S.D.

## Θεωρητικής κατεύθυνσης

Π > ΕΛ, 5% Tukey	Π > ΕΛ, 5% L.S.D.
ΕΠ > ΕΛ, 10% L.S.D.	
Σ > ΕΛ, 10% L.S.D.	
Καμία από τις τρεις συγκρίσεις δεν επαληθεύεται με ANCOVA	

## Φοιτητές που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο

Αξιολόγηση της επίδρασης της κατεύθυνσης αφοσίωσης από το λύκειο ανεξάρτητα από τη διδακτική ομάδα στην οποία συμμετείχαν.	Φοιτητές που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο
	ΘΕΤ > ΘΕΩΡ., 1% Tukey
	ΤΕΧ > ΘΕΩΡ., 1% Tukey
	Φοιτητές που δεν συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο (ομάδα ελέγχου)
	Δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΙ

#### ΤΥΠΟΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ - ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ - ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ- ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ

##### 11.1 Πρόβλημα-θέμα 1

Η περίπτωση της πυκνότητας ανήκει στο λόγο δύο διαφορετικών φυσικών μεγεθών και δείχνει ποιο ποσό του αριθμητή αντιστοιχεί στη μοναδιαία ποσότητα του παρονομαστή. Ο Arons αναφέρει ότι: «Οι μαθητές έχουν την τάση να χρησιμοποιούν τον τύπο της πυκνότητας  $\rho=m/V$ . Αν ο όρος «πυκνότητα» δεν αναφερθεί και πούμε απλώς ότι ένα υλικό περιέχει 2,3g σε κάθε κυβικό εκατοστό, οι περισσότεροι μαθητές τα «χάνουν», δεν ξέρουν τι να κάνουν όταν δε διαθέτουν κάποιο τύπο για να τον εφαρμόσουν. Ερευνώντας τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο τύπο, αναδεικνύεται εκείνο που ο Piaget θα χαρακτήριζε ως «συγκεκριμένη λειτουργική» (concrete operational) απάντηση. Σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές δεν σκέφτονται αριθμητικά ή αλγεβρικά. Αναδιατάσσουν απλώς τα σύμβολα σαν να είναι συγκεκριμένα αντικείμενα με τα χαρακτηριστικά των οποίων έχουν εξοικειωθεί. Σωστή απάντηση στην ερώτηση δεν σημαίνει απαραίτητα ότι έχουν συλλάβει το νόημα των σχετικών συλλογισμών. Ερωτήσεις του τύπου «Έχουμε 800g υλικού πυκνότητας 2,3 g/cm<sup>3</sup>. Πόσο όγκο καταλαμβάνει το υλικό;» πρέπει να καθοδηγήσουν τους μαθητές να αντιληφθούν ότι το 2,3 είναι ο αριθμός των γραμμαρίων σε ένα κυβικό εκατοστό, φανταζόμαστε τη συγκεκριμένη ποσότητα σαν συσσωμάτωμα ή πακέτο. Αν βρούμε πόσα τέτοια πακέτα περιέχονται σε 800g υλικό, προσδιορίζουμε το συνολικό αριθμό των κυβικών εκατοστών, επειδή κάθε πακέτο αντιστοιχεί σ' ένα κυβικό εκατοστό» (Arons, 1990, σ. 28 και 32).

Η Smith κ.ά. (1984) βρήκαν ότι η αρχική ιδέα των παιδιών για την πυκνότητα μπορεί να περιγραφεί με τη φράση «βαρύ για το μέγεθός του». Πριν την ηλικία των 5-7 ετών τα παιδιά κατά τους παραπάνω ερευνητές φαίνεται να έχουν ξεχωριστές και μη συσχετισμένες αντιλήψεις για το βάρος και το μέγεθος. Επιλεκτικά εστιάζουν την προσοχή τους στο μέγεθος, αγνοώντας την «αίσθηση του βάρους» και αντιστρόφως, χωρίς να τα συσχετίζουν. Ωστόσο μεταξύ των ηλικιών 5-7 ετών, η αντίληψη για την πυκνότητα (βαρύ για το μέγεθος του) φαίνεται να προστίθεται στην ιδέα των παιδιών για



το «βάρος», έτσι ώστε το «βάρος» και η «πυκνότητα» δε διαφοροποιούνται αλλά συμπεριλαμβάνονται στη γενική αντίληψη που έχουν τα παιδιά για την έννοια του βάρους.

Στη μελέτη του Rowell κ.ά. (1990) με μαθητές ηλικίας 11 ετών, βρέθηκε ότι το 80% του δείγματος είχε παρανοήσεις για τον όγκο, οι οποίες προκαλούν σοβαρές δυσκολίες στην κατανόηση της πυκνότητας. Ο Hewson (1986) ερευνώντας τη χρήση του σωματιδιακού μοντέλου για την κατανόηση της πυκνότητας έδειξε ότι, αν και ένας αριθμός σπουδαστών ηλικίας 14-22 ετών συσχετίζουν την πυκνότητα του υλικού με τη διευθέτηση της σωματιδιακής τους δομής, οι εξηγήσεις τους είναι ανεπαρκείς ή ατελείς. Οι απόψεις τους για τη μάζα και τον όγκο εξαρτώνται από τις αντιλήψεις τους για την οργάνωση, τη συγκέντρωση και τη μάζα των σωματιδίων που συνιστούν τα υλικά σώματα.

Τέλος ο Piaget (1973) βρήκε ότι τα παιδιά αρχικά έχουν την ιδέα ότι ένα σώμα είναι «ελαφρύ» (ένα βότσαλο είναι ελαφρύ). Σταδιακά όμως η άποψή τους μετατοπίζεται στο ότι το σώμα είναι «ελαφρύ γι' αυτά» αλλά «βαρύ για το νερό». Στην ηλικία των 9-10 ετών, τα παιδιά αρχίζουν να συσχετίζουν την πυκνότητα ενός υλικού με την πυκνότητα ενός άλλου. Για παράδειγμα, τα παιδιά λένε ότι ένα υλικό επιπλέει στο νερό γιατί είναι «ελαφρύτερο από το νερό».

Η πυκνότητα ως βασική ιδιότητα των υλικών σωμάτων εισάγεται από πολύ νωρίς στα αναλυτικά προγράμματα. Οι φοιτητές του δείγματος μας τη διδάχθηκαν για πρώτη φορά στην Ε' τάξη του δημοτικού σχολείου [Φυσικά Ε' τάξης (Δασκαλάκης, κ.ά., 1993), πρώτο μέρος, σ. 14] και στη συνέχεια την επανέλαβαν στη χημεία και τη φυσική της β' γυμνασίου, σ. 3 και σ. 46-48 αντίστοιχα [Χημεία β' γυμνασίου (Γεωργιάδου, κ.ά., 2003), Φυσική β' γυμνασίου (Αντωνίου, κ.ά., 2003)] καθώς και στη φυσική και χημεία της Α' λυκείου, σ. 9 και σ. 27 αντίστοιχα [Χημεία Α' λυκείου (Λιοδάκης, κ.ά., 2002), Φυσική Α' λυκείου (Βλάχος, κ.ά., 2001)]. Επίσης την έννοια της πυκνότητας, ως θεμελιώδη έννοια στις φυσικές επιστήμες, οι μαθητές τη χρησιμοποιούν σε πληθώρα περιπτώσεων, καθόσον αυτή μπορεί να υπεισέρχεται σε όλες σχεδόν τις ενότητες της φυσικής και χημείας και εμπλέκεται σε ένα μεγάλο αριθμό προβλημάτων.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι τα σχολικά βιβλία αναφέρονται μόνο στη μέτρηση της μάζας των στερών και υγρών με τη βοήθεια του ζυγού. Κανένα σχολικό βιβλίο δεν κάνει κάποια αναφορά στη μέτρηση της μάζας των αερίων. Προφανώς θεωρούν ότι αναφερόμενοι στη μέτρηση της μάζας των στερεών και των υγρών είναι «καλυμμένοι» και για τη μέτρηση της μάζας των αερίων. Η αναφορά στη μέτρηση της μάζας αερίου, αν και μπορεί λόγω δυσκολίας να παρακαμφθεί για μαθητές γυμνασίου, η μη διδασκαλία της σε μαθητές λυκείου δημιουργεί ένα διδακτικό «κενό». Ερωτήματα που αναδύονται από μια προσπάθεια μέτρησης της μάζας αερίου είναι: α) πώς θα έχουμε ένα δοχείο που δεν περιέχει αέρα ή κάποιο άλλο αέριο, ώστε να συγκρίνουμε τη μάζα ενός άδειου και ενός «γεμάτου» δοχείου. β) Όλοι οι ζυγοί μπορούν να δείξουν τη διαφορά μάζας μεταξύ ενός δοχείου π.χ. με αέρα και ενός δοχείου χωρίς αέρα; γ) Ποιος ο ρόλος της άνωσης στις μετρήσεις της μάζας αερίου, αφού αυτές γίνονται σε δοχεία (π.χ. σε ένα μπαλόνι), που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα;



Επίσης στα σχολικά βιβλία παρουσιάζεται με εικονικό τρόπο η μέτρηση του όγκου στερεού σώματος, που δεν έχει γεωμετρικό σχήμα, με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου και παρουσιάζονται τα πιο συνηθισμένα όργανα για τη μέτρηση του όγκου ενός υγρού (προχοϊδα, σιφώνιο, ογκομετρικός κύλινδρος, ογκομετρική φιάλη). Στην περίπτωση των αερίων η εξάρτηση της τιμής του όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου από τις τιμές πίεσης και θερμοκρασίας είναι καθοριστική, ενώ η αναφορά στις τιμές πίεσης και θερμοκρασίας κατά τη μέτρηση του όγκου στερεών και υγρών δεν είναι απαραίτητη για θερμοκρασίες που απέχουν πολύ από το σημείο τήξης για τα στερεά και από το σημείο ζέσης για τα υγρά. Επίσης συνήθεις τιμές της πίεσης δεν επηρεάζουν το μετρούμενο όγκο των στερεών και υγρών, αφού αυτά θεωρούνται πρακτικώς ασυμπίεστα.

Στα σχολικά εργαστήρια των δικών μας σχολείων για την κατανόηση της πυκνότητας των στερεών υπάρχει μια συλλογή κύβων ακμής 1cm από διαφορετικές ουσίες π.χ. σίδηρο, χαλκό, ξύλο, φελλό κ.ά. Έτσι, η συνειδητοποίηση της διαφορετικής τιμής πυκνότητας των στερεών μπορεί εύκολα να αποκτηθεί. Επίσης δοχεία ίσου όγκου και ίδιου σχήματος, που περιέχουν διαφορετικά υγρά, μπορούν να δώσουν μια αισθητοποίηση της διαφορετικής τιμής πυκνότητας π.χ. δύο δοχεία των 250 ml το ένα με νερό και το άλλο με υδράργυρο.

Στην περίπτωση των αερίων η πολύ μικρή τιμή πυκνότητας δημιουργεί δυσκολία όχι μόνο στην κατανόηση των διαφορετικών τιμών πυκνότητας των διαφόρων αερίων, αλλά και στην κατανόηση της ίδιας της έννοιας, αφού αυτή προϋποθέτει την κατανόηση ότι τα αέρια είναι υλικά σώματα.

Από τη βαθμολόγηση των γραπτών των φοιτητών στο θέμα 1 (Κεφ. 10, Πίνακας 10.1), στο α' ερώτημα, που αναφερόταν στην πυκνότητα του νερού της πσίνας, η επίδοση τους είναι ικανοποιητική [η μέση επίδοση του συνολικού δείγματος (N=151) είναι 2,9 με άριστα το 4,5]. Αξιοπρόσεχτη είναι η υψηλή επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» (μέση επίδοση 3,5) και ακολουθούν με μικρότερες επιδόσεις η «ομάδα επίδειξης» και η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» με μέσες τιμές 3,1 και 2,7 αντίστοιχα. Τη χαμηλότερη επίδοση έφερε η ομάδα ελέγχου, μέση τιμή 2,4.

Στο β' ερώτημα που αναφέρεται στην πυκνότητα του αέρα οι επιδόσεις σε όλες τις ομάδες μειώνονται απογοητευτικά [η μέση επίδοση στο συνολικό δείγμα (N=151) είναι 0,6 με άριστα το 5,5]. Στην ομάδα που εκτέλεσε τα πειράματα ένα γραπτό πήρε στο ερώτημα αυτό βαθμό 5 και δύο γραπτά 3. Στην ομάδα «επίδειξης πειραμάτων» ένα γραπτό πήρε βαθμό 5,5, στην ομάδα «συμβατικής διδασκαλίας» τρία γραπτά πήραν βαθμούς από 5-5,5 και ένα γραπτό 4 και τέλος στην «ομάδα ελέγχου» ένα γραπτό πήρε βαθμό 5,5 και ένα 4. Προφανώς οι διαφορές στους αριθμούς των υψηλών επιδόσεων των ομάδων οφείλονται στην τυχαία διακύμανση της βαθμολογίας των δειγμάτων και δεν είναι συστηματικές. Οι διαφορές στις επιδόσεις των διαφόρων ομάδων είναι πολύ μικρές και καμία από τις ομάδες δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι πήγε καλύτερα. Επίσης η μέση επίδοση και των τριών πειραματικών ομάδων (μέση τιμή 0,6) σε σχέση με την ομάδα ελέγχου είναι αμελητέα (μέση τιμή 0,5).



Φαίνεται ότι η έννοια της πυκνότητας είναι δυσπρόσιτη ακόμη και στους πρωτοετείς φοιτητές και καμία από τις διδακτικές μεθοδολογίες που εφαρμόσαμε για να διδάξουμε την εύρεση της πυκνότητας του αέρα, στην παρέμβαση Β, δεν μετατόπισε εννοιολογικά τους φοιτητές.

Γενικά η επίδοση στο θέμα 1 είναι χαμηλή. Η μέση επίδοση των πειραματικών ομάδων είναι 3,8, με άριστα το 10 και της ομάδας ελέγχου 2,9. Όπως δείξαμε με την ανάλυση διακύμανσης μόνο η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει στατιστικά σε επίπεδο σημαντικότητας 1% από την ομάδα ελέγχου.

Από τη μελέτη των απαντήσεων των φοιτητών προέκυψαν οι παρακάτω παρατηρήσεις. Χαρακτηριστικά σημεία των απαντήσεων των φοιτητών, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου καταγράφονται στον Πίνακα 11.1.

Στο α' ερώτημα, να υπολογίσεις την τιμή της μάζας του νερού που περιέχεται σε πισίνα ορισμένων διαστάσεων, σ' ένα μεγάλο ποσοστό γραπτών (29,1% στο σύνολο του δείγματος, Πίνακας 11.1) αντικατοπτρίζεται μεγάλη σύγχυση στις μετατροπές των μονάδων. Ο όγκος της πισίνας βρίσκεται σε  $m^3$  και η πυκνότητα του νερού δίνεται σε  $Kg/L$ . Έτσι απαιτείται η μετατροπή των  $m^3$  σε  $L$  ή το αντίστροφο. Μεγάλο ποσοστό φοιτητών δεν γνωρίζει πόσα λίτρα περιέχονται σε  $1 m^3$ . Επίσης ενδεικτικό της αδυναμίας τους είναι ότι κάποιοι πρώτα μετατρέπουν τα  $m^3$  σε  $cm^3$  και στη συνέχεια τα  $cm^3$  σε  $L$ . Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να βρίσκουν παράλογα αποτελέσματα, όπως ότι η μάζα του νερού στη πισίνα είναι  $72 Kg$  ή  $0,72 Kg$  ή  $0,00072 Kg$ , χωρίς να υποβάλλουν τα αποτελέσματά τους σε κριτική εκτίμηση και βέβαια στη συνέχεια η λάθος απάντηση στο β' ερώτημα είναι εξασφαλισμένη. Παραθέτουμε περίπτωση γραπτού που φαίνεται η λάθος μετατροπή μονάδων για τον υπολογισμό της μάζας του νερού και ο τρόπος υπολογισμού της μάζας του αέρα.

α)  $V_n = 6m \cdot 4m \cdot 3m = 72 m^3$   
 Ο όγκος της πισίνας είναι  $72 m^3 = 0,72 L$   
 Από τον τύπο της πυκνότητας  $\rho = \frac{m}{V}$  συμπερασματικά  
 την αλληλεπίκλιση και τον όγκο βρίσκουμε την μάζα:  
 $m = \rho \cdot V = 1 \cdot 72 = 0,72 kg$

β) Η πυκνότητα του νερού είναι  $\rho_1 = \frac{m_1}{V}$   
 Η πυκνότητα του αέρα είναι  $\rho_2 = \frac{m_2}{V}$

$\Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1}{m_2}$

Η πυκνότητα του αέρα είναι μικρότερη από αυτή του νερού  
 άρα αφού  $\rho_2 < \rho_1 \Rightarrow m_2 < m_1$  άρα  $m_2 = 0,72 kg$

Σε σχέση με το β' ερώτημα, πόση εκτιμάς ότι είναι η μάζα του αέρα που περιέχεται σε όγκο ίσο με τον όγκο της πισίνας (οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας



θεωρούνται ίδιες μ' αυτές που επικρατούν στην πισίνα με νερό) ένας πολύ μικρός αριθμός φοιτητών (3,9% στο σύνολο του δείγματος) διαιρούν τις προτεινόμενες μάζες αέρα με τον όγκο της πισίνας που έχουν υπολογίσει από το πρώτο ερώτημα. Από τις τιμές πυκνότητας που υπολογίζουν εκτιμούν ή θυμούνται μια αποδεκτή τιμή πυκνότητας του αέρα και στη συνέχεια επιλέγουν τη σωστή μάζα του αέρα.

Μικρό είναι επίσης το ποσοστό των φοιτητών (3,3% στο σύνολο του δείγματος) που θυμούνται μια αποδεκτή τιμή πυκνότητας αέρα, όπως ότι  $1\text{m}^3$  αέρα ζυγίζει  $1 \frac{1}{4}$  Kg, από το βιβλίο του Hewitt που τους έχει διανεμηθεί, και με τη βοήθεια του γνωστού όγκου της πισίνας υπολογίζουν τη μάζα του αέρα. Επίσης μικρό είναι και το ποσοστό των φοιτητών που γνωρίζουν ότι η πυκνότητα του αέρα είναι περίπου 800 φορές μικρότερη από τη πυκνότητα του νερού. Παραθέτουμε περίπτωση σωστής απάντησης στο ερώτημα β'.

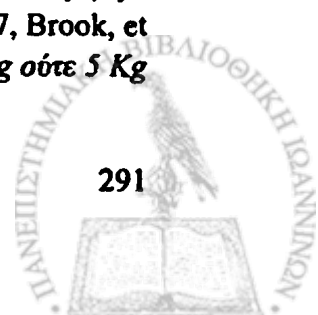
3) Α) Αφού η πισίνα είναι γεμάτη με νερό θα αρπάζει περίπου  $6\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot 9\text{m} = 216\text{m}^3 = 216 \cdot 1000\text{L} = 216000\text{L}$   
 Αφού 1L νερό ζυγίζει 1kg τότε τα 216000L νερό ζυγίζουν 216000kg, δηλαδή 216 τόνους.

β) Αφού η πυκνότητα του αέρα περιέχεται σε όγκο ίσο με τον όγκο της πισίνας θα ταυτιστεί με τον όγκο της πισίνας.  $\rho_{\text{αέρα}} = \frac{m}{V}$   
 $\rho_{\text{αέρα}} = \frac{1 \frac{1}{4} \text{kg}}{1 \text{m}^3} = 1,25 \text{kg/m}^3$

Γνωρίζουμε  $d = \frac{m}{V}$  οπότε αρκεί να  $m = d \cdot V$   
 από  $\rho_{\text{αέρα}} = 1,25 \text{kg/m}^3$   $216\text{m}^3 = 90 \text{kg}$   
 Γνωρίζουμε η μάζα περιέχεται στους 216 τόνους

Επίσης, σημαντικό είναι το ποσοστό των φοιτητών (23,8% στο σύνολο του δείγματος) που αναφέρουν απλώς ότι η πυκνότητα του αέρα είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού, και γράφουν ότι η μάζα αέρα, όγκου ίσου με τον όγκο του νερού της πισίνας, θα είναι μικρότερη από τη μάζα του νερού. Δεν βρίσκουν όμως τη σωστή τιμή της μάζας του αέρα. Στο ίδιο μήκος κύματος βρίσκεται και μια άλλη ομάδα απαντήσεων που αναφέρουν ότι «τα μόρια του αέρα είναι λιγότερο πυκνά από του νερού». Όμως αυτό δεν είναι το ζητούμενο για άτομα της ηλικίας τους.

Δεν λείπουν οι περιπτώσεις γραπτών (6,6% στο σύνολο του δείγματος) που οι απαντήσεις τους θυμίζουν τις απαντήσεις μαθητών κυρίως δημοτικού και γυμνασίου. Θεωρούν ότι ο αέρας είναι κάτι πάρα πολύ ελαφρύ και δεν μπορεί να ζυγίζει οποιαδήποτε ποσότητά του πάνω από μερικές δεκάδες γραμμάρια (Stavy, 1987, Brook, et al, 1989). Χαρακτηριστικά γράφουν: «Δεν γίνεται ο αέρας να ζυγίζει ούτε 90 Kg ούτε 5 Kg ούτε 1100 Kg όταν η ποσότητά του είναι όση είναι η πισίνα».



Πίνακας 11.1 Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 1, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύποι απαντήσεων	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
Ποσοστό %					
α' ερώτημα					
1. Υπολογίζουν σωστά τη μάζα του νερού της πισίνας.	60,5	62,2 58,9	53,1	41,0	54,3
2. Υπολογίζουν λάθος τη μάζα του νερού της πισίνας.	34,9	32,4 34,8	37,5	41,0	36,4
2α. Σύγκριση στη μετατροπή των μονάδων όγκου*.	25,6	27,0 28,6	34,4	30,8	29,1
3. Δεν απαντούν	4,6	5,4 6,2	9,4	17,9	9,3
β' ερώτημα					
4. Εκτιμούν ή θυμούνται αποδεκτή τιμή της πυκνότητας του αέρα και υπολογίζουν σωστά τη μάζα αέρα όγκου ίσου με τον όγκο της πισίνας.	6,9	2,7 7,1	12,5	7,7	7,3
5. Αναφέρουν ότι η πυκνότητα του αέρα είναι πολύ μικρότερη από την πυκνότητα του νερού / τα μόρια του αέρα βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τα μόρια του νερού.	30,2	24,3 25,9	21,8	17,9	23,8
6. Επιλέγουν σωστή τιμή μάζας αέρα και δεν την αιτιολογούν ή την αιτιολογούν λάθος.	13,9	13,5 12,5	9,4	10,2	11,9
7. Επιλέγουν λάθος τιμή μάζας αέρα, δεν την αιτιολογούν ή την αιτιολογούν λάθος.	23,3	18,9 18,7	12,5	12,8	17,2
8. Αναφέρουν ότι οποιαδήποτε ποσότητα αέρα δεν μπορεί να ζυγίζει πάνω από μερικές δεκάδες γραμμάρια- ο αέρας είναι κάτι πολύ ελαφρύ.	2,3	8,1 6,2	9,4	7,7	6,6
9. Δεν απαντούν	23,3	32,4 29,5	34,4	43,6	33,1

\*Τα ποσοστά της περίπτωσης 2α δεν προσμετρώνται στο ποσοστιαίο άθροισμα καθώς αποτελούν μέρος της περίπτωσης 2.





## 11.2 Πρόβλημα-θέμα 2

Από τη μελέτη των απαντήσεων των φοιτητών προέκυψε ο Πίνακας 11.2, που περιγράφει τις απαντήσεις στα τρία ερωτήματα του θέματος. Επιπλέον καταγράφονται και οι λανθασμένες απαντήσεις που δόθηκαν στο τρίτο ερώτημα. Η παρανόηση που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα (17,9% στο σύνολο του δείγματος) είναι σχετική με τον τρόπο που ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα. Η παρανόηση αυτή εκφράζεται με δύο τύπους απαντήσεων (περίπτωση 8, Πίνακας 11.2). Στον πρώτο τύπο (9,9% στο σύνολο του δείγματος) η διατύπωση είναι: «η πίεση μοιράζεται σε όλη την επιφάνεια της βιτρίνας και όχι σε ένα σημείο της...έτσι η βιτρίνα δε θρυμματίζεται». Η πρόταση αυτή λαμβάνει υπόψη της μόνο την πίεση που ασκείται στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας και αγνοεί τρεις βασικές ιδιότητες της πίεσης των αερίων: α) η πίεση αερίου που δεν βρίσκεται σε δυναμική κατάσταση είναι η ίδια σε όλη του την έκταση. β) κάθε σώμα που βρίσκεται σε επαφή με αέριο δέχεται πιεστική δύναμη που είναι κάθετη στην επιφάνειά του, με φορά από το αέριο προς το σώμα και γ) η ίδια πίεση επικρατεί σε όλες τις έδρες του σώματος, ανεξάρτητα από το εμβαδόν τους, όταν αυτό βρίσκεται μέσα στον αέρα.

Στο δεύτερο τύπο απαντήσεων η παρανόηση οφείλεται στην άκριτη εφαρμογή του τύπου ορισμού της πίεσης ( $P=F/A$ ) από τα στερεά σώματα στα αέρια. Αναφέρουν ότι: «επειδή η πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού της επιφάνειας και η επιφάνεια της βιτρίνας είναι μεγάλη, άρα η πίεση στη βιτρίνα είναι μικρή και έτσι δε θρυμματίζεται». Οι φοιτητές που έδωσαν αυτό τον τύπο απάντησης (7,9% στο σύνολο του δείγματος) δεν φαίνεται να αντιλήφθηκαν την τάξη μεγέθους των ευρεθεισών τιμών στα δύο προηγούμενα ερωτήματα. Παραθέτουμε περίπτωση αυτού του τύπου απάντησης από γραπτό φοιτητή.

2) Η βιτρίνα δε θρυμματίζεται γιατί επιρροή μω  
 στον τύπο  $P = \frac{F}{S}$  και συγκεκριμένα ότι η δύναμη  
 με το εμβαδόν είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα,  
 συνεπώς ομοιωμε ότι μεγάλη δύναμη συνεπάγεται  
 μικρή επιφάνεια. Έτσι στο συγκεκριμένο παράδειγμα  
 έχουμε  $S$  μικρή επιφάνεια  $\Rightarrow$  μεγάλη δύναμη  $\Rightarrow$  αέρι  
 $\Rightarrow$  δε θρυμματίζεται.

Η επόμενη κατά σειρά συχνότητα (15,6% στο σύνολο του δείγματος) εμφανιζόμενη παρανόηση συνδέεται με τη σύγχυση μεταξύ δύναμης και πίεσης. Στις απαντήσεις τους οι φοιτητές αναφέρονται μόνο σε δυνάμεις που δρουν στις δύο επιφάνειες της βιτρίνας ή μόνο σε πιέσεις, όταν δε αναφέρονται και στις δύο έννοιες δεν τις συνδέουν σωστά. Παραθέτουμε αυτό τον τύπο απάντησης από γραπτό φοιτητή.

Η ατμοσφαιρική πίεση είναι  $10^5 \text{ N/m}^2$ , ενώ η δύναμη έχει τιμή  $4 \cdot 10^4 \text{ N}$ . Άρα η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη απ' όση δύναμη που ασκείται στη βιτρίνα, με αποτέλεσμα η βιτρίνα να μην θρυμματίζεται.

Η διαπίστωση της παραπάνω παρανόησης βρίσκεται σε συμφωνία με άλλες έρευνες, σχετικές με τις ιδέες των μαθητών για φαινόμενα των ρευστών. Αυτές διαπιστώνουν ότι οι μαθητές αποδίδουν διανυσματικά χαρακτηριστικά στην πίεση και τη συγχέουν με τη δύναμη (Sere, 1982, Engel & Driver, 1985, Kariotoglou, et al., 1990).

Οι παραπάνω καταγραφείσες παρανοήσεις βρίσκονται μέσα στο πλαίσιο των ιδεών των μαθητών που ομαδοποίησαν οι Καριώτογλου και Ψύλλος (1991) σχετικά με την πίεση (βλέπε, Κεφ. 3, 3.2, Θεωρητικό Πλαίσιο II).

Με μικρότερη συχνότητα (11,2% στο σύνολο του δείγματος) εμφανίζονται οι παρακάτω παρανοήσεις. Η μια προέρχεται από τη λανθασμένη μεταφορά του τρίτου νόμου του Νεύτωνα στο εννοιολογικό πλαίσιο των αερίων. Οι φοιτητές εδώ ισχυρίζονται δύο προτάσεις. Στην πρώτη πρόταση θεωρούν τη δράση της ατμοσφαιρικής πίεσης στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας ως «δράση» και στην εσωτερική επιφάνεια να δρα η «αντίδρασή» της, ως «δράση-αντίδραση εξουδετερώνονται ... και έτσι η βιτρίνα δε θρυμματίζεται». Στη δεύτερη πρόταση λαμβάνουν υπόψη τους μόνο τη δράση της ατμοσφαιρικής πίεσης ή τη δύναμη λόγω της ατμοσφαιρικής πίεσης στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας, την οποία θεωρούν ως «δράση» και τη δύναμη που ασκεί η βιτρίνα (προφανώς η εξωτερική επιφάνεια) στην ατμοσφαιρική πίεση ως «αντίδραση». Έτσι η βιτρίνα δε θρυμματίζεται. Χαρακτηριστική είναι η απάντηση που παραθέτουμε.



4) α) Εμβαδόν επιφάνειας  $S = \text{βάση} \cdot \text{ύψος} = 3 \cdot 1,5 \Rightarrow S = 4,5 \text{ m}^2$   
 $P = \frac{F}{S} \Rightarrow F = P \cdot S = 10^5 \cdot 4,5 = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N}$   
 $F = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N}$

β)  $B = m \cdot g \Rightarrow F = m \cdot g \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{4,5 \cdot 10^5}{10} \Rightarrow m = 4,5 \cdot 10^4 \text{ kg}$

γ) Η βιτρίνα δεν αρπάζεται διότι στην επιφάνεια της βιτρίνας δεν ασκείται μόνο η αεροστατική πίεση. Ασκείται και δύναμη μέσα από τα κατώτερα στην εσωτερική επιφάνεια της βιτρίνας. Δηλαδή σε κάθε σημείο υπάρχει και μια αντίδραση (2ος νόμος Νεύτωνα). Επομένως οι δύο δυνάμεις αλληλοεξουδεκρίζονται...

Η παρανόηση αυτή από τη μια πλευρά δηλώνει τη μη κατανόηση των νόμων της μηχανικής, καθόσον σε κάθε δράση υπάρχει και μια αντίδραση, αλλά οι δύο αυτές δυνάμεις εφαρμόζονται σε διαφορετικά σώματα. Από την άλλη πλευρά οι νόμοι της μηχανικής, όταν εφαρμόζονται στα ρευστά, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τις μακροσκοπικές διαφορές τους από τα στερεά.

Τα σχολικά εγχειρίδια ξεκινούν τη μελέτη των φυσικών φαινομένων με την κινηματική και δυναμική του υλικού σημείου. Η έννοια του υλικού σημείου είναι μια αφαίρεση που απλοποιεί τη μελέτη της κίνησης και της ηρεμίας των στερεών σωμάτων. Η θεωρητική υποδομή που δημιουργεί η μελέτη αυτή στη συνέχεια μεταφέρεται στη μελέτη των ρευστών χωρίς να δοθεί έμφαση στις διαφορές μεταξύ στερεών και ρευστών. Τα ρευστά διαφέρουν μακροσκοπικά από τα στερεά, δεν έχουν ορισμένο σχήμα, αλλά παίρνουν το σχήμα του δοχείου, στο οποίο περιέχονται. Επιπλέον τα αέρια έχουν όγκο ίσο με εκείνο του δοχείου μέσα στον οποίο περιορίζονται.

Υπάρχει μια διαφορά στον τρόπο που μια επιφανειακή δύναμη δρα σ' ένα ρευστό και σ' ένα στερεό. Στα στερεά δεν υπάρχουν περιορισμοί για τη διεύθυνση μιας τέτοιας δύναμης, αλλά στα ρευστά, σε κατάσταση ηρεμίας, η επιφανειακή δύναμη πρέπει πάντα να κατευθύνεται κάθετα προς την επιφάνεια. Σε ένα υγρό που ηρεμεί δεν μπορεί να υπάρχει επαπτομενική δύναμη, τα στρώματα του ρευστού θα γλιστρήσουν το ένα πάνω στο άλλο, όταν θα υποβληθούν σε μια τέτοια δύναμη. Η «ανικανότητα» των ρευστών να αντισταθούν σε τέτοιες επαπτομενικές δυνάμεις (ή διατμητικές τάσης) τους δίνει την ιδιότητα να αλλάζουν το σχήμα τους ή να ρέουν (Halliday & Resnick, Μέρος πρώτο, 1976, σ. 424).

Στα ρευστά δεν μπορούμε να τους ασκήσουμε δύναμη σε κάποιο σημείο παρά μόνο μέσω εμβόλου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μη μπορούμε να μελετήσουμε τα ρευστά χρησιμοποιώντας το μοντέλο του υλικού σημείου. Για τη μελέτη των ρευστών το επιστημονικό μοντέλο της Φυσικής εισάγει την έννοια του τμήματος ρευστού απειροστού όγκου, που είναι πολύ μικρό σε σχέση με το συνολικό όγκο του ρευστού, αλλά μεγάλο σε σχέση με τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων. Η πίεση των ρευστών είναι αριθμητικό-καταστατικό μέγεθος. Έχει έννοια στο εσωτερικό του ρευστού ή στα όριά του και



οφείλεται σε δυνάμεις πεδίου (βαρυτικές, ηλεκτρομαγνητικές) ή εμβόλου. Επιπλέον τα ρευστά προκαλούν σε κάθε επιφάνεια με την οποία έρχονται σε επαφή πιεστικές δυνάμεις που είναι κάθετες στις επιφάνειες, με φορά από το ρευστό προς την επιφάνεια. Η πίεση μπορεί να υπάρχει σε ένα σημείο του ρευστού, δεν γίνεται όμως αντιληπτή παρά μόνο μέσω της πιεστικής δύναμης που προκαλεί π.χ. την παραμόρφωση στη μεμβράνη της μανομετρικής κάψας.

Μια βασική ιδιότητα των ρευστών, που τα διαφοροποιεί από τα στερεά, και δεν δίνεται με έμφαση στα σχολικά βιβλία, είναι ότι τα ρευστά είναι μεταδότες πίεσης. Αν το δοχείο στο οποίο περιέχεται το ρευστό έχει κατάλληλη γεωμετρία και έμβολο μπορεί να μεταδίδει δράσεις προς κάθε κατεύθυνση, ενώ η πίεση διατηρείται σταθερή. Η ιδιότητα αυτή μας επιτρέπει να πετύχουμε όσο μεγάλες ή μικρές δυνάμεις θέλουμε, επιλέγοντας έμβολο κατάλληλου εμβαδού (π.χ. στα υδραυλικά φρένα, υδραυλικό πιεστήριο κ.ά.).

Η κατανόηση της αρχής του Pascal: «κάθε πίεση που προκαλείται σε μια περιοχή ρευστού, σε ισορροπία, μεταδίδεται αμετάβλητη σε όλα τα σημεία του», είναι η πιο δύσκολη αλλά και η πιο ουσιαστική έννοια για την κατανόηση της συμπεριφοράς των ρευστών. Η παραπάνω αρχή για τα υγρά ισχύει και μέσα στο πεδίο βαρύτητας. Μόνο που τότε η προκαλούμενη πίεση από το έμβολο προστίθεται στην υδροστατική. Στην περίπτωση αερίου οι βαρυτικές δυνάμεις είναι αμελητέες.

Η τελευταία περίπτωση παρανόησης από τις απαντήσεις των φοιτητών στο τρίτο ερώτημα δείχνει την ποικιλία των συσχετίσεων που λαμβάνουν χώρα στις αποθηκευμένες πληροφορίες ενός ατόμου, όταν αυτό προσπαθεί να δώσει μια απάντηση σ' ένα μη προφανές ερώτημα που του τίθεται. Αναφέρουν (3,3% στο σύνολο του δείγματος) ότι «ο αέρας στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας κινείται, άρα ασκεί, σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli, μικρότερη πίεση απ' ό,τι ο ακίνητος στην εσωτερική επιφάνεια της». Επίσης αναφέρουν ότι «ο κινούμενος αέρας στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας έχει μικρή τιμή πίεσης και ... έτσι η βιτρίνα δεν θρυμματίζεται».

Επίσης στο β' ερώτημα του θέματος, φοιτητές σε μικρό ποσοστό (6,6% στο σύνολο του δείγματος) αντί να εφαρμόσουν τον τύπο που συνδέει τη μάζα με το βάρος ενός σώματος ( $B=m \cdot g$ ) σ' ένα τόπο, παίρνουν τον τύπο  $B= m \cdot g \cdot h$ . Προφανώς συγχέουν τον πρώτο τύπο με τον τύπο της δυναμικής ενέργειας βαρύτητας, με επίπεδο αναφοράς την επιφάνεια της Γης.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι αξιοσημείωτα ποσοστά φοιτητών, στο πρώτο και στο δεύτερο ερώτημα (16,6% στο α' ερώτημα και 25,2% στο δεύτερο ερώτημα) εκτελούν λάθος αριθμητικές πράξεις, γράφουν αριθμητικά αποτελέσματα χωρίς να γράφουν και τη μονάδα μέτρησης και γράφουν λάθος τους σχετικούς τύπους.



Πίνακας 11.2α Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 2 (ερώτημα α' και β'), ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύποι απαντήσεων	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδ/λίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
<b>Ποσοστό %</b>					
<b>α' ερώτημα</b>					
1. Υπολογίζουν σωστά την τιμή (μέτρο και μονάδα) της δύναμης που ασκείται στην επιφάνεια της βιτρίνας.	74,4	89,2	81,2	76,9	80,1
2. Εμφανίζουν λάθος αριθμητική τιμή ή μονάδα /γράφουν λάθος τη σχέση $p=F/S$	23,2	10,8	15,6	15,4	16,6
3. Δεν απαντούν	2,3	0,0	3,1	7,7	3,3
<b>β' ερώτημα</b>					
4. Υπολογίζουν σωστά την τιμή μάζας σώματος που έχει βάρος ίσο με την τιμή της ασκούμενης πίεσης στο α' ερώτημα.	79,9	67,6	75,0	64,1	71,5
5. Εμφανίζουν λάθος αριθμητική τιμή ή μονάδα / Παίρνουν λάθος σχέση μεταξύ βάρους -μάζας.	20,9	32,4	18,7	28,2	25,2
6. Δεν απαντούν	0,0	0,0	6,2	7,7	3,3

**Πίνακας 11.2β** Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 2 (ερώτημα γ'), ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύποι απαντήσεων	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδ/λίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
	Ποσοστό %				
	<b>γ' ερώτημα</b>				
7. Η ατμοσφ. πίεση / δύναμη που ασκείται στην εσωτερική επιφάνεια της βιτρίνας είναι ίση μ'αυτή που ασκείται στην εξωτερική. Οι δύο πιέσεις /δυνάμεις εξουδετερώνονται.	62,7	59,5	59,4	43,6	56,3
7α.* Σύγκριση μεταξύ δύναμης και πίεσης (τις χρησιμοποιούν αδιακρίτως).	13,9*	18,9	15,6	15,4	15,9
8. Η βιτρίνα έχει μεγάλη επιφάνεια και επειδή η πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογη της επιφάνειας ( $p=F/S$ ) η πίεση είναι μικρή. / Η βιτρίνα δε θρυμματίζεται γιατί η πίεση / δύναμη μοιράζεται σ'όλη την επιφάνεια της.	18,6	16,2	18,7	17,9	17,9
9. Θεωρούν την ατμοσφ. πίεση στην εξωτερική επιφάνεια ως «δράση» και η εσωτερική επιφάνεια να ασκεί «αντίδραση» ή τη δύναμη που ασκεί η εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας ως «αντίδραση» στην ασκούμενη σ'αυτή δύναμη (λόγω ατμοσφ. πίεσης). Η δράση-αντίδραση εξουδετερώνονται.	9,3	8,1	12,5	15,4	11,3
10. Ο αέρας στην εξωτερική επιφάνεια της βιτρίνας κινείται, σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli ασκεί μικρότερη πίεση απ'ότι ο ακίνητος στην εσωτερική επιφάνεια της βιτρίνας.	7,0	0,0	0,0	5,1	3,3
11. Διάφορες απαντήσεις	0,0	13,5	6,2	7,7	6,6
12. Δεν απαντούν	2,3	2,7	3,1	10,2	4,6

\*Τα ποσοστά της περίπτωσης 7α δεν προσμετρώνται στο ποσοστιαίο άθροισμα, καθόσον αποτελούν μέρος της περίπτωσης 7.



### 11.3 Πρόβλημα-θέμα 3

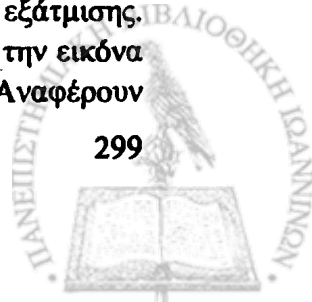
Οι απαντήσεις των φοιτητών κατηγοριοποιήθηκαν και μελετήθηκε το περιεχόμενό τους. Με βάση το βαθμολογικό σχήμα που δομήσαμε (Κεφ. 9, 9.3, Πίνακας 9.3) για τις τέσσερις ομάδες προέκυψαν οι παρακάτω τύποι απαντήσεων.

Οι μισοί περίπου από τους φοιτητές που απαντούν στο θέμα δηλώνουν ότι μπορούμε να υγροποιήσουμε τον αέρα και αναφέρουν ότι αυτό γίνεται με τη διαδικασία της συμπύκνωσης. Εξ αυτών ένα μέρος απλώς αναφέρει ότι με τον όρο συμπύκνωση εννοούμε τη μετατροπή ενός αερίου σε υγρό χωρίς να περιγράφουν πως αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται. Ένα άλλο μέρος των φοιτητών αν και αναφέρει τη λέξη «συμπύκνωση» δεν την εννοεί σωστά.

Δύο κατηγορίες λανθασμένων απαντήσεων είναι ευδιάκριτες από την μελέτη των απαντήσεων (εμπεριέχονται στον τύπο απάντησης, «διάφορες απαντήσεις», Πίνακας 11.3). Στην πρώτη κατηγορία (9,3% στο σύνολο του δείγματος) αναφέρουν ότι: «για να γίνει συμπύκνωση του αέρα θα πρέπει πρώτα να τον θερμάνουμε ...έτσι θα σχηματιστούν ατμοί και στην συνέχεια οι ατμοί θα... συμπυκνωθούν και θα γίνουν υγρό». Η εικόνα του νερού, που θερμαίνουμε και βράζει, ο σχηματισμός υδρατμών, και η συμπύκνωση των υδρατμών στο καπάκι της κατσαρόλας και σε άλλα λιγότερα θερμά μέρη της κουζίνας φαίνεται ότι είναι η εικόνα στην οποία δομούν την αντίληψη τη υγροποίησης αερίου. Χαρακτηριστική είναι η παρακάτω περιγραφή φοιτητή.

α) Είναι δυνατό να υγροποιήσει ο αέρας αν πάρουμε την ποσότητα αέρα και διώσουμε ενέργεια, δηλαδή αν ψυχθεί. Από την ποσότητα αέρα, θα δημιουργηθούν υδρατμοί οι υδρατμοί γίνονται υγρό. ο αέρας υγροποιείται. Η εικόνα που βλέπουμε είναι η εικόνα του αέρα δηλαδή υδρατμών.

Στη δεύτερη κατηγορία (5,3% στο σύνολο του δείγματος) αυτή οι φοιτητές εννοούν τη συμπύκνωση αερίου σε υγρό σαν μια διαδικασία αντίστροφη της εξάτμισης. Το νοητικό σχήμα που περιγράφουν μοιάζει ως να βλέπουν βιντεοσκοπημένη την εικόνα της εξάτμισης σε μικροσκοπικό επίπεδο αλλά το φιλμ να γυρίζει ανάποδα. Αναφέρουν



ότι: «τα μόρια του αέρα που είναι κοντά στην επιφάνεια ενός υγρού έλκονται από την επιφάνεια του υγρού και πέφτουν σ' αυτό με μεγάλη ταχύτητα». Έτσι κατά τους φοιτητές αυτούς το υγρό προσλαμβάνει κινητική ενέργεια. Γι' αυτό θερμαίνεται και το αέριο... υγροποιείται. Χαρακτηριστική είναι η παρακάτω περιγραφή φοιτητή.

Πίνακας 11.3 Τύποι απαντήσεων στο θέμα 3, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύπος απάντησης	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
	Ποσοστό %				
Καταφατική απάντηση (με συμπίκνωση)	46,5	51,3	40,6	43,6	45,7
		46,4			
Να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία.	23,2	18,9	15,6	15,4	18,5
		19,6			
Να συμπέσουμε τον αέρα	9,3	8,1	3,1	7,7	7,3
		7,1			
Να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία και ταυτόχρονα να το συμπέσουμε.	2,3	0,0	0,0	0,0	0,7
		0,9			
Διάφορες απαντήσεις	11,6	13,5	21,8	23,1	17,2
		15,2			
Δεν απαντούν	7,0	8,1	18,8	10,2	10,6
		10,7			



@ Αν δέξαμε να υγροποιήσουμε ένα αέριο θα πρέπει να διεξάγουμε τη διαδικασία της εφύψισης (υγροποίησης). Τα αέρια άτομα έλκονται απ' την επιφάνεια του υγρού και μερικώς αυθόρμητα ενσωματώνονται μαζί του. Έτσι τα άτομα του αερίου μετατρέπονται σε άτομα του υγρού και μεταφέρονται από (κινητική) ενέργεια με αυθαίρετο να αυξάνεται η θερμοκρασία του υγρού. Γι' αυτό και η εφύψιση θεωρείται μια διαδικασία εφύψισης. Η αντίστροφη διαδικασία είναι η εξάτμιση.

Στις μερικώς ορθές απαντήσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 11.3, το 18,5% του συνολικού δείγματος αναφέρει «να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία», συμπληρώνοντας ότι η ταχύτητα των μορίων θα ελαττωθεί και το αέριο θα υγροποιηθεί. Πολύ μικρότερο είναι το ποσοστό (7,3%) που αναφέρουν τη συμπύεση ως τρόπο για την υγροποίηση του αερίου, προσθέτοντας ότι «τα μόρια πλησιάζουν μεταξύ τους... όπως τα μόρια ενός υγρού». Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις τα υψηλότερα ποσοστά εμφανίζει η ομάδα που εκτέλεσε τα πειράματα. Ας σημειωθεί ότι μόνο ένας φοιτητής αναφέρει την ταυτόχρονη ψύξη και συμπύεση ως τρόπο υγροποίησης ενός αερίου. Επίσης, αν και ένας αριθμός φοιτητών αναφέρεται σε δυνάμεις μεταξύ των μορίων, δεν υπάρχει σε κανένα γραπτό μια συστηματική προσπάθεια ερμηνείας του φαινομένου της υγροποίησης με τη βοήθεια των διαμοριακών δυνάμεων.

Από τα παραπάνω μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι το φαινόμενο της υγροποίησης των αερίων είναι μια δυσπρόσιτη έννοια για τους αποφοίτους της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ας σημειωθεί όμως ότι, αν το σωματιδιακό μοντέλο για την ύλη και εν συνεχεία το μοντέλο του ιδανικού αερίου αποτελούν μια σημαντική εννοιολογική κατάκτηση για τους μαθητές, η κατανόηση των διαμοριακών δυνάμεων είναι ένα αρκετά προχωρημένο θέμα που προϋποθέτει ένα βαθμό γνώσης της ατομικής και μοριακής δομής καθώς και των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων και των μορίων λόγω των ηλεκτρονιακών τους φορτίων.

#### 11.4 Πρόβλημα-θέμα 4

Η πλειονότητα των απαντήσεων (Πίνακας 11.4, περίπτωση 1) στο θέμα αυτό, έχει ως πυρήνα την έννοια της εξάτμισης και όχι τη διαλυτότητα στην οποία αναφέρεται. Σε πολλά γραπτά μάλιστα το φαινόμενο της εξάτμισης εξηγείται σωστά και με λεπτομερείς αναφορές σε μικροσκοπικό επίπεδο. Το νοητικό σχήμα που αναδύεται μπορεί να



περιγραφεί από την πρόταση: «με την εξάτμιση του νερού / εξατμίζεται / ελαττώνεται / μειώνεται / χάνεται / φεύγει και το οξυγόνο που περιέχει το νερό». Αρχικά δεν είναι εύκολο να καταλάβεις πώς με την εξάτμιση του νερού εννοούν οι φοιτητές την ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου. Μια πιο συστηματική μελέτη των προτάσεων-απαντήσεων στην κατηγορία αυτή δείχνει ότι οι φοιτητές έχουν μια ποικιλία εναλλακτικών απόψεων.

Μια ομάδα απόψεων-απαντήσεων εμπεριέχει ένα απλό αναλογικό σχήμα: στο νερό υπάρχει οξυγόνο και το νερό ελαττώνεται με την εξάτμιση, άρα ελαττώνεται και το οξυγόνο. Παραθέτουμε μια τέτοιου τύπου απάντηση.

5) Οι πέστροφες <sup>λέγω της</sup> φεύγουν γιατί το νερό <sup>με την αύξηση</sup> της θερμοκρασίας εξατμίζεται και μαζί του "φεύγει" -μειώνεται το οξυγόνο. Έτσι ~~είναι~~ η ποσότητα ~~το~~ οξυγόνου δεν επαρκεί για το διαλύσιμο όλα τα ψάρια και ορισμένα φεύγουν.

Η εικόνα αυτή υπονοεί ότι τα μόρια του νερού που εξαερώνονται είναι κατά κάποιον τρόπο «συνδεδεμένα» με μόρια οξυγόνου και καθώς τα μόρια νερού διαφεύγουν από την επιφάνεια του νερού, «παίρνουν μαζί τους», «παρασύρουν» και τα μόρια οξυγόνου. Μια τέτοια εικόνα έχει μικρή σχέση με τη χημική πραγματικότητα, επειδή τα μη πολικά μόρια του οξυγόνου είναι σε πολύ μικρό βαθμό εφυδατωμένα από τα πολικά μόρια του νερού και αυτό εξηγεί και τη μικρή διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό.

Τέλος, ένας στους τέσσερις φοιτητές, στο σύνολο του δείγματος που δίνουν τον τύπο απάντησης 1 προσεγγίζει τη μείωση του οξυγόνου, εφαρμόζοντας το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων. Η υπο-ομάδα αυτή θεωρεί ότι με την προσφορά θερμότητας τα μόρια του νερού και του διαλυμένου οξυγόνου κινούνται πιο έντονα, αυξάνεται η κινητική τους ενέργεια και διαφεύγουν από τη δεξαμενή.

Ο δεύτερος λανθασμένος τύπος απαντήσεων των φοιτητών (περίπτωση 2, ποσοστό 8,6%), αναφέρεται στην αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής με τα ψάρια. Στις απαντήσεις τους, ισχυρίζονται ότι «λόγω της εξάτμισης το νερό της πισίνας ψύχεται και οι πέστροφες ...δεν αντέχουν στο κρύο», ενώ όσοι δε λαμβάνουν υπόψη τους την εξάτμιση αλλά μόνο τη θέρμανση του νερού της δεξαμενής, υποστηρίζουν ότι «οι πέστροφες ...δεν αντέχουν την υψηλή θερμοκρασία». Στην περίπτωση αυτή αναγνωρίζεται η πρόθεση των φοιτητών να ερμηνεύσουν τις πληροφορίες του θέματος που τους δίνεται με το να φτιάχνουν συνδέσμους μεταξύ επιλεγμένων όψεων των υπαρχουσών εννοιών-παραμέτρων, χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη τους τη δέσμη των εννοιών που υπεισέρχονται στο δοθέν πρόβλημα, να τις ιεραρχούν και να επιλέγουν αυτές που είναι σημαντικές για τη λύση του.

Ποσοστό 7,3% στο σύνολο του δείγματος (περίπτωση 3) αναφέρουν: «αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού και αυτό κάνει τα μόριά του να κινούνται πιο έντονα, η πίεση



του νερού αυξάνεται και οι πέστροφες δεν αντέχουν αυτή την πίεση...έτσι κάποιες απ' αυτές ασφυκτιούν και πεθαίνουν». Παραθέτουμε αυτούσια μια αντιπροσωπευτική απάντηση του τύπου αυτού.

β) Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία της πύλης μέχρις ότου τα μόρια του νερού αρχίσουν να κινούνται πιο έντονα δηλαδή αυξάνεται η κινητικότητα τους με αποτέλεσμα να υφίστανται πολλές πείσεις από νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υφίστανται πολλές πείσεις στην κοιλότητα ν' ανεξάρτητη την αύξηση της πίεσης.

Στην ομάδα αυτών των απαντήσεων έχουμε μια άκριτη μεταφορά της κινητικής θεωρίας των αερίων στα υγρά. Η αύξηση της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων υγρού με την αύξηση της θερμοκρασίας πράγματι μας είναι πολύτιμη στην ερμηνεία μια σειράς φαινομένων, όπως η εξάτμιση, ο βρασμός και η αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων. Όμως τόσο η υδροστατική όσο και η δυναμική πίεση των υγρών δεν σχετίζονται με το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων. Η μεταφορά των νόμων των αερίων και της καταστατικής εξίσωσης στα υγρά (μάλιστα κάποιοι φοιτητές λύνουν την καταστατική εξίσωση ως προς την πίεση και ισχυρίζονται ότι η πίεση του νερού αυξάνεται, αφού αυξάνεται η θερμοκρασία του) είναι αποτέλεσμα μιας διδακτικής νοοτροπίας να διδάσκουν στους μαθητές τα συμπεράσματα και τους σχετικούς μαθηματικούς τύπους μιας θεωρίας, χωρίς προηγουμένως να αναφέρονται στις παραδοχές και τις προϋποθέσεις της.

Τα αέρια διαφέρουν από τα υγρά και τα στερεά σε μικροσκοπικό επίπεδο στις σχετικές θέσεις των διακριτών σωματιδίων από τα οποία συνίστανται. Στα στερεά και τα υγρά, ο όγκος τους αντιστοιχεί προσεγγιστικά στον καθαρό όγκο που καταλαμβάνουν τα άτομα ή τα μόρια. Άλλωστε η εξαιρετικά μικρή συμπιεστότητα που εμφανίζουν σημαίνει ότι τα σωματίδια κατανέμονται ουσιαστικά με συνεχή τρόπο. Στα αέρια το μεγαλύτερο μέρος του χώρου που καταλαμβάνει ένα αέριο είναι κενό ύλης, αφού στα αέρια η τάξη μεγέθους της απόστασης μεταξύ των σωματιδίων είναι τουλάχιστον ίση με δέκα φορές το μέγεθος των σωματιδίων. Ο Arons αναφέρει ότι ο χρόνος που δαπανάμε για να καθοδηγήσουμε τους μαθητές να κατανοήσουν και να δεχτούν τις βασικές υποθέσεις του κινητικού προτύπου είναι «επιτυχημένη επένδυση» (Arons, 1990, σ. 434). Φαίνεται ότι οι φοιτητές του δείγματος μας, που δίνουν τον παραπάνω τύπο απάντησης, θυμούνται τη μορφή της καταστατικής εξίσωσης, αλλά δεν γνωρίζουν τις παραδοχές της και δεν υποβάλλουν τις ιδέες τους στον έλεγχο της εμπειρίας τους.

Στην 4<sup>η</sup> περίπτωση-απαντήσεων (ποσοστό 5,3% στο σύνολο του δείγματος) οι φοιτητές αναφέρουν απλώς ως αιτία την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής, χωρίς να εξηγούν πώς αυτή επηρεάζει τις πέστρες.

Στην 5<sup>η</sup> περίπτωση οι φοιτητές ισχυρίζονται ότι τις θερμές ημέρες, «επειδή η θερμοκρασία του υπερκείμενου αέρα στο νερό της δεξαμενής αυξάνεται, αυξάνεται και η πίεση που ασκείται στο νερό της δεξαμενής, γεγονός ... που προκαλεί το θάνατο στις πέστρες». Η άποψη αυτή προφανώς έλκει την προέλευση της από την κινητική θεωρία των αερίων, όπου η πίεση που ασκεί αέριο ορισμένου όγκου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του.

Τέλος μια άλλη ομάδα απόψεων-απαντήσεων (εμπεριέχεται στον τύπο απάντησης, «διάφορες απαντήσεις») ευτυχώς σε πολύ μικρό ποσοστό (5,8% στο σύνολο του δείγματος), εξηγεί τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό, μέσω της εξάτμισης, θεωρώντας το οξυγόνο ως συστατικό του νερού. Το νοητικό σχήμα που ακολουθείται και εδώ είναι αναλογικό: Αφού το νερό στη δεξαμενή μειώνεται και το νερό αποτελείται από οξυγόνο και υδρογόνο, άρα μειώνεται το οξυγόνο. Παραθέτουμε ένα τέτοιο τύπο απάντησης.

β) Ίσως της αύξησης θερμοκρασίας το νερό  
 εξατμίζεται μετατρέπεται δηλαδή από υγρό σε αέριο.  
 Το νερό περιέχει υδρογόνο και οξυγόνο ( $H_2O$ ).  
 Μέσω της εξάτμισης χάνεται έτσι και ένα  
~~ποσοστό~~ σημαντικό ποσοστό οξυγόνου με αποτέλεσμα  
 να μην επαρκεί για να τακτοποιήσει τις αναπνευστικές  
 τους ανάγκες οι πέστρες.

Η παραπάνω απάντηση αγνοεί ότι στο νερό υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο, την έννοια της διαλυτότητας, και επιπλέον τη μοριακή δομή του νερού. Φαίνεται να εννοεί το νερό ως ένα μίγμα οξυγόνου και υδρογόνου. Τέτοιες ιδέες έχουν καταγραφεί και σε άλλες έρευνες της διδακτικής. Οι Novick και Nussbaum (1978) αναφέρουν ότι «οι μαθητές συναντούν δυσκολίες στην ανάπτυξη μιας επαρκούς αντίληψης του χημικού συνδυασμού των στοιχείων, μέχρις ότου αυτοί μπορέσουν να ερμηνεύσουν το «συνδυασμό» σε σωματιδιακό επίπεδο. Η σωματιδιακή άποψη για την ύλη δεν εξασφαλίζει και την κατανόηση των χημικών συνδυασμών των στοιχείων και επιπλέον οι δομικοί λίθοι, που συγκροτούν μια ένωση, άσχετα αν αυτοί είναι άτομα, μόρια ή ιόντα, συγκροτούνται μεταξύ τους με δυνάμεις (χημικούς δεσμούς) και δεν είναι απλά ανακατεμένοι ή «κολλημένοι».



Πίνακας 11.4 Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 4, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύπος απάντησης	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδ/λίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
Ποσοστό %					
1. Το νερό της δεξαμενής θερμαίνεται και εξατμίζεται, έτσι το νερό ελαττώνεται και μαζί μ' αυτό και το οξυγόνο.	55,8	32,4 41,9	34,4	35,9	40,4
2. Τις θερμές μέρες /λόγω της εξάτμισης το νερό της πισίνας ψύχεται / η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αυξάνεται /οι πέστροφες πεθαίνουν επειδή δεν αντέχουν το κρύο /την υψηλή θερμοκρασία.	7,3	10,9 8,0	7,7	10,3	8,6
3. Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αυξάνεται, αυτό κάνει τα μόρια του να κινούνται πιο έντονα, έτσι η πίεση του νερού αυξάνεται και οι πέστροφες δεν την αντέχουν.	5,8	8,7 7,1	6,2	8,2	7,3
4. Η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αυξάνεται.	4,6	5,4 7,1	12,5	0,0	5,3
5. Τις θερμές μέρες η θερμοκρασία του αέρα πάνω από τη δεξαμενή αυξάνεται, έτσι αυξάνεται η πίεση που ασκεί στο νερό της δεξαμενής και οι πέστροφες πεθαίνουν.	2,9	4,3 3,6	3,1	4,1	3,9
6. Η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται, και ελαττώνεται το οξυγόνο που είναι διαλυμένο σ' αυτό.	0,0	2,7 0,9	0,0	0,0	0,7
7. Διάφορες απαντήσεις	16,6	24,7 19,6	17,4	23,5	20,5
8. Δεν απαντούν	6,9	10,8 11,6	18,7	17,9	13,2

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η έννοια της διαλυτότητας αερίου σε υγρό είναι δυσνόητη ακόμη και σε αποφοίτους της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στο σύνολο του δείγματος μας (N=151) μόνο δύο φοιτητές αναφέρουν τη λέξη διαλυτότητα και ένας δηλώνει ότι «η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται και ελαττώνεται το οξυγόνο που είναι διαλυμένο σ' αυτό». Η πλειονότητα των φοιτητών δεν κατανοεί την έννοια της διάλυσης.

### 11.5 Πρόβλημα-θέμα 5

Από τη μελέτη και την ομαδοποίηση των απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα αυτό, προκύπτει, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 11.5, ότι η πλειονότητα εξ αυτών (35,1% στο σύνολο του δείγματος) έχει διαμορφώσει το παρακάτω νοητικό σχήμα: **το αέριο προσλαμβάνει θερμότητα  $\Rightarrow$  τα μόρια του κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες  $\Rightarrow$  το αέριο ασκεί μεγαλύτερη πίεση.** Το σχήμα αυτό αφήνει ένα κενό, γιατί δεν εξηγεί με ποια διαδικασία η μεγαλύτερη ταχύτητα των μορίων αυξάνει την ασκούμενη από το αέριο πίεση. Επιπλέον, όπως θα αναφέρουμε παρακάτω, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε αυτονόητη, για τους μαθητές και για φοιτητές που δεν σπουδάζουν θετικές επιστήμες, ότι η αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει και αύξηση της συχνότητας κρούσεων των μορίων και συνεπώς αύξηση της μέσης δύναμης που ασκούν ανά μονάδα επιφάνειας.

Ένα βήμα παραπέρα πηγαίνουν οι φοιτητές που αναφέρουν ότι τα «μόρια χτυπούν με μεγαλύτερη ταχύτητα στα τοιχώματα», ακολουθώντας το σχήμα: **το αέριο προσλαμβάνει θερμότητα  $\Rightarrow$  τα μόρια χτυπούν με μεγαλύτερες ταχύτητες στα τοιχώματα του δοχείου  $\Rightarrow$  το αέριο ασκεί μεγαλύτερη πίεση.** Το ποσοστό των φοιτητών που δίνουν αυτό τον τύπο απαντήσεων, στο σύνολο του δείγματος είναι το 18,5%, και δείχνει ότι από τους φοιτητές λείπει η κατανόηση πώς ο μηχανισμός της κρούσης σχετίζεται με την ασκούμενη πίεση. Επιπλέον εξηγεί και το χαμηλό επίπεδο επίδοσης των φοιτητών στο θέμα, αφού εξητείτο να εξηγήσουν, «όσο μπορείς πιο αναλυτικά, αναφερόμενος στα μόρια του αερίου, γιατί αυξάνεται η πίεση του αερίου».

Περαιτέρω καταγράφουμε τις επικρατέστερες εναλλακτικές ιδέες των φοιτητών, (αναφέρονται σε ποσοστό 24,5% στο συνολικό δείγμα και εμπεριέχονται στις «διάφορες απαντήσεις» του Πίνακα 11.5) σχετικές με την ερμηνεία του θέματος που τους τέθηκε. Ένα ποσοστό 6,6% ισχυρίζεται ότι: «όταν το αέριο θερμαίνεται, τα μόριά του διασπώνται / οι δεσμοί μεταξύ των μορίων σπάνε / τα μόρια αποδεσμεύονται το ένα από το άλλο και αυξάνεται η πυκνότητα του αερίου / αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων / τα μόρια κινούνται πιο ελεύθερα στο χώρο και ασκούν μεγαλύτερη πίεση στα τοιχώματα του δοχείου».

Από τα παραπάνω φαίνεται να υπάρχει σύγχυση μεταξύ ενδομοριακών και διαμοριακών δυνάμεων. Η έκφραση ότι «σπάνε οι δεσμοί μεταξύ των μορίων και τα μόρια κινούνται πιο ελεύθερα» υπονοεί διαμοριακές δυνάμεις, ενώ η έκφραση, «σπάνε οι δεσμοί και αυξάνεται η πυκνότητα του αερίου» υπονοεί διάσπαση του μορίου και αύξηση του αριθμού των σωματιδίων μέσα στο δοχείο. Παραθέτουμε μια αντιπροσωπευτική απάντηση φοιτητή του παραπάνω τύπου απάντησης.



γ) Το δοχείο που περιέχει το αέριο είναι κλειστό και έχει σταθερό όγκο. Όταν λέμε ότι θερμαίνεται το δοχείο σημαίνει ότι αυξάνεται την θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας οι κινημαί δυνάμεις που συμπιέζουν τα μόρια του αερίου σπώνε με αποτέλεσμα τα μόρια του αερίου να συμπιέζονται και να κινούνται ανεπίσημα με μεγάλη ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται η πίεση του αερίου.

Η παραπάνω άποψη επιπλέον αγνοεί τρεις βασικές προϋποθέσεις του μοντέλου του ιδανικού αερίου. α) Τα μόρια του ιδανικού αερίου είναι σφαιρικές μάζες, δεν έχουν εσωτερική δομή και ο όγκος τους είναι αμελητέος ως προς τον όγκο που καταλαμβάνει το αέριο. β) Μεταξύ των μορίων δεν ασκούνται διαμοριακές δυνάμεις παρά μόνο κατά τη στιγμή της κρούσης και γ) Τα πραγματικά αέρια προσεγγίζουν το πρότυπο του ιδανικού, μόνο όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες.

Η επόμενη παρανόηση αναφέρεται από ένα ποσοστό 5,8% στο συνολικό δείγμα και αναφέρεται στη διαστολή του αερίου και στην αύξηση της ταχύτητας των μορίων, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας τους. Οι φοιτητές που δίνουν αυτό τον τύπο απάντησης ισχυρίζονται ότι, «όταν το αέριο θερμαίνεται, διαστέλλεται / τα μόριά του απομακρύνονται / προσπαθούν να διαφύγουν / προσπαθούν να καταλάβουν περισσότερο χώρο / προσπαθούν να ανέβουν προς τα πάνω / και έτσι η πίεση αυξάνεται». Εδώ έχουμε ως αίτιο την «πρόθεση» διαστολής του αερίου, η οποία εμποδίζεται από το σταθερό όγκο του δοχείου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης που ασκεί. Χαρακτηριστική είναι η απάντηση φοιτητή που παραθέτουμε.

γ) Η πίεση ~~αυτή~~ είναι ανάλογη με τη δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με την επιφάνεια. Σ' αυτές τις περιπτώσεις αυξάνεται η θερμοκρασία στο δοχείο που περιέχει το αέριο διενεχθεί θερμότητα στα μόρια του αερίου. Έτσι, αυξάνεται η κινητικότητα των μορίων του αερίου όσο πιο πολύ θερμαίνεται το δοχείο. Επειδή όμως το δοχείο είναι κλειστό και ο όγκος δηλ. η επιφάνεια μένει σταθερή, τα μόρια του αερίου δεν μπορούν να απανωθούν μέσα στο δοχείο. Συνεπώς, εκτός να μόρια αποκτήθει μεγάλη κινητικότητα μέσα στο δοχείο και μάλιστα πλέον κερύ προς τα πάλ να κινηθούν αυξανόμενι πιέσει μέσα στο δοχείο.

Η επόμενη ομάδα παρανοήσεων (ποσοστό 4,9 % στο σύνολο του δείγματος) αναδεικνύει από τη μια πλευρά την προσπάθεια των φοιτητών να αιτιολογήσουν την αύξηση της πίεσης που ασκεί το αέριο, συνδέοντας την αύξηση της ταχύτητας των μορίων με τη δύναμη που ασκούν στα τοιχώματα, από την άλλη πλευρά επισημαίνεται ένα δύσκολο σημείο, η σύνδεση μικροσκοπικών μεγεθών, όπως η ελαστική κρούση των μορίων με τα τοιχώματα, με μακροσκοπικά μεγέθη, όπως η δύναμη και η πίεση. Η εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα για μεμονωμένη ελαστική κρούση και η γενίκευση των συμπερασμάτων για ένα μεγάλο πλήθος μορίων είναι ένα ποιοτικό άλμα που χρειάζεται αρκετό χρόνο και προσπάθεια.

Οι μαθητές στην περίπτωση αυτή ισχυρίζονται ότι: «τα μόρια λόγω της επιπλέον κινητικής ενέργειας χτυπούν με μεγαλύτερη δύναμη στα τοιχώματα του δοχείου. Έτσι αυξάνεται η πίεση στο δοχείο, αφού η πίεση είναι ανάλογη της δύναμης, από τον τύπο  $P = F/S$ ». Εδώ έχουμε μια άκριτη εφαρμογή του τύπου της πίεσης που ισχύει, όταν μια δύναμη ασκείται σε μια στερεή επιφάνεια, στην περίπτωση της πίεσης ρευστού. Επιπλέον η δύναμη στην περίπτωση του αερίου είναι αποτέλεσμα της μεταβολής της ορμής των μορίων λόγω ελαστικής κρούσης και προκύπτει από τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ( $F = dp/dt$ ). Χαρακτηριστική είναι η παρακάτω απάντηση.



Η θερμάνοντας τα δοχεία προσφέρουμε ενέργεια στα μόρια του αερίου.  
 Τα μόρια λόγω της επιφάνειας κινητικής ενέργειας που αποκτάται  
 μέσω της θερμότητας αρχίζουν να χτυπούν με μεγάλη δύναμη  
 στα τοιχώματα του δοχείου. Έτσι αυξάνεται η πίεση μέσα  
 στο δοχείο καθώς κινούνται και με τον τύπο:  
 $P = \frac{F}{A}$   
 Πίεση = Δύναμη / επιφάνεια είναι ανάλογη της πίεσης.  
 απελευθέρωση ενέργειας. Επομένως στον αέρα  
 μεγάλη δύναμη στα τοιχώματα του δοχείου από τα μόρια του αερίου αυξάνεται  
 και η πίεση ανάλογα. και ακόμη επειδή η επιφάνεια του  
 δοχείου είναι μικρή σύμφωνα με τον προηγούμενο τύπο θα δώσει  
 μεγαλύτερη πίεση.

Τέλος σε μικρότερα ποσοστά (3,8% στο σύνολο του δείγματος) επισημάναμε δύο ακόμη παρανοήσεις. Στη μια θεωρούν ότι: «με την αύξηση της θερμοκρασίας τα μόρια ταλαντώνονται περισσότερο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση που ασκούν». Στη περίπτωση αυτή δύο πράγματα μπορούν να συμβαίνουν ή να μην εννοούν την έννοια της ταλάντωσης, ως παλινδρομική κίνηση γύρω από μια θέση ισορροπίας, ή να θεωρούν τα μόρια του αερίου σε μόνιμες θέσεις (θέσεις ισορροπίας), των οποίων η ταλάντωση (το πλάτος ταλάντωσης) αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης.

Στην άλλη παρανόηση (3,4% στο σύνολο του δείγματος) οι φοιτητές αναφέρουν ότι: «Όταν το αέριο θερμαίνεται η μάζα των μορίων μεγαλώνει / τα μόρια διαστέλλονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση που ασκείται στα τοιχώματα του δοχείου». Ο τελευταίος τύπος απάντησης εμπεριέχεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο παρανοήσεων, όπως μας έχει δείξει η έρευνα σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες. Οι μαθητές έχουν την τάση τις μεταβολές των μακροσκοπικών ιδιοτήτων των σωμάτων, όπως η διαστολή, η τήξη, η αύξηση της θερμοκρασίας, να τις μεταφέρουν σε μικροσκοπικό επίπεδο, ισχυριζόμενοι ότι τα σωματίδια αλλάζουν μέγεθος ή φουσκώνουν, λειώνουν, θερμαίνονται (Driver, 1985, σ. 213).



Πίνακας 11.5 Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 5, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύπος απάντησης	Ομάδα				
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδ/λίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	Σύνολο (N=151)
	Ποσοστό %				
1. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί.	2,3	0,0 1,8	3,1	5,1	2,6
2. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται και αυξάνεται η θερμοκρασία του, γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί.	2,3	2,7 2,7	3,1	0,0	2,0
3. Η πίεση που ασκεί ορισμένη ποσότητα αερίου σε δοχείο σταθερού όγκου είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του, όπως προκύπτει από την καταστατική εξίσωση ( $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ή $P/T = \text{const}$ ).	4,6	5,4 3,6	0,0	2,6	3,3
4. Όταν το αέριο θερμαίνεται προσλαμβάνει ενέργεια, τα μόρια του κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες / αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων, γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί	46,6	37,8 36,6	21,8	30,8	35,1
5. Όταν το αέριο θερμαίνεται προσλαμβάνει ενέργεια, τα μόρια του χτυπούν με μεγαλύτερες ταχύτητες / αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων, στα τοιχώματα του δοχείου γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί	13,9	10,8 20,5	40,7	12,8	18,5
6. Το αέριο παίρνει τη θερμότητα που του προσφέρεται και αυξάνεται η μέση κινητική ενέργεια των μορίων του. Οι κρούσεις των μορίων του αερίου, ανά μονάδα επιφάνειας του δοχείου είναι συχνότερες και με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της πίεσης που ασκεί το αέριο.	0,0	5,4 1,8	0,0	0,0	1,3
Διάφορες απαντήσεις	25,6	24,3 18,7	18,7	28,2	24,5
Δεν απαντούν	4,6	13,5 14,3	12,5	20,5	12,6



Οι δύο τελευταίες παρανοήσεις θεωρούν τα μόρια του αερίου σε μόνιμες θέσεις και μας θυμίζουν το «στατικό μοντέλο» που χρησιμοποιούσαν ορισμένοι ατομιστές, συμπεριλαμβανομένου του Νεύτωνα και του Dalton τον 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα. Οι επιστήμονες αυτοί είχαν την άποψη πως όταν ένα αέριο δεν ρέει, τα σωματίδιά του καταλαμβάνουν μόνιμες θέσεις και καλύπτουν όλο το χώρο που τους διατίθεται. Όταν ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο αυξάνεται ή μειώνεται, τα σωματίδια διαστέλλονται ή συστέλλονται, παραμένοντας σε επαφή μεταξύ τους. Στα "Principia", ο Νεύτωνας αποδεικνύει ότι, αν τα σωματίδια απωθούνται αμοιβαία με δύναμη αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση μεταξύ των κέντρων τους, η πίεση του αερίου μεταβάλλεται αντιστρόφως προς τον όγκο, δηλαδή αυτό που είχε δείξει πειραματικά ο Boyle (Arons, 1990, σ. 432). Η παρατήρηση αυτή υπογραμμίζει την παραλληλία, που έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές, μεταξύ των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και των απόψεων επιστημόνων παλαιότερων χρονικών περιόδων.

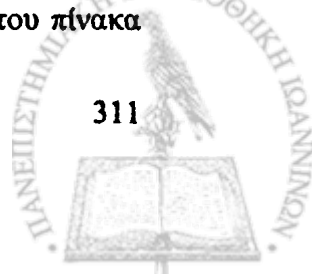
Οι παραπάνω αναφερθείσες παρανοήσεις δείχνουν ότι ένας στους τέσσερις φοιτητές του δείγματος μας δεν έχει ικανοποιητική εικόνα της μοριακής δομής των αερίων, δε γνωρίζει τις προϋποθέσεις του μοντέλου του ιδανικού αερίου και επιπλέον δεν έχουν μια ικανοποιητική νοητική εικόνα πώς οι κρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα έχουν ως αποτέλεσμα την ασκούμενη από το αέριο πίεση. Η ερμηνευτική δύναμη του μοντέλου του ιδανικού αερίου περιορίζεται εξαιτίας του ατελούς θεωρητικού περιεχομένου που κατέχουν γι' αυτό οι φοιτητές.

### 11.6 Πρόβλημα-θέμα 6

Από τη μελέτη των απαντήσεων των φοιτητών προέκυψε ότι η πλειονότητα των φοιτητών, στο σύνολο του δείγματος, αναφέρει ότι το φαινόμενο της απ'ευθείας μετάβασης μιας ουσίας από τη στερεά κατάσταση σε κατάσταση ατμών ονομάζεται εξάχνωση. Επιπλέον αναγνωρίζουν το ρόλο της θερμότητας για τη μετάβαση από τη στερεά στην αέρια κατάσταση και εξηγούν ότι η κινητική ενέργεια των ατμών του ιωδίου είναι μέρος της προσφερόμενης θερμότητας. Ένα δε ποσοστό 8,8% (στο σύνολο του δείγματος) αναφέρει μεταξύ άλλων ότι οι ατμοί του ιωδίου ασκούν πίεση, λόγω των κρούσεών τους με τα τοιχώματα της φιάλης.

Τα σημεία στα οποία αναφέρονται οι απαντήσεις ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας συνοψίζονται στον Πίνακα 11.6. Η κατάρτιση του πίνακα στην τελική του μορφή έγινε μετά από σύγκριση και συζήτηση δύο σχετικών πινάκων που καταρτίστηκαν ανεξάρτητα, ο ένας από τον γράφοντα και ο άλλος από ένα έμπειρο εκπαιδευτικό-φυσικό.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν στο θέμα αυτό, τι αλλάζει και τι δεν αλλάζει σε σχέση με τα μόρια του ιωδίου και τη συμπεριφορά τους στη στερεά και αέρια κατάσταση, συνίσταντο από πέντε δομικά στοιχεία (δομικά στοιχεία απλού μοντέλου, περιπτώσεις 1 έως 5 στον Πίνακα 11.6). Ένας αριθμός απαντήσεων αναφέρονταν σε ένα μόνο δομικό στοιχείο, ενώ υπήρχαν και απαντήσεις που αναφέρονταν σε δύο και σε τρία δομικά στοιχεία (σύνθετα μοντέλα). Μια απάντηση που συμπεριλαμβάνει τα στοιχεία 1, 2 και 4 γράφεται στον πίνακα ως (1+2+4) και στις στήλες στο δεξιό μέρος του πίνακα

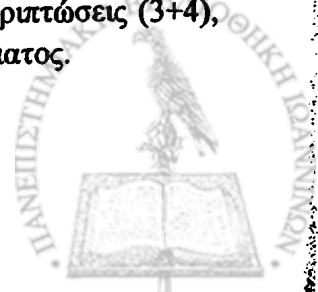


γράφεται ο αριθμός των αναφορών της από τους φοιτητές ανά ομάδα διδακτικής μεθοδολογίας.

Η πλειονότητα των απαντήσεων (το 54,3% στο σύνολο του δείγματος) αναφέρεται σε τρία κυρίως σημεία (τρεις νοητικές εικόνες) ως προς τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των μορίων στη στερεά και αέρια κατάσταση. Η πρώτη νοητική εικόνα των φοιτητών για την αέρια κατάσταση συνοψίζεται στην πρόταση ότι τα μόρια «κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις ή κινούνται πολύ ελεύθερα και εκτελούν άτακτες κινήσεις». Την εικόνα αυτή αναφέρουν μόνη της (το 4,6%) ή σε συνδυασμό με άλλες το 34,4% στο σύνολο του δείγματος. Η νοητική εικόνα για τη στερεά κατάσταση περιγράφεται με δύο κυρίως προτάσεις. Στην πρώτη αναφέρουν ότι «οι δομικοί λίθοι των στερών βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις και κινούνται ή ταλαντώνονται πολύ λίγο γύρω απ' αυτές». Την εικόνα αυτή αναφέρουν μόνη της (το 4,0%) ή σε συνδυασμό με άλλες το 32,4% στο σύνολο του δείγματος. Στη δεύτερη εικόνα αναφέρουν ότι «οι δυνάμεις μεταξύ των δομικών λίθων στα στερεά είναι ισχυρές και καθώς τα μόρια παίρνουν θερμότητα οι ελκτικές δυνάμεις / οι δεσμοί εξασθενούν / χαλαρώνουν». Αναφορά μόνο στην εικόνα αυτή (ποσοστό 11,3%) ή σε συνδυασμό της με άλλες γίνεται από το 27,1% (στο σύνολο του δείγματος). Αρκετοί δε φοιτητές αναφερόμενοι στις δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια χρησιμοποιούν και τον όρο «δυνάμεις συνοχής». Παραθέτουμε μια χαρακτηριστική απάντηση φοιτητή.

δ) Η απόσταση των μορίων η οποία παρατηρείται στη  
 θερμοκρασία αερίων αλλά θερμαίνεται συνεχώς  
 με κλιμάκωση τα μόρια να κινούνται από τις σταθερές  
 θέσεις που κινούνται, έτσι όσο περισσότερο θερμαίνονται  
 όσο αυτά εξακτινώνονται περισσότερο και στο τέλος  
 απομακρύνονται, και συγχύονται σε αέρια κατάσταση. Τα  
 μόρια στα στερεά κατάσταση κινούνται γύρω από σταθερές  
 θέσεις αργά και βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο ενώ  
 στα αέρια βρίσκονται μακριά, δεν κινούνται γύρω από σταθερές  
 θέσεις, και δεν υπάρχουν δυνάμεις συνοχής.

Ας σημειώσουμε δε ότι κανένας φοιτητής δεν κάνει αναφορά μόνο στη σύγκριση των αποστάσεων των μορίων στη στερεά και αέρια κατάσταση, το ποσοστό δε που αναφέρουν αυτό το σημείο σε συνδυασμό όμως με άλλα, όπως στις περιπτώσεις (3+4), (1+3), (1+2+3), (2+3+4) και (3+4+5) είναι το 5,3% στο σύνολο του δείγματος.



Όσον αφορά το δεύτερο σκέλος της απάντησης, τι δεν αλλάζει σε σχέση με τα μόρια του ιωδίου και τη συμπεριφορά τους στη στερεά και αέρια κατάσταση, αναφορές μόνο σ' αυτό το σημείο γίνονται από το 7,3% και σε συνδυασμό με άλλα σημεία που αφορούν το πρώτο σκέλος της απάντησης, αναφορές γίνονται από το 11,9% στο σύνολο του δείγματος. Οι φοιτητές που κάνουν αναφορά σ' αυτό σημείο της απάντησης έχουν κατακτήσει την έννοια της διατήρησης της μάζας, κάτι που δεν συμβαίνει σε μικρότερες ηλικίες (Driver, 1985, pp. 145-169 και Holding, 1987) και επιπλέον ότι σ' ένα φυσικό φαινόμενο, όπως η εξάχνωση, δεν συμβαίνει μεταβολή στις χημικές ιδιότητες του σώματος.

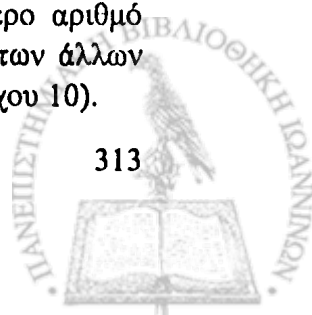
Καθώς κινούμαστε από το μονοδομικό μοντέλο προς πιο σύνθετα το ποσοστό των αναφορών ελαττώνεται. Καταγράφηκαν 38 αναφορές σε δύο στοιχεία, ποσοστό 25,2% στο σύνολο του δείγματος, σε τρία στοιχεία καταγράφηκαν 21 αναφορές (ποσοστό 13,9%) και 41 αναφορές σε ένα μόνο στοιχείο από τα πέντε (ποσοστό 27,1%). Η αναφορά που απαντάται με τη μεγαλύτερη συχνότητα (12,6%), στο σύνολο του δείγματος, είναι αυτή που συμπεριλαμβάνει τα στοιχεία 2 και 4, ενώ κάθε άλλη αναφορά σε ένα στοιχείο ή συνδυασμός σε δύο ή τρία στοιχεία εμφανίζεται σε μικρότερο ποσοστό.

Στην κατηγορία «διάφορες απαντήσεις» του πίνακα 11.6 αναφέρονται από το 11,9% του συνολικού δείγματος, περιλαμβάνονται απαντήσεις που σχετίζονται με εναλλακτικές ιδέες. Τέτοιου τύπου απαντήσεις είναι ότι, «τα μόρια μετατρέπονται από στερεά σε αέρια», «τα μόρια του ατμού έχουν μεγαλύτερο όγκο από του στερεού ιωδίου», «τα μόρια του ιωδίου διαστέλλονται κατά τη θέρμανση» κ.ά., δηλαδή αποδίδουν στα μεμονωμένα άτομα ή μόρια τις μακρο-ιδιότητες των σωμάτων.

Η έλλειψη σταθερότητας των σωματιδίων, κατά τις φυσικές μεταβολές, αποτελεί θεμελιώδη διαφορά ανάμεσα στις πεποιθήσεις των μη ειδικών και των επιστημόνων. Για τα παιδιά οι ιδιότητες των σωματιδίων μεταβάλλονται, όπως αυτές των παρατηρούμενων σωμάτων, ενώ για τους ειδικούς τα σωματίδια παραμένουν αμετάβλητα. Κατά τις φυσικές μεταβολές οι αλλαγές σχετίζονται με την κίνηση των σωματιδίων, την αλλαγή διεύθεσής τους στο χώρο και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Στις χημικές μεταβολές οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων που αποτελούν τα μόρια των χημικών ενώσεων που αντιδρούν σπάνε και τα άτομα επανασυνδέονται σχηματίζοντας νέα μόρια, και εδώ η «έννοια της σταθερότητας» έχει ισχύ (Meheut & Chomat, 1990).

Τέλος το 21,8% στο σύνολο του δείγματος δεν απαντούν στο θέμα αυτό ή δίνουν απαντήσεις ταυτολογικού τύπου, δηλαδή επαναλαμβάνουν τη διατύπωση του θέματος ή την παραφράζουν.

Γενικά τα  $\frac{3}{4}$  των πρωτοετών φοιτητών έχουν σχηματίσει κάποιες όψεις του σωματιδιακού μοντέλου για την ύλη και έχουν μια νοητική εικόνα για τη δομή των στερεών και αέριων σωμάτων. Επίσης γνωρίζουν ότι οι δομικοί λίθοι συγκρατούνται με χημικούς δεσμούς. Το εννοιολογικό τους όμως υπόβαθρο δεν είναι συνεκτικό και οι νοητικές τους εικόνες χρειάζονται περαιτέρω εμπάθυνση και εκλέπτυνση. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» δίνουν τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών σε σύνθετα μοντέλα (23 αναφορές) σε σχέση με τους φοιτητές των άλλων ομάδων (ομάδα επίδειξης, 13 αναφορές, ομάδα συμβατικής 13 και ομάδα ελέγχου 10).



Πίνακας 11.6 Τύποι απαντήσεων των φοιτητών στο θέμα 6, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Τύπος απάντησης	Ομάδα				Σύνολο
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδ/λίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	
Δομικά στοιχεία απλού μοντέλου (μονοδομικό)	Αναφορές				
1. Μεταξύ των δομικών λίθων στα στερεά ασκούνται ελκτικές δυνάμεις, που είναι ισχυρότερες απ'ότι στα υγρά και στα αέρια – δυνάμεις συνοχής.	5	4	6	2	17
2. Οι δομικοί λίθοι στη στερεά κατάσταση βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις και ταλαντώνονται / κινούνται ελάχιστα γύρω από τη θέση ισορροπίας τους.	3	0	1	2	6
3. Οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων στη στερεά κατάσταση είναι πολύ μικρότερες απ'ότι στην υγρή και αέρια.	0	0	0	0	0
4. Στην αέρια κατάσταση οι δομικοί λίθοι κινούνται (ελεύθερα) με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις.	0	2	3	2	7
5. Κατά τη μετατροπή του ιωδίου από τη στερεά στην αέρια κατάσταση διατηρείται: ο αριθμός των μορίων / η ποσότητα (μάζα) του ιωδίου / η σύσταση των μορίων / οι χημικές ιδιότητες του ιωδίου.	2	4	2	3	11
<b>Σύνθετα μοντέλα (πολυδομικά)</b>					
(2+4), (2+5), (4+5), (3+4) (1+2), (1+3), (1+4), (1+5)	13	8	8	9	38
(1+2+4), (1+2+5), (1+2+3), (1+4+5), (2+4+5), (2+3+4), (3+4+5)	10	5	5	1	21
Διάφορες απαντήσεις	2	8	2	6	18
Δεν απαντούν	8	6	5	14	33
<b>Συνολικές αναφορές</b>					
Συνολικές αναφορές στο στοιχείο 1 (μονοδομικό μοντέλο) και σε ένα ή δύο από τα στοιχεία 2-5.	17	9	12	3	41



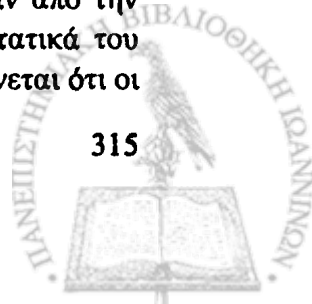
Συνολικές αναφορές στο στοιχείο 2 (μονοδομικό μοντέλο) και σε ένα ή δύο από τα στοιχεία 1,3,4 και 5.	21	6	11	11	49
Συνολικές αναφορές στο στοιχείο 3 (μονοδομικό μοντέλο) και σε ένα ή δύο από στοιχεία 1,2, 4 και 5.	4	0	2	0	6
Συνολικές αναφορές στο στοιχείο 4 (μονοδομικό μοντέλο) και σε ένα από τα στοιχεία 1,2,3 και 5.	16	14	12	10	52
Συνολικές αναφορές στο στοιχείο 5 (μονοδομικό μοντέλο) και σε ένα από τα στοιχεία 1-4.	5	11	6	5	27

### 11.7 Πρόβλημα-θέμα 7

Σε καταστάσεις τις καθημερινής ζωής που έχουν σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση, συνήθως αντιμετωπίζουμε καταστάσεις ισορροπίας και είναι δύσκολο για τους μαθητές να αναγνωρίσουν την ύπαρξη πιεστικών δυνάμεων, αφού αυτές εξισορροπούνται. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο τα πειράματα που γίνονται για να αισθητοποιήσουν και να κατανοήσουν οι μαθητές την ατμοσφαιρική πίεση έχουν ως στόχο να παράγουν μια διαφορά πίεσης, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα παρατηρήσιμο αποτέλεσμα. Στη δική μας έρευνα δώσαμε ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό και στην εκτέλεση τέτοιων πειραμάτων. Στη διδακτική παρέμβαση Α, συζητήσαμε το πείραμα με το ανεστραμμένο ποτήρι, που το νερό που περιέχει δεν χύνεται, όταν το στόμιο του καλύπτεται με χαρτόνι και στην παρέμβαση Β, το πρόβλημα 4 ζητούσε να προτείνουν ένα πείραμα διόγκωσης ενός φουσκωμένου μπαλονιού, χωρίς να εισάγουν επιπλέον ποσότητα αέρα σ' αυτό. Επιπλέον στο ίδιο πρόβλημα εξητείτο από τους φοιτητές να προτείνουν ένα πείραμα σύνθλιψης αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Κατά το σχεδιασμό της δικής μας έρευνας έχοντας υπόψη τα παραπάνω ευρήματα, για την κατανόηση της πίεσης που ασκεί αέριο σε δοχείο, στην παρέμβαση Β, τέθηκε το πρόβλημα 3. Το πρόβλημα ζητούσε από τους φοιτητές να προτείνουν έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πίεσης που ασκεί αέριο σ' ένα δοχείο σε mmHg. Η επινόηση της αλληλεπίδραση της πίεσης αερίου σ' ένα δοχείο (εσωτερικό σύστημα) με τη στήλη του υδραργύρου στα δύο σκέλη ενός σωλήνα σχήματος U (εξωτερικό σύστημα), θεωρήσαμε ότι είναι μια εξαιρετική περίπτωση για τη μέτρηση της πίεσης αερίου σε mmHg. Η πίεση του αερίου μετατρέπεται σε διαφορά στάθμης του υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα.

Από τη μελέτη των γραπτών των φοιτητών που επιχειρήσαν να λύσουν την άσκηση, καταγράψαμε τον αριθμό των φοιτητών ανά ομάδα που ανακάλεσαν από την μακρόχρονη μνήμη τους, έννοιες και σχέσεις που πράγματι αποτελούν συστατικά του πλέγματος που συνθέτει τη λύση της δοθείσας άσκησης. Στον πίνακα 11.7 φαίνεται ότι οι



φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» ανακάλυψαν μεγαλύτερο αριθμό σχετικών εννοιών και σχέσεων, έναντι της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας ελέγχου».

Ένα ποσοστό φοιτητών (34,8% στο σύνολο του δείγματος) αναφέρει τον τύπο της υδροστατικής πίεσης και προσπαθεί να τον εφαρμόσει, για να βρει την τιμή της πίεσης λόγω διαφοράς ύψους της στήλης υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα. Στην περίπτωση αυτή δεν «εκμεταλλεύονται» ότι η πίεση ισούται άμεσα με το ύψος της στήλης υδραργύρου ούτε μετατρέπει το ύψος της στήλης υδραργύρου σε Atm. Αντικαθιστούν, λοιπόν στον τύπο της υδροστατικής πίεσης ( $p = \rho \cdot g \cdot h$ ) όπου  $h=19 \text{ cm}$ ,  $g=10 \text{ m/s}^2$  και, επειδή δεν γνωρίζουν την πυκνότητα του υδραργύρου, η λύση σταματάει στο σημείο αυτό.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης, που είναι και η «έννοια κλειδί» για τη λύση της άσκησης, αν και λαμβάνεται υπόψη από έναν αριθμό φοιτητών στην αρχική κατάσταση που περιγράφει η άσκηση (πίνακας 11.7, περίπτωση 3), δε συνυπολογίζεται στη συνέχεια στον υπολογισμό της πίεσης στην τελική κατάσταση (περίπτωση 6), από το 40% εξ'αυτών.

Η ασυνέπεια αυτή δείχνει ότι η δράση της ατμοσφαιρικής πίεσης δεν έχει κατανοηθεί και οι φοιτητές είναι αρκετά διστακτικοί στο να την συμπεριλαμβάνουν στους υπολογισμούς τους, όταν λύνουν σχετικά προβλήματα. Όπως δηλώνεται στην περίπτωση 6, στην τελική κατάσταση που περιγράφει η εκφώνηση, λαμβάνουν ως ασκούμενη πίεση στον εγκλωβισμένο αέρα μόνο την πίεση λόγω διαφοράς ύψους της στήλης υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα. Η πίεση αυτή ισούται με το  $\frac{1}{4}$  της ατμοσφαιρικής και εφαρμόζοντας στη συνέχεια το νόμο του Boyle, βρίσκουν ότι ο νέος όγκος του εγκλωβισμένου αέρα είναι  $8 \text{ cm}^3$ , ήτοι τετραπλάσιος του αρχικού! Περίπτωση τέτοιου γραπτού παραθέτουμε παρακάτω. Το αποτέλεσμα αυτό το γράφουν χωρίς να το υποβάλλουν σε κρίση, ώστε να κινηθούν προς την κατεύθυνση εντοπισμού του λάθους τους. Αυτό αποτελεί μια ακόμη απόδειξη ότι η άκριτη εφαρμογή τύπων, χωρίς εννοιολογική κατανόηση, οδηγεί σε παράλογα αποτελέσματα.

ε) Σύμφωνα με το νόμο του Boyle έχουμε ότι  ~~$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$~~

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$19 \text{ cm Hg} \Rightarrow \frac{1}{4} \cdot 36 \text{ Hg} = \frac{1}{4} \text{ Atm} = 0,95 \text{ Atm}$$

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$1 \cdot 9 = 0,95 \cdot V_2$$

Άρα  $V_2 = 8 \text{ cm}^3$





Πίνακας 11.7 Έννοιες και μαθηματικούς τύπους που χρησιμοποιούν στη λύση της άσκησης\* (θέμα 7), ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και στο σύνολο του δείγματος.

Έννοιες και μαθηματικούς τύπους που χρησιμοποιούν στη λύση της άσκησης	Ομάδα				Σύνολο
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	Ελέγχου (N=39)	
Δομικά στοιχεία του προβλήματος	Αριθμός αναφορών				
1) Αναφέρουν ότι στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση. Η αρχική πίεση του εγκλωβισμένου αέρα είναι ίση με την ατμοσφαιρική.	4	5	5	3	17
2) Μετατρέπουν την πίεση από cm Hg σε Atm.	4	2	5	2	13
3) Διατυπώνουν ότι: η πίεση του εγκλωβισμένου αέρα στην τελική κατάσταση είναι ίση με την ατμοσφαιρική συν την υδροστατική λόγω διαφοράς ύψους της στήλης υδραργύρου στους δύο σωλήνες. Υπολογίζουν ή προσπαθούν να υπολογίσουν την τελική τιμή πίεσης.	4	4	2	3	13
4) Εφαρμόζουν το νόμο του Boyle - ισόθερμη μεταβολή, για τη μεταβολή του αερίου.	6	4	7	2	19
5) Προσπαθούν να εφαρμόσουν τον τύπο της υδροστατικής πίεσης για να υπολογίσουν την πίεση που αντιστοιχεί στη διαφορά στάθμης υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα.	3	3	5	2	13
<b>Σύνθεση δομικών στοιχείων</b>					
1+2+3+4	1	1	1	1	4
(1+2+4) - 3					
Θεωρούν ότι η πίεση του εγκλωβισμένου αέρα στην τελική κατάσταση είναι ίση με το 1/4 της Atm-δεν υπολογίζουν σωστά την τελική τιμή πίεσης.	5	3	5	2	15
Δεν απαντούν	32	30	19	38	119

\* Ένας μαθητής μπορεί να κάνει αναφορές στη λύση της άσκησης σε περισσότερες από δύο περιπτώσεις, έτσι το άθροισμα των αναφορών στον πίνακα δεν ισούται με τον αριθμό των φοιτητών κάθε ομάδας.

### 11.8 Ανακεφαλαίωση των απαντήσεων στα θέματα εξέτασης - ποιοτικά ευρήματα

Από τη μελέτη των τύπων των απαντήσεων των φοιτητών για κάθε θέμα εξέτασης επισημάναμε εκείνες τις απαντήσεις που δόθηκαν με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Οι απαντήσεις αυτές θεωρούμε ότι είναι και οι πιο αντιπροσωπευτικές της εννοιολογικής υποδομής του δείγματος μας (πίνακας 11.8).

Στο θέμα 1 εξητείτο ουσιαστικά οι φοιτητές να κάνουν μια σωστή εκτίμηση της πυκνότητας του αέρα (σε συνήθης συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας). Το 23,8% του συνολικού δείγματος (N=151) δήλωσε ότι «η πυκνότητα του αέρα είναι πολύ μικρότερη από την πυκνότητα του νερού» και ότι «τα μόρια του αέρα βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τα μόρια του νερού». Τα παραπάνω αν και δείχνουν μια ασθενή κατανόηση της τιμής πυκνότητας του αέρα ή της τάξης μεγέθους τους, είναι προαπαιτούμενες γνώσεις που οι φοιτητές της «ομάδας πειραμάτων» τις κατέχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό (30,2%) σε σχέση με τους φοιτητές των δύο άλλων διδακτικών ομάδων (ποσοστό 23,2%).

Στο θέμα 2, η απάντηση που καταγράφηκε με τη μεγαλύτερη συχνότητα, δείχνει ότι λίγο περισσότεροι από τους μισούς φοιτητές (56,3%) του συνολικού δείγματος μας έχουν κατανοήσει τον τρόπο που δρα η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα. Επίσης και στο θέμα αυτό η «ομάδα πειραμάτων» δίνει μεγαλύτερο ποσοστό (62,7%) σωστών απαντήσεων σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες (59,4%). Όμως το 17,9% του συνολικού δείγματος ισχυρίζεται ότι η βιτρίνα δεν θρυμματίζεται παρά τη μεγάλη τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που δέχεται επειδή «η επιφάνεια της είναι μεγάλη και η πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογη της πίεσης». Εφαρμόζουν τον τύπο ( $p=F/S$ ) της πίεσης που ασκεί ένα στερεό πάνω στην επιφάνεια επαφής του με ένα άλλο και στην περίπτωση της πίεσης των αερίων. Στο θέμα αυτό τα ποσοστά των φοιτητών που προβάλλουν την παραπάνω άποψη δεν διαφοροποιούνται σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο. Η «ομάδα επίδειξης πειραμάτων» την παρουσιάζει σε ελαφρά μικρότερο ποσοστό.

Στο θέμα 3, εξητείτο να εξηγήσουν πως ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να υγροποιηθεί. Το 18,5% του συνολικού δείγματος έδωσε μια μερικώς ορθή απάντηση «να ψύξουμε τον αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία». Η μικρή κινητική ενέργεια των μορίων υγρού σε σχέση με τα μόρια αερίου είναι μόνο μια πλευρά της υγρής κατάστασης. Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων υγρού για να εμφανιστούν πρέπει τα μόρια να πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους, και αυτό επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη συμπίεση του αερίου. Στην εν μέρει σωστή απάντηση, στο θέμα αυτό η «ομάδα πειραμάτων» πήγε καλύτερα (ποσοστό 23,2%) σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες (17,4%).

Στο θέμα 4, εξητείτο να εφαρμόσουν σε μια συγκεκριμένη περίπτωση, τη γνώση ότι η διαλυτότητα αερίου σε υγρό ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το 40,4% του συνολικού δείγματος ισχυρίζεται ότι «καθώς το νερό της δεξαμενής εξατμίζεται, το νερό ελαττώνεται και μαζί μ' αυτό ελαττώνεται και το οξυγόνο». Η έννοια της διάλυσης αερίου σε υγρό δεν έχει κατανοηθεί και η μεγάλη συχνότητα εμφάνισης του παραπάνω τύπου απάντησης δείχνει ότι οι φοιτητές θεωρούν τα μόρια του νερού καθώς



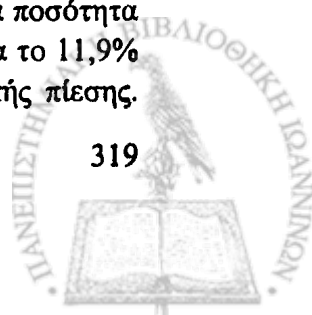
μεταβαίνουν από την υγρή στην αέρια κατάσταση «παρασέρνουν» και μόρια του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου. Την παραπάνω λανθασμένη άποψη η «ομάδα πειραμάτων» την εμφάνισε σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό (55,8%), σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες (22,8%), ακόμη και σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» (35,9%).

Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει ότι η μάθηση και η εννοιολογική αλλαγή δεν ακολουθεί «γραμμικότητες» αλλά διέρχεται από σημεία και πορείες που χαρακτηρίζονται από «αδιορρυθμίες» (Τσελφές, 1994). Με άλλα λόγια η δυναμική των εννοιών φαίνεται να παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά της δυναμικής των «μη γραμμικών – και μη συντηρητικών – αυτοοργανωόμενων δυναμικών συστημάτων συστημάτων» (Nicolis & Prigogine, 1989).

Στο θέμα 5, εξητείτο η εξήγηση της ισόχωρης (θέρμανσης) μεταβολής αερίου σε μικροσκοπικό επίπεδο. Το 35,1% στο συνολικό δείγμα δίνει μια μερικώς ορθή απάντηση «τα μόρια κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες, γι' αυτό αυξάνεται η πίεση που ασκεί το αέριο». Η απάντηση αυτή δείχνει μια επιφανειακή εφαρμογή του μοντέλου της κινητικής θεωρίας των αερίων για την εξήγηση της πίεσης. Η αύξηση της συχνότητας των κρούσεων και η εξήγηση της πίεσης μέσω του μηχανισμού της κρούσης είναι συνιστώσες του μοντέλου της κινητικής θεωρίας που λείπουν. Η «ομάδα πειραμάτων» στο θέμα αυτό εμφανίζεται να κατέχει σε μεγαλύτερο ποσοστό (46,6%), στοιχεία από το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων, σε σχέση με τις άλλες δύο άλλες ομάδες (30,4%). Ενώ, μια απάντηση πιο συμπληρωμένη από την παραπάνω που κάνει αναφορά και στις κρούσεις των μορίων «τα μόρια χτυπούν με μεγαλύτερες ταχύτητες στα τοιχώματα του δοχείου» δίνεται από το 18,5% του συνολικού δείγματος. Η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» δίνει τον τύπο αυτό απάντησης σε μεγαλύτερο ποσοστό (40,7%) και ακολουθεί η «ομάδα πειραμάτων» με 13,9% και η «ομάδα επίδειξης» με 10,8%.

Στο θέμα 6, εξητείτο να περιγραφεί, τι αλλάζει και τι δεν αλλάζει κατά την εξάχνωση ωδίου σε μια κλειστή φιάλη σε σχέση με τα μόρια και τη συμπεριφορά τους. Ένα μικρό ποσοστό 12,6% στο συνολικό δείγμα, αναφέρει μια χαρακτηριστική ιδιότητα του στερεού και μια των ατμών. Για το στερεό «οι δομικοί λίθοι βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις και ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους» και για τους ατμούς «οι δομικοί λίθοι κινούνται ελεύθερα με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις». Σε άλλες περιπτώσεις-απαντήσεις που καταγράφηκαν συμπεριλαμβάνονται μεν περισσότερες διαφορές μεταξύ των μορίων στερεού και αερίου αλλά σε πολύ μικρότερα ποσοστά. Η εννοιολογική βάση της μικροσκοπικής δομής των στερεών και αερίων είναι περιορισμένη για την πλειονότητα των φοιτητών του δείγματος μας. Επίσης και στο θέμα αυτό η «ομάδα πειραμάτων» είχε μεγαλύτερο ποσοστό (46,9%) αναφορών σε «πολυδομικά μοντέλα» σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες (26,5% η «ομάδα επίδειξης» και 26,5% η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας»).

Τέλος, το θέμα 7 που ήταν και το πιο απαιτητικό, προϋπέθετε την κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης, σε ένα σωλήνα σχήματος U που στο ένα άκρο του έχει εγκλωβιστεί ένας όγκος αέρα και το άλλο «κλείνεται από μια ποσότητα υδραργύρου. Από τη μελέτη των λύσεων που δόθηκαν, προέκυψε ότι μόνο ένα το 11,9% του συνολικού δείγματος λαμβάνει υπόψη του την ύπαρξη της ατμοσφαιρικής πίεσης.



Όμως λόγω της περιορισμένης κατανόησης της έννοιας αυτής, όταν υπολογίζουν την πίεση στη βάση μιας στήλης υγρού που η άνω επιφάνειά της αλληλεπιδρά με τον ατμοσφαιρικό αέρα δεν λαμβάνουν υπόψη τους την ατμοσφαιρική πίεση. Υπολογίζουν μόνο την υδροστατική. Αν και το ποσοστό των φοιτητών του δείγματος που ασχολήθηκε με την άσκηση είναι μικρό, η «ομάδα πειραμάτων» εμφανίζεται να τα πήγε καλύτερα.

Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω ευρήματα (Πίνακας 11.8) και σημειώνοντας τις ορθές και μερικώς ορθές απαντήσεις των φοιτητών στα επτά θέματα εξέτασης, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου που παρακολούθησαν, προκύπτει ότι: Η «ομάδα πειραμάτων» στα τέσσερα από τα επτά θέματα έφερε την καλύτερη επίδοση και σε δύο τη δεύτερη. Ακολουθεί η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» με την καλύτερη επίδοση σε τρία θέματα και σε δύο τη δεύτερη και η «ομάδα επίδειξης» με τη δεύτερη επίδοση σε τρία θέματα.



Πίνακας 11.8 Ανακεφαλαίωση των ορθών και μερικών ορθών απαντήσεων, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου

Θέμα	Ορθές και μερικές ορθές απαντήσεις, ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου		
	Πειραμάτων (N=43)	Επίδειξης πειραμάτων (N=37)	Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)
	Ποσοστό %		
1. Εύρεση της μάζας αέρα όγκου ίσου με τον όγκο της πισίνας.	37,1	27,0	34,3
2. Γιατί μια βιτρίνα παρά τη μεγάλη τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης που δέχεται δεν θρυμματίζεται	62,7	59,5	59,4
3. Είναι δυνατόν να υγροποιήσουμε τον αέρα; Αν ναι, με ποιο τρόπο;	34,8	27,0	18,7
4. Σε δεξαμενές που εκτρέφονται πέστροφες, τις πολύ ζεστές μέρες του καλοκαιριού ένας αριθμός απ' αυτές πεθαίνει. Να δώσεις κάποια εξήγηση γ' αυτό.	4,6	8,1	12,5
5. Να εξηγήσεις την ισόχωρη μεταβολή αερίου, αναφερόμενος στα μόρια του αερίου.	60,5	54,0	62,5
6. Να περιγράψεις τι αλλάζει και τι δεν αλλάζει κατά την εξάχνωση ιωδίου, σε σχέση με τα μόρια και τη συμπεριφορά τους.	23 (αναφορές)	15	17
7. Υπολογισμός του όγκου αερίου κατά την ισόθερμη μεταβολή, σε γυάλινο σωλήνα σχήματος U κλειστό στο ένα του άκρο.	19 (αναφορές)	18	27
			25,6
			43,6
			23,1
			0,0
			43,6
			11
			12

### 11.9 Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό) για τα πραγματικά δείγματα

Μια κοινή συνιστώσα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, όπως ήδη έχουμε αναφέρει (Κεφ. 2, 2.1) είναι ότι τα φαινόμενα παρατηρούνται και περιγράφονται σε μακροσκοπικό επίπεδο. Οι ερμηνείες όμως των φαινομένων επιζητούνται σε μικροσκοπικό επίπεδο και τα συμπεράσματα που προκύπτουν κωδικοποιούνται και διατυπώνονται με τη χρήση συμβόλων, χημικών εξισώσεων, διαγραμμάτων, μοντέλων και μαθηματικών τύπων, δηλαδή σε συμβολικό επίπεδο. Ο Johnstone (1991) καθώς και άλλοι ερευνητές στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχουν δείξει ότι οι τρεις τρόποι με τους οποίους αναπαριστάνεται η επιστημονική γνώση κάνουν δύσκολη τη μάθησή της. Οι ειδικοί μπορούν με άνεση να κινούνται διαμέσου των τριών επιπέδων, όμως οι μαθητές και οι πρωτοετείς φοιτητές συναντούν ιδιαίτερη δυσκολία και συχνά τα επίπεδα αυτά λειτουργούν ως αιτία σύγχυσης. Βοηθώντας τους μαθητές να σχηματίζουν συνδέσεις μεταξύ των τριών επιπέδων, τους προσφέρεις σημαντική ώθηση για εννοιολογική κατανόηση.

Ένα σημαντικό εμπόδιο στην κατανόηση της χημείας δεν είναι η ύπαρξη των τριών επιπέδων με τα οποία αναπαριστάνεται η ύλη και οι μεταβολές της, αλλά ότι η διδασκαλία της γίνεται σε μεγάλο βαθμό πάνω στο πιο αφηρημένο επίπεδο, το συμβολικό (Gabel, 1999). Μια κριτική εξέταση των περισσότερων εισαγωγικών βιβλίων χημείας και φυσικής στηρίζει την εκτίμηση αυτή. Οι περισσότερες παραδοσιακές σειρές μαθημάτων εστιάζονται σε συμβολικό επίπεδο, όπως λύση προβλημάτων στοιχειομετρίας με τη βοήθεια χημικών εξισώσεων, προβλήματα χημικής ισορροπίας, αναλύσεις και λύσεις προβλημάτων με τη βοήθεια διαγραμμάτων κ.ά. Από την άλλη πλευρά, οι παραδοσιακές εργαστηριακές ασκήσεις εστιάζονται σε συμβολικές αναπαραστάσεις, με την έννοια ότι στοχεύουν στην εύρεση σχέσεων μεταξύ μεγεθών και σε μακροσκοπικές αναπαραστάσεις, αφού συλλέγουν μετρήσεις και παρατηρήσεις. Αυτές οι σειρές μαθημάτων έχουν την τάση να αγνοούν μικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Προφανώς στηρίζονται στην υπόθεση ότι με το να απευθύνονται στο μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο οι μαθητές θα αναπτύξουν από μόνοι τους την ικανότητα να σκέπτονται και σε μικροσκοπικό.

Η χρήση μικροσκοπικών αναπαραστάσεων συχνά θέτει ένα πρόβλημα, επειδή οι μαθητές δεν μπορούν άμεσα να «δουν» ή να έχουν κάποια αίσθηση ατόμων ή μορίων. Πολλοί δάσκαλοι στηρίζονται στη χρήση του μοντέλου με «σφαιρίδια και ράβδους», σε στατικές εικόνες με κιμωλία στον πίνακα ή σε κινήσεις όπου μαθητές μικρών ηλικιών κινούνται σαν μόρια ή άτομα για να διδάξουν χημεία σε μικροσκοπικό επίπεδο. Ο στόχος των περισσότερων απ' αυτές τις μεθόδους είναι να κάνουν τις αφηρημένες κινήσεις των ατόμων και των μορίων πιο συγκεκριμένες (Hegron, 1978, Nurrenbern, 2001). Το πρόβλημα με τα παραπάνω μοντέλα είναι ότι οι μοριακές και οι ατομικές κινήσεις μπορούν μόνο να υπονοούνται. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο τέτοιες διδακτικές μέθοδοι πράγματι αναπαριστούν σωστά τις κινήσεις των μορίων. Τέτοιες αναπαραστάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες ιδέες, επειδή οι μαθητές δεν



είναι ικανοί να συλλάβουν την αφηρημένη φύση των κινήσεων σε ατομικό και μοριακό επίπεδο. Τεχνικές απεικόνισης των κινήσεων και των αλληλεπιδράσεων των μορίων, με τη βοήθεια υπολογιστών (computer animation) καθώς και συσκευές προσομοίωσης της συμπεριφοράς τους, μπορεί να είναι ισχυρά εργαλεία για τη διδασκαλία και τη δυναμική φύση της χημείας σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Τα επτά θέματα που τέθηκαν στην εξέταση των φοιτητών του δείγματος μας, μπορούμε να τα κατατάξουμε στις παρακάτω περιπτώσεις.

Α) Τα θέματα 1, 2 και 7 αναφέρονται κυρίως στο μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο. Τα θέματα αυτά δεν απευθύνονται άμεσα στη μικροσκοπική δομή των αερίων και των υγρών. Περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητούν να υπολογιστούν φυσικά μεγέθη με τη βοήθεια τύπων και αριθμητικών πράξεων. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει το θέμα 1 αναφέρεται στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας και στη σχέση της πυκνότητας του αέρα και του νερού. Το θέμα 2 αναφέρεται στον τρόπο που ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα και στον υπολογισμό σχετικών μακροσκοπικών μεγεθών. Το θέμα 7 απαιτεί τη μακροσκοπική γνώση του νόμου της ισόθερμης μεταβολής (νόμος του Boyle), τη μέτρηση της πίεσης που ασκεί στήλη υδραργύρου καθώς και την κατανόηση της δράσης της ατμοσφαιρικής πίεσης στο ανοιχτό άκρο σωλήνα που περιέχει υδράργυρο.

Β) Τα θέματα 3 και 4 αναφέρονται στο μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο, αλλά η απάντηση σ' αυτά απαιτεί γνώση της μικροσκοπικής δομής των αερίων και των υγρών. Το θέμα 3 αναφέρεται στην υγροποίηση του αέρα και το 4 στη μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για τις απαντήσεις των θεμάτων αυτών πρέπει να συνδυαστούν μακροσκοπικές μεταβλητές, όπως πίεση και θερμοκρασία με μικροσκοπικές, όπως κίνηση και σχετικές αποστάσεις μορίων.

Γ) Τα θέματα 5 και 6 περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο αλλά οι απαντήσεις τους ζητούν εξηγήσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο. Το θέμα 5 ζητάει την εξήγηση σε μικροσκοπικό επίπεδο της ισόχωρης μεταβολής αερίου (ισόχωρη θέρμανση) και το θέμα 6 τις διαφορές σε μοριακό επίπεδο μεταξύ στερεάς και αέριας κατάστασης κατά την εξάχνωση ιωδίου. Τα θέματα αυτά θεωρούμε ότι απαιτούν κατανόηση σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Εξετάσαμε τις επιδόσεις των φοιτητών του δείγματος στα επτά θέματα σε σχέση με δύο μεταβλητές. Η μια είναι τα επίπεδα γνώσης που απαιτούσαν (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό) τα θέματα και η άλλη η διδακτική μέθοδος (Πίνακας 11.9).

Για τη σύγκριση των μέσων τιμών επίδοσης στα θέματα 1, 2 και 7 που αναφέρονται σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο γνώσης, το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 0,877$ . Η τιμή αυτή είναι μικρότερη της κρίσιμης τιμής της κατανομής  $F$ , με 3 βαθμούς ελευθερίας στον αριθμητή και 147 στον παρονομαστή, για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $W < F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ ,  $p < 0,05$ ). Οι διακυμάνσεις δεν διαφέρουν, οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς.

**Πίνακας 11.9** Μέσες επιδόσεις ανά ομάδα μεθοδολογίας και ανά επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα εξέτασης.

Ομάδα \ Επίπεδο γνώσης	Μακροσκοπικό + Συμβολικό	Μακροσκοπικό + Μικροσκοπικό	Μικροσκοπικό
	Μέση επίδοση (τυπική απόκλιση) στα θέματα		
	1, 2, 7	3, 4	5, 6
Πειραμάτων (N=43)	4,1 (1,3)	2,6 (1,5)	3,5 (2,0)
Επίδειξης (N=37)	3,8 (1,3)	1,9 (1,2)	3,1 (1,9)
Συμβατικής διδασκαλίας (N=32)	3,9 (1,6)	1,7 (1,3)	3,0 (1,9)
Ελέγχου (N=39)	3,2 (1,2)	1,5 (1,3)	1,7 (1,4)
Σύνολο (N=151)	3,7 (1,4)	2,0 (1,4)	2,8 (1,9)

Από τον πίνακα ανάλυσης διακύμανσης (Πίνακας 11.10), για τη σύγκριση των επιδόσεων των παραπάνω θεμάτων προέκυψε η τιμή  $F=2,876$ , όπου  $F > F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ . Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν μεταξύ τους.

Οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης έδειξαν ότι η μέση επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» και η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει σημαντικά από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 5% (κριτήριο Tukey και L.S.D αντίστοιχα). Η δε μέση επίδοση της «ομάδας επίδειξης» διαφέρει από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 10% (κριτήριο L.S.D). Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 11.11.

**Πίνακας 11.10** Ανάλυση διακύμανσης των επιδόσεων των ομάδων στα θέματα (1,2 και 7) που απαιτούσαν γνώση σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο.

	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσες τιμές τετραγώνων	F	Επίπεδο σημαντικότητας
Μεταξύ των ομάδων	15,485	3	5,162		
Μέσα στις ομάδες	263,833	147	1,795	2,876	0,038
Στο σύνολο των ομάδων	279,317	150			

Ανάλογοι υπολογισμοί για τα θέματα που απαιτούσαν γνώση σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο, (θέματα 3, 4), έδειξαν ότι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται είναι ομοιογενείς, τιμή του δείκτη  $W=0,818$  ( $W < F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ ,  $p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδωσε τιμή του δείκτη  $F=5,246$ , όπου  $F > F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ . Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν μεταξύ τους. Οι πολλαπλές





Πίνακας 11.11 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στα θέματα (1, 2 και 7) που απαιτούσαν γνώση σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	4	0,8385*	0,296	0,0747	1,5996
	3	4	0,6485*	0,320	0,0169	1,2800
L.S.D.			90% Διάστημα εμπιστοσύνης			
	2	4	0,5587**	0,307	0,0497	1,0676

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05  
\*\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,10

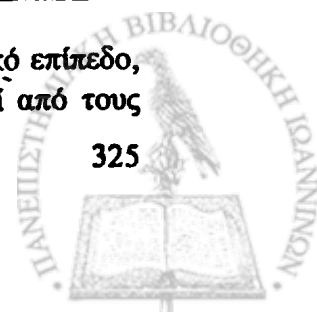
αυγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης έδειξαν ότι η μέση επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει σημαντικά, όχι μόνο από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» (σε επίπεδο 1%, κριτήριο Tukey) αλλά και από την επίδοση των ομάδων «επίδειξης» (σε επίπεδο 5%, κριτήριο L.S.D) και «συμβατικής διδασκαλίας» (σε επίπεδο 1%, κριτήριο L.S.D). Οι επιδόσεις δε των ομάδων «επίδειξης», «συμβατικής διδασκαλίας» και «ελέγχου» δε διαφέρουν μεταξύ τους ούτε σε επίπεδο σημαντικότητας 10% με την ελαστική μέθοδο L.S.D. Συνεπώς η «ομάδα πειραμάτων» διακρίνεται σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες στα πιο απαιτητικά θέματα που τέθηκαν. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 11.12.

Πίνακας 11.12 Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στα θέματα (3, 4) που απαιτούσαν γνώση σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	1	4	1.0734*	0,296	0,3138	1,8330
		3	0,9374*	0,312	0,1227	1,7521
L.S.D.			95% Διάστημα εμπιστοσύνης			
		2	0,7471**	0,300	0,1546	1,3397

\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01  
\*\*Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,05

Τέλος για τα θέματα 5 και 6 που απαιτούσαν γνώσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο, το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W=1,239$ . Οι πληθυσμοί από τους



οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W < F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ ,  $p < 0,05$ ). Επίσης η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή του δείκτη  $F = 7,138$ , όπου  $F > F_{0,05, 3, 147} = 2,605$ . Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν μεταξύ τους. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης με τη μέθοδο Tukey έδειξαν ότι η μέση επίδοση των τριών ομάδων που παρακολούθησαν τη διδακτική παρέμβαση Β διαφέρουν σημαντικά από την «ομάδα ελέγχου», σε επίπεδο 1%. Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» δεν διαφέρει από τις επιδόσεις των «ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» ούτε σε επίπεδο 10% με τη μέθοδο L.S.D. Τα αποτελέσματα της παραπάνω σύγκρισης παρουσιάζονται στον πίνακα 11.13.

**Πίνακας 11.13** Πολλαπλές συγκρίσεις για τις επιδόσεις των ομάδων στα θέματα (5, 6) που απαιτούσαν γνώση σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey	1	4	1,7654*	0,404	0,5090	3,0217
HSD	2	4	1,4026*	0,419	0,0986	2,7065
L.S.D.	3	4	1,3401*	0,435	0,2041	2,4761

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

Ανακεφαλαιώνοντας τις παραπάνω συγκρίσεις για τις τρεις ομάδες που πήραν μέρος στη διδακτική παρέμβαση Β σε σχέση με το επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα, προκύπτει ότι: Η «ομάδα πειραμάτων» και στις τρεις κατηγορίες θεμάτων «μακροσκοπικό + συμβολικό», «μακροσκοπικό + μικροσκοπικό» και «μικροσκοπικό» παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι της «ομάδας ελέγχου». Οι επιδόσεις δε των δύο τελευταίων ομάδων (επίδειξης και συμβατικής) διαφέρουν σημαντικά έναντι της «ομάδας ελέγχου» μόνο στις περιπτώσεις των θεμάτων που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό + συμβολικό επίπεδο καθώς και μικροσκοπικό. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι: Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» δε διαφέρει σημαντικά έναντι της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» στα θέματα που απαιτούσαν γνώση και κατανόηση σε μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο καθώς και σε μικροσκοπικό. Όμως η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει σημαντικά έναντι της «ομάδας επίδειξης» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» στα θέματα 3, 4 που απαιτούσαν γνώση και κατανόηση σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Τα παραπάνω συμπεράσματα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον πίνακα 11.14.



**Πίνακας 11.14** Σύγκριση των μέσων επιδόσεων των ομάδων (Π, πειραμάτων, ΕΠ, Επίδειξης, Σ, συμβατική και ΕΛ, ελέγχου) σε σχέση με τα επίπεδα γνώσης στα οποία αναφέρονται (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό) στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων.

Μέθοδος σύγκρισης των μέσων επιδόσεων Επίπεδο σημαντικότητας / Κριτήριο					
Επίπεδο γνώσης	Tukey (1%)	L.S.D (1%)	Tukey (5%)	L.S.D (5%)	L.S.D (10%)
Μακροσκοπικό + Συμβολικό (1, 2, 7)			M(Π)-M(ΕΛ)*	M(Σ)-M(ΕΛ)	M(ΕΠ)-M(ΕΛ)
Μακροσκοπικό + Μικροσκοπικό (3, 4)	M(Π)-M(ΕΛ)	M(Π)-M(ΕΠ)		M(Π)-M(Σ)	
Μικροσκοπικό (5, 6)	M(Π)-M(ΕΛ) M(ΕΠ)-M(ΕΛ)	M(Σ)-M(ΕΛ)			

\*Η μέση επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει στατιστικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% από τη μέση επίδοση της «ομάδας ελέγχου».

### 11.10 Αξιολόγηση της επίδρασης των διδακτικών μεθόδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό) για τα «ισοσταθμισμένα» δείγματα

Επαναλάβαμε την καταγραφή της επίδοσης των φοιτητών του δείγματος μας σε σχέση με τις δύο μεταβλητές, επίπεδο γνώσης των θεμάτων και διδακτική μέθοδο για τα ισοσταθμισμένα δείγματα (βλέπε, Κεφ. 5, 5.7). Οι νέες τιμές των μέσων επιδόσεων ανά ομάδα διδακτικής μεθόδου και ανά επίπεδο γνώσης παρουσιάζονται στον πίνακα 11.15.

**Πίνακας 11.15** Μέσες επιδόσεις ανά ομάδα μεθοδολογίας και ανά επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα εξέτασης.

Ομάδα	Επίπεδο γνώσης	Μακροσκοπικό	Μακροσκοπικό +	Μικροσκοπικό
		+ Συμβολικό	Μικροσκοπικό	
Μέση επίδοση (τυπική απόκλιση) στα θέματα				
		1, 2, 7	3, 4	5, 6
Πειραμάτων (N=36)		3,9 (1,1)	2,6 (1,4)	3,3 (1,9)
Επίδειξης (N=34)		3,7 (1,3)	1,8 (1,2)	3,1 (2,0)
Συμβατικής διδασκαλίας (N=31)		3,9 (1,6)	1,6 (1,3)	3,1 (1,9)
Ελέγχου (N=37)		3,3 (1,1)	1,5 (1,3)	1,8 (1,4)
Σύνολο (N=138)		3,7 (1,3)	1,9 (1,4)	2,8 (1,9)

Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις παρουσιάζουν μικρές διαφορές, της τάξεως του ενός έως δύο δέκατα της μονάδας σε σχέση με τις τιμές των πραγματικών δειγμάτων. Για τη σύγκριση των επιδόσεων των ομάδων σε σχέση με τα θέματα που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο, το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε την τιμή  $W=1,614$  με  $df_1=3$ ,  $df_2=134$  ( $W < F_{3, 134, 0,05} = 2,67$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς. Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή  $F=1,550$  με  $df_1=3$ ,  $df_2=134$  ( $F < F_{3, 134, 0,05}$ ,  $p > 0,05$ ). Οι μέσες τιμές επίδοσης δε διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Από την εξέταση των μέσων τιμών με το κριτήριο L.S.D., σε επίπεδο 10% προέκυψε ότι η «ομάδα πειραμάτων» και η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει στην επίδοση από την «ομάδα ελέγχου». Στα πραγματικά δείγματα η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» και της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρουν στατιστικά από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 5% και επιπλέον η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει από την «ομάδα ελέγχου» σε επίπεδο 10%. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των πραγματικών και «ισοσταθμισμένων δειγμάτων» μπορεί να αποδοθεί τόσο στη μικρή μείωση της μέσης τιμής της «ομάδας πειραμάτων» και στη μικρή αύξηση της «ομάδας ελέγχου» καθώς και στη μείωση του μεγέθους των δειγμάτων.

Για τα θέματα που αναφέρονται σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο ( $W=0,616$  με  $df_1=3$ ,  $df_2=134$ ,  $W < F_{3, 134, 0,05} = 2,67$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς. Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή  $F=4,900$  ( $F > F_{3, 134, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ) δύο τουλάχιστον μέσες τιμές διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών έδειξαν τις ίδιες ακριβώς στατιστικά σημαντικές διαφορές των ομάδων, όπως στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων. Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων διαφέρει σημαντικά από την επίδοση των ομάδων «επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» και βέβαια από την «ομάδα ελέγχου».

Για τα θέματα που αναφέρονται σε μικροσκοπικό επίπεδο, η στατιστική ανάλυση έδωσε, ότι οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W=1,285$  με  $df_1=3$ ,  $df_2=134$ ,  $W < F_{3, 134, 0,05} = 2,67$ ,  $p < 0,05$ ). Η ανάλυση διακύμανσης έδωσε τιμή  $F=5,298$  ( $F > F_{3, 134, 0,05}$ ,  $p < 0,05$ ) δύο τουλάχιστον μέσες τιμές θα διαφέρουν σημαντικά. Οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων τιμών επίδοσης έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα όπως και στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων, δηλαδή η επίδοση κάθε ομάδας διδακτικής μεθόδου διαφέρει σημαντικά (σε επίπεδο 1%) από την «ομάδα ελέγχου». Συμπερασματικά από τις παραπάνω συγκρίσεις προκύπτει ότι τόσο στα πραγματικά όσο και στα «ισοσταθμισμένα δείγματα» η «ομάδα πειραμάτων» έφερε καλύτερη επίδοση σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες στα πιο απαιτητικά θέματα, τα θέματα που ζητούσαν συσχέτιση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεγεθών. Στα θέματα που αναφέρονταν στα δύο άλλα επίπεδα γνώσης, μακροσκοπικό + συμβολικό και μικροσκοπικό η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων δεν διαφοροποιείται με σχέση με τις δύο άλλες ομάδες. Η σύγκριση των επιδόσεων των διδακτικών ομάδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης για τις δύο περιπτώσεις δειγμάτων παρουσιάζεται στον πίνακα 11.16.



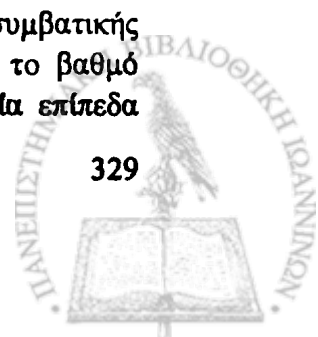
**Πίνακας 11.16** Σύγκριση των μέσων επιδόσεων των ομάδων (Π, πειραμάτων, ΕΠ, Επίδειξης, Σ, συμβατική και ΕΛ, ελέγχου) σε σχέση με τα επίπεδα γνώσης στα οποία αναφέρονται (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό) για τις δύο περιπτώσεις δειγμάτων.

Μέθοδος σύγκρισης των μέσων επιδόσεων Επίπεδο σημαντικότητας / Κριτήριο		
Επίπεδο γνώσης	Πραγματικό δείγμα	Ισοσταθμισμένο δείγμα
Μακροσκοπικό + Συμβολικό (1, 2, 7)	M(Π)-M(ΕΛ)*, Tukey (5%)	M(Π)-M(ΕΛ), L.S.D (10%)
	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), L.S.D (10%)	M(Σ)-M(ΕΛ), L.S.D (10%)
	M(Σ)-M(ΕΛ), L.S.D (5%)	
- Μακροσκοπικό + Μικροσκοπικό (3, 4)	M(Π)-M(ΕΠ), L.S.D (5%)	M(Π)-M(ΕΠ), L.S.D (5%)
	M(Π)-M(Σ), L.S.D (1%)	M(Π)-M(Σ), L.S.D (1%) και Tukey (5%)
	M(Π)-M(ΕΛ), Tukey (1%)	M(Π)-M(ΕΛ), Tukey (1%)
Μικροσκοπικό (5, 6)	M(Π)-M(ΕΛ), Tukey (1%)	M(Π)-M(ΕΛ), Tukey (1%)
	M(ΕΠ)-M(ΕΛ), Tukey (1%)	M(ΕΠ)-M(ΕΛ) L.S.D,(1%) και Tukey (5%)
	M(Σ)-M(ΕΛ), L.S.D (1%)	M(Σ)-M(ΕΛ), L.S.D (1%) και Tukey (5%)

\*Η μέση επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» διαφέρει στατιστικά σε επίπεδο σημαντικότητας 5% από τη μέση επίδοση της «ομάδας ελέγχου».

**11.11 Αξιολόγηση της επίδοσης των δύο κύριων ομάδων του δείγματος (φοιτητές που συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση Α και σε μια διδακτική μέθοδο και φοιτητές που συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α) σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης για τα πραγματικά δείγματα**

Από τη διερεύνηση της προηγούμενης ενότητας προκύπτει ότι η «ομάδα πειραμάτων» παρουσίασε συστηματική διαφορά στην επίδοσή της στα πιο απαιτητικά θέματα, στα θέματα που απαιτούσαν συσχέτιση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεγεθών σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες (ομάδα επίδειξης και ομάδα συμβατικής διδασκαλίας). Παρά το παραπάνω εύρημα, μια πιο γενική διερεύνηση για το βαθμό δυσκολίας που συναντούν οι φοιτητές σε θέματα που αναφέρονται στα τρία επίπεδα



γνώσης, ανεξάρτητα από τη διδακτική μέθοδο στην οποία συμμετείχαν, παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευρά διδακτικής.

Για τη διερεύνηση αυτή ενοποιήσαμε τις τρεις ομάδες φοιτητών που παρακολούθησαν μια διαφορετική διδακτική μέθοδο σε μια (ομάδα διδακτικών μεθόδων) και διατηρήσαμε την «ομάδα ελέγχου» ως έχει. Οι επιδόσεις των δύο αυτών ομάδων ανά επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα τεθέντα θέματα παρουσιάζονται στον πίνακα 11.17.

Πίνακας 11.17 Μέσες επιδόσεις των «ομάδων διδακτικής μεθόδου» και «ομάδας ελέγχου» ανά επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα εξέτασης.

Ομάδα \ Επίπεδο γνώσης	Μακροσκοπικό + Συμβολικό (1,2,7)	Μακροσκοπικό + Μικροσκοπικό (3, 4)	Μικροσκοπικό (5, 6)
	Μέση επίδοση (τυπική απόκλιση) Ελάχιστη /μέγιστη τιμή επίδοσης		
Ομάδα διδακτικής μεθόδου (ομάδα πειραμάτων + επίδειξης + συμβατικής διδασκαλίας) (N=112)	3,9 (1,4) 1,2 / 8,0	2,1 (1,4) 0,0 / 5,5	3,2 (1,9) 0,0 / 8,0
Ελέγχου (N=39)	3,2 (1,2) 0,0 / 4,8	1,5 (1,3) 0,0 / 4,0	1,7 (1,4) 0,0 / 5,0
Σύνολο (N=151)	3,7 (1,4)	2,0 (1,4)	2,8 (1,9)

Από τις τιμές του πίνακα φαίνεται ότι τα θέματα 3, 4 (υγροποίηση αέρα, ελάττωση της διαλυτότητας οξυγόνου στο νερό), που απαιτούσαν συσχέτιση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών μεγεθών, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσκολία. Τα θέματα (5, 6), που περιγράφουν μια μεταβολή σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητείται να περιγράψουν τι μεταβολές συμβαίνουν σε μικροσκοπικό επίπεδο παρουσιάζουν, μικρότερη δυσκολία. Τα θέματα αυτά μπορούμε να πούμε ότι απαιτούσαν γνώση του μικροσκοπικού επιπέδου.

Τέλος τα θέματα (1, 2, 7), που περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητούν απαντήσεις σε συμβολικό επίπεδο, είναι τα πλέον προσιτά στους φοιτητές του δείγματος μας.

Για τη σύγκριση της επίδοσης κάθε μιας από τις δύο ομάδες, ως προς τα τρία επίπεδα γνώσης, εφαρμόσαμε το στατιστικό έλεγχο των διαφορών των μέσων τιμών πολλών ομάδων μετρήσεων, οι οποίες είναι εξισωμένες κατά ζεύγη (ανάλυση διακύμανσης). Στην περίπτωση αυτή κάθε υποκείμενο εξετάστηκε ταυτόχρονα σε τρεις ομάδες θεμάτων και η βαθμολογία τους έγινε με την ίδια κλίμακα.

Το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης για την «ομάδα διδακτικών μεθόδων» έδωσε τιμή  $W = 9,122$  με  $df_1 = 2$ ,  $df_2 = 333$ . Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται



τα δείγματα των μετρήσεων διαφέρουν. Δύο τουλάχιστον προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς ( $W > F_{2, 333, 5\%} = 2,996$ ). Για να καθοριστεί ποιες ομάδες δεδομένων προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς συγκρίνουμε τις ομάδες ανά δύο. Το τεστ ομοιογένειας έδωσε για τις επιδόσεις στις ομάδες, μακροσκοπικό + συμβολικό και μακροσκοπικό + μικροσκοπικό την τιμή  $W = 1,090$  με  $df_1 = 1$ ,  $df_2 = 222$ . Οι πληθυσμοί είναι ομοιογενείς ( $W < F_{1, 222, 5\%} = 3,841$ ). Για τις επιδόσεις των ομάδων σε μακροσκοπικό + συμβολικό και σε μικροσκοπικό επίπεδο,  $W = 14,189$  με  $df_1 = 1$ ,  $df_2 = 222$ . Οι πληθυσμοί είναι ανομοιογενείς ( $W > F_{1, 222, 5\%} = 3,841$ ). Τέλος, για τις επιδόσεις σε μακροσκοπικό + μικροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο,  $W = 9,269$  με  $df_1 = 1$ ,  $df_2 = 222$ , οι πληθυσμοί είναι επίσης ανομοιογενείς ( $W > F_{1, 222, 5\%} = 3,841$ ).

Η ανάλυση διακύμανσης – ANOVA για το στατιστικό έλεγχο των διαφορών των μέσων τιμών έδωσε τιμή  $F = 37,798$  ( $F > F_{2, 333, 1\%} = 4,605$ ). Οι διαφορές στις μέσες τιμές επίδοσης των τριών ομάδων δεδομένων δεν οφείλονται στη φυσική διακύμανση των τιμών αλλά υπάρχει σημαντική συνάφεια μεταξύ του επιπέδου γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα. Το τεστ των πολλαπλών συγκρίσεων με το κριτήριο Tukey έδωσε τον πίνακα 11.18.

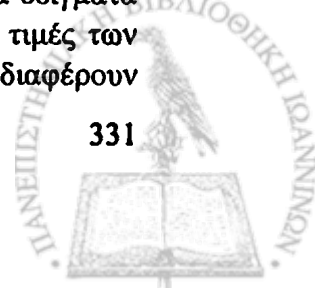
Η επίδοση σε θέματα που περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητούν απαντήσεις σε συμβολικό υπερτερεί (σε επίπεδο 1% - κριτήριο Tukey) της επίδοσης σε θέματα που απαιτούν συσχέτιση εννοιών σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο καθώς και της επίδοσης σε θέματα που απαιτούσαν γνώση του μικροσκοπικού επιπέδου. Επιπλέον, τα θέματα γνώσης του μικροσκοπικού επιπέδου παρουσιάζουν καλύτερη επίδοση (σε επίπεδο 1% - κριτήριο Tukey) σε σχέση με θέματα που απαιτούν συσχέτιση μακροσκοπικού και μικροσκοπικού επιπέδου.

Πίνακας 11.18 Πολλαπλές συγκρίσεις για την επίδοση της «ομάδας διδακτικών μεθόδων» σε σχέση με το επίπεδο γνώσης των θεμάτων.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	Μακρο. +	Μακροσκοπικό + μικροσκοπικό	1,83*	0,213	1,213	2,453
	συμβολικό	Μικροσκοπικό	0,71*	0,213	0,087	1,326
	Μικρο.	Μακροσκοπικό + μικροσκοπικό	1,13*	0,213	1,746	0,507

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

Συνεχίζοντας κατά τρόπο ανάλογο τη σύγκριση των επιδόσεων ανά επίπεδο γνώσης για την «ομάδα ελέγχου» το τεστ ομοιογένειας της διακύμανσης έδωσε τιμή  $W = 1,334$  με  $df_1 = 2$ ,  $df_2 = 114$ . Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα είναι ομοιογενείς ( $W < F_{2, 114, 5\%} = 3,072$ ). Η ανάλυση διακύμανσης για τις τιμές των τριών επιπέδων γνώσης έδωσε τιμή  $F = 19,794$ . Δύο τουλάχιστον μέσες τιμές διαφέρουν



σημαντικά μεταξύ τους ( $F > F_{1, 114, 1\%} = 4,786$ ). Το τεστ των πολλαπλών συγκρίσεων με εφαρμογή του κριτηρίου Tukey (Πίνακας 11.19) επισημαίνει ότι για την «ομάδα ελέγχου» η επίδοση σε θέματα που αναφέρονται σε μακροσκοπικό+συμβολικό επίπεδο διαφέρει σημαντικά (σε επίπεδο 1%) σε σχέση με την επίδοση σε θέματα που αναφέρονται στα δύο άλλα επίπεδα γνώσης. Όμως στην περίπτωση της «ομάδας ελέγχου» η επίδοση σε μικροσκοπικά δεν διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την επίδοση σε μακροσκοπικά + μικροσκοπικά, όπως συνέβη με την «ομάδα διδακτικών μεθόδων».

**Πίνακας 11.19** Πολλαπλές συγκρίσεις για την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε σχέση με το επίπεδο γνώσης των θεμάτων.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	Μακρο. + Συμβολικό	Μακρο +	1,70*	0,298	0,813	2,587
		Μικρο.	1,54*	0,298	0,642	2,425
	Μικρο.	Μακρο +	0,16	0,298	1,048	0,725
		Μικρο.				

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

Από την παραπάνω μελέτη προκύπτει ότι για τους φοιτητές του δείγματός μας τα πιο προσιτά θέματα είναι εκείνα που περιγράφουν καταστάσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητούν απαντήσεις σε συμβολικό. Θέματα που περιγράφουν μια μεταβολή σε μακροσκοπικό επίπεδο και ζητείται να περιγραφούν οι σχετικές μεταβολές σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι λιγότερο προσιτά στους φοιτητές. Τέλος οι φοιτητές συναντούν ιδιαίτερη δυσκολία σε θέματα που ζητούν την κατανόηση μακροσκοπικών μεταβολών μέσω των σχετικών μικροσκοπικών.

Επίσης οι φοιτητές που παρακολούθησαν μια διδακτική μέθοδο (κατά την παρέμβαση Β) σχημάτισαν μια πιο συνεκτική εικόνα για τη μικροσκοπική δομή της ύλης, σε σχέση με τους φοιτητές της «ομάδας ελέγχου». Έτσι θέματα που απαιτούσαν γνώση σε μικροσκοπικό επίπεδο σε ένα βαθμό τους ήταν προσιτά σε αντίθεση με τους φοιτητές της «ομάδας ελέγχου». Όμως, και οι φοιτητές της «ομάδας διδακτικών μεθόδων» δεν έχουν αποκτήσει την κατανόηση που θα τους επιτρέψει να ερμηνεύουν απαιτητικά θέματα όπως η υγραποίηση του αέρα και η ελάττωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στο νερό με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Επιπλέον η ανομοιογένεια των πληθυσμών (οι τιμές έχουν μεγάλη διασπορά περί τη μέση τιμή) από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα, στην περίπτωση της «ομάδας διδακτικών μεθόδων» και η ομοιογένεια των πληθυσμών στην περίπτωση της «ομάδας





ελέγχου» είναι πιθανό να οφείλεται στη διαφορετική διδακτική μέθοδο που συμμετείχαν τα υποκείμενα της πρώτης ομάδας.

**11.12 Αξιολόγηση της επίδοσης των δύο κύριων ομάδων του δείγματος (φοιτητές που συμμετείχαν στη διδακτική παρέμβαση Α και σε μια διδακτική μέθοδο και φοιτητές που συμμετείχαν μόνο στην παρέμβαση Α) σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης για τα «ισοσταθμισμένα δείγματα»**

Επαναλάβαμε τη διαδικασία της προηγούμενης ενότητας για τα «ισοσταθμισμένα δείγματα». Στον πίνακα 11.19 καταγράψαμε τις επιδόσεις των δύο κύριων ομάδων σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης που έχουμε διακρίνει τα τεθέντα θέματα. Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις μεταξύ των πραγματικών και των ισοσταθμισμένων δειγμάτων παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις, της τάξης του ενός δεκάτου της μονάδας.

Το τεστ της ομοιογένειας της διακύμανσης για την «ομάδα των διδακτικών μεθόδων» έδωσε τιμή  $W=9,872$  με  $df_1=2$ ,  $df_2=300$  ( $W > F_{2, 300, 5\%} = 3,02$ ,  $p > 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα διαφέρουν. Η ανάλυση διακύμανσης για το στατιστικό έλεγχο των διαφορών των μέσων τιμών έδωσε τιμή  $F=34,877$  με  $df_1=2$ ,  $df_2=300$  ( $F > F_{2, 300, 1\%} = 4,66$ ). Τουλάχιστον δύο ζεύγη μέσων τιμών διαφέρουν σημαντικά. Το τεστ των πολλαπλών συγκρίσεων των μέσων τιμών έδωσε τον πίνακα 11.20. Τα αποτελέσματα είναι ίδια όπως στην περίπτωση των πραγματικών δειγμάτων.

**Πίνακας 11.20 Μέσες επιδόσεις των «ομάδων διδακτικής μεθόδου» και «ομάδας ελέγχου» ανά επίπεδο γνώσης που απαιτούσαν τα θέματα εξέτασης στα ισοσταθμισμένα δείγματα.**

Ομάδα	Επίπεδο γνώσης		
	Μακροσκοπικό+ Συμβολικό (1, 2,7)	Μακροσκοπικό + Μικροσκοπικό (3, 4)	Μικροσκοπικό (5, 6)
	Μέση επίδοση (τυπική απόκλιση) Ελάχιστη / μέγιστη τιμή επίδοσης		
Ομάδα διδακτικής μεθόδου (ομάδα πειραμάτων + επίδειξης + συμβατικής διδασκαλίας) (N=101)	3,9 (1,3)	2,0 (1,4)	3,2 (1,9)
Ελέγχου (N=37)	1,2 / 8,0	0,0 / 5,5	0,0 / 7,3
	3,3 (1,2)	1,5 (1,3)	1,8 (1,4)
	0,3 / 4,8	0,0 / 4,0	0,0 / 5,0
Σύνολο (N=138)	3,7 (1,3)	1,9 (1,4)	2,8 (1,9)

**Πίνακας 11.21** Πολλαπλές συγκρίσεις για την επίδοση της «ομάδας διδακτικών μεθόδων» σε σχέση με το επίπεδο γνώσης των θεμάτων για τα ισοσταθμισμένα δείγματα.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	Μακρο. + Συμβολικό	Μακρο. +	1,84*	0,222	1,190	2,486
		Μικρο.	0,69*	0,222	0,047	1,343
	Μικρο. + Μικρο	1,14*	0,222	0,496	1,791	

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01

Για τα «ισοσταθμισμένα δείγματα» της «ομάδας ελέγχου»  $W=2,224$  με  $df_1=2$ ,  $df_2=108$  ( $W < F_{2, 108, 5\%} = 3,07$ ,  $p < 0,05$ ). Οι πληθυσμοί από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα δεν διαφέρουν.

Η ανάλυση διακύμανσης για το στατιστικό έλεγχο των διαφορών των μέσων τιμών έδωσε τιμή  $F=21,687$  με  $df_1=2$ ,  $df_2=108$  ( $F > F_{2, 108, 1\%} = 4,78$ ). Τουλάχιστον δύο ζεύγη μέσων τιμών διαφέρουν σημαντικά. Το τεστ των πολλαπλών συγκρίσεων των μέσων τιμών έδωσε τις παρακάτω στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίνακας 11.21). Οι διαφορές των επιδόσεων της «ισοσταθμισμένης ομάδας ελέγχου» ως προς τις τρεις κατηγορίες θεμάτων δεν διαφοροποιούνται από αυτές που προέκυψαν στα πραγματικά δείγματα.

**Πίνακας 11.22** Πολλαπλές συγκρίσεις για την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε σχέση με το επίπεδο γνώσης των θεμάτων στα ισοσταθμισμένα δείγματα.

Κριτήριο	Ομάδα	Ομάδα	Διαφορές μέσων τιμών	Τυπικό σφάλμα	99% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
Tukey HSD	Μακρο + συμβολικό	Μακρο. + Μικρο.	1,80*	0,298	0,917	2,694
		Μικρο.	1,58*	0,298	0,642	2,425
	Μικρο.	Μακρο. + Μικρο.	0,23	0,298	-0,658	1,118

\* Οι μέσες διαφορές είναι σημαντικές σε επίπεδο 0,01



Γενικά οι φοιτητές του δείγματός μας αντιμετωπίζουν δυσκολία στο να κατανοήσουν την αφηρημένη μικροσκοπική δομή της ύλης και να ερμηνεύσουν μακροσκοπικές μεταβολές στηριζόμενοι σε μικροσκοπικό επίπεδο. Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες (Tsaralis, 1997, Johnstone, 1991, Gabel, 1999). Ας σημειωθεί ότι τα περισσότερα θέματα που τίθενται τόσο στις προαγωγικές εξετάσεις στο λύκειο όσο και στις πανελλαδικές αναφέρονται στην πρώτη ομάδα θεμάτων. Στους μαθητές δίνεται η μακροσκοπική περιγραφή μιας κατάστασης και τους ζητείται εφαρμόζοντας σχετικούς μαθηματικούς τύπους, να υπολογίσουν κάποια μεγέθη. Η δεύτερη και η τρίτη κατηγορία θεμάτων μπορεί να ενταχθεί σ'αυτά που χαρακτηρίζονται ως ποιοτικά, και αυτά συνήθως θεωρούνται ως απαιτητικά θέματα για μαθητές και φοιτητές

**Πίνακας 11.23** Ανακεφαλαίωση των επιδόσεων των ομάδων διδακτικής μεθόδου (πειραμάτων + επίδειξης + συμβατικής διδασκαλίας) καθώς και της «ομάδας ελέγχου» σε σχέση με τα τρία επίπεδα γνώσης (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό) για τις δύο περιπτώσεις δειγμάτων.

Ομάδες διδακτικής μεθόδου	Πραγματικό δείγμα (N=112)	Ισοσταθμισμένο δείγμα (N=101)
	Μακρο + Συμβολ.> Μακρο + Μικρο* Μακρο + Συμβολ.> Μικρο Μικρο > Μακρο+ Μικρο	Μακρο + Συμβολ.> Μακρο + Μικρο Μακρο + Συμβολ.> Μικρο Μικρο > Μακρο+ Μικρο
<b>Ομάδα ελέγχου</b>	(N=39)	(N=37)
	Μακρο + Συμβολ.> Μακρο + Μικρο Μακρο + Συμβολ.> Μικρο	Μακρο + Συμβολ.> Μακρο + Μικρο Μακρο + Συμβολ.> Μικρο

\*Η επίδοση στα θέματα που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο είναι στατιστικά σημαντική σε σχέση με τα θέματα που αναφέρονται σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Όλες οι διαφορές επίδοσης στον πίνακα είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 1% (κριτήριο Tukey).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

#### 12.1 Σύνοψη της επίδοσης των ομάδων στα θέματα εξέτασης

Είναι πολύ πιθανόν, ένας ειδικός που ασχολείται κυρίως με «τη γνώση περιεχομένου της επιστήμης» να ισχυριζόταν ότι τα θέματα που τέθηκαν στην εξέταση είναι πολύ απλά και θα έπρεπε να τεθούν σε αποφοίτους γυμνασιακής εκπαίδευσης, ίσως και σε αποφοίτους της α' λυκείου. Η επίδοση που προέκυψε από τη βαθμολόγηση των γραπτών του σχετικά μεγάλου δείγματός μας (N=151, το πραγματικό και N=138 το ισοσταθμισμένο) επιβεβαιώνει ότι η πλειονότητα των αποφοίτων της λυκειακής εκπαίδευσης, αν και παίρνουν ικανοποιητικές βαθμολογίες στις διάφορες εξετάσεις, έχουν σε μικρό βαθμό κατανοήσει βασικές έννοιες της αέριας κατάστασης. Δυσκολεύονται δε στο να εφαρμόζουν τις έννοιες αυτές για να απαντήσουν ή να λύσουν απλά προβλήματα, που αναφέρονται σε καταστάσεις που δεν είναι πανομοιότυπες μ'αυτές που περιέχονται στα σχολικά βιβλία.

Τα παραπάνω βρίσκονται σε συμφωνία με την πεποίθηση που υπάρχει στο χώρο της διδακτικής και της γνωσιακής ψυχολογίας. Η γνώση που αποκτάται στο σχολείο είναι σε μεγάλο βαθμό «αδρανής», αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιορισμένες περιπτώσεις και δεν μπορεί να εφαρμοστεί για να εξηγήσει και να διαχειριστεί προβλήματα της καθημερινής ζωής (Gardner, 1991, Perkins, 1992, Bereiter, 1984, Bransford et al., 1989, De Corte et al., 1996).

Επιπλέον, επιβεβαιώνεται ότι η διδασκαλία «του περιεχομένου της επιστήμης» δεν είναι αρκετή για να οικοδομήσουν οι νέοι τις επιστημονικές έννοιες. Οι διδάσκοντες θα πρέπει ταυτόχρονα να έχουν αναπτύξει και «την παιδαγωγική γνώση περιεχομένου», δηλαδή να έχουν οργανωμένες στρατηγικές διδασκαλίας για το πώς να διδάξει ένα ιδιαίτερο γνωστικό αντικείμενο, και να λαμβάνουν υπόψη τους τις ιδιαίτερες μαθησιακές απαιτήσεις που είναι σύμφυτες με το αντικείμενο αυτό.



Ως προ τις επιδόσεις στα τεθέντα θέματα εξέτασης των τεσσάρων ομάδων, στις οποίες είχαμε διαχωρίσει το συνολικό δείγμα μας, κατά αρχήν πρέπει να σημειώσουμε ότι:

- Στις τρεις πρώτες ομάδες που διδάχθηκαν θέματα της αέριας κατάστασης κατά την παρέμβαση Α και Β έλαβε χώρα μάθηση, αφού οι επιδόσεις των ομάδων αυτών, τόσο στα πραγματικά όσο και στα ισοσταθμισμένα δείγματα, διαφέρουν στατιστικά έναντι της επίδοσης των φοιτητών της τέταρτης ομάδας, της «ομάδας ελέγχου», που δεν πήρε μέρος στη διδασκαλία κατά την παρέμβαση Β. Συνεπώς και οι τρεις διδακτικές μέθοδοι έχουν την αξία τους στη διδακτική διαδικασία και μάθηση.

Ένας από τους στόχους της έρευνάς μας ήταν η διερεύνηση της αποδοτικότητας της διδασκαλίας λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο λύσης (με κιμωλία και πίνακα) καθώς και σε σχέση με τη διδασκαλία λύσης προβλημάτων υποβοηθούμενη από πειράματα επίδειξης.

- Όπως δείξαμε από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων των φοιτητών στα θέματα εξέτασης (Κεφ. 11, Πίνακας 11.8), η «ομάδα πειραμάτων» εμφάνισε τη μικρότερη αναλογία παρανοήσεων σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες, «ομάδα επίδειξης» και «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας», και τη μεγαλύτερη αναλογία ορθών και μερικών ορθών απαντήσεων.

- Από τη στατιστική σύγκριση των επιδόσεων των τριών πρώτων ομάδων στο σύνολο των θεμάτων εξέτασης (Πίνακας 10.23 και 10.26), αν και οι διαφορές των επιδόσεων τους δεν είναι μεγάλες, η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» δείχνει μια τάση να διαφοροποιηθεί έναντι των δύο άλλων. Διαφέρει στην επίδοση έναντι των δύο άλλων σε επίπεδο σημαντικότητας 10%. στα πραγματικά δείγματα και επίσης σε επίπεδο 1% σε σχέση με την «ομάδα ελέγχου» στα ισοσταθμισμένα δείγματα. Ενώ οι επιδόσεις των «ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η επίδοση της «ομάδας επίδειξης» διαφέρει από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 1% και 5% για τα πραγματικά και για τα ισοσταθμισμένα δείγματα αντίστοιχα. Ενώ η επίδοση της «ομάδας συμβατικής διδασκαλίας» διαφέρει από την επίδοση της «ομάδας ελέγχου» σε επίπεδο 5% τόσο για τα πραγματικά όσο και για τα ισοσταθμισμένα δείγματα.

- Οι κατανομές βαθμολογίας των δύο πρώτων ομάδων (πειραμάτων και επίδειξης) είναι κανονικές και οξύκυρτες, ενώ της τρίτης ομάδας (συμβατικής διδασκαλίας) είναι επίσης κανονική αλλά πλατύκυρτη. Η πλειονότητα των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» έχει μέτρια και καλή επίδοση (για τον τρόπο ορισμού των κατηγοριών επίδοσης, Κεφ.10, 10.12), ενώ στις δύο άλλες ομάδες η πλειονότητα των φοιτητών έχει μέτρια και χαμηλή επίδοση.

- Ως προς τη διμεταβλητή καλή / χαμηλή επίδοση (για τον τρόπο ορισμού των κατηγοριών, Κεφ. 10, 10.10) ο αριθμός των φοιτητών της «ομάδας πειραμάτων» που έφερε καλή επίδοση διαφέρει στατιστικά (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%) έναντι των φοιτητών των δύο άλλων ομάδων που έφεραν επίσης καλή επίδοση (το χαρακτηριστικό αυτό δεν διατηρείται στα ισοσταθμισμένα δείγματα).

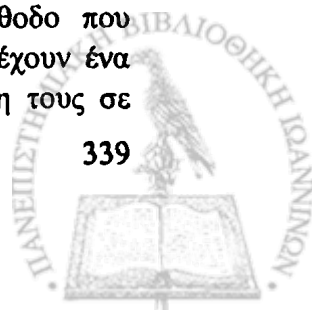


• Η επίδοση της «ομάδας πειραμάτων» στα πιο απαιτητικά θέματα (3, 4), που αναφέρονταν στη συσχέτιση μικροσκοπικών και μακροσκοπικών μεγεθών διαφέρει στατιστικά (επίπεδο σημαντικότητας 5%) έναντι των δύο άλλων ομάδων (στα πραγματικά και στα ισοσταθμισμένα δείγματα). Στα θέματα (1, 2, 7) που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο καθώς και στα θέματα (5, 6) που αναφέρονται σε μικροσκοπικό επίπεδο η «ομάδα πειραμάτων», αν και παρουσίασε υψηλότερη επίδοση, αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Μεταξύ δε των «ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας», ως προς τους τρεις παραπάνω τρόπους αναπαράστασης της επιστημονικής γνώσης, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

• Στο σύνολο των φοιτητών που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο, η διαφορά επίδοσης στα θέματα που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο ήταν στατιστικά σημαντική σε σχέση με τα θέματα που αναφέρονταν στη συσχέτιση μακροσκοπικού και μικροσκοπικού επιπέδου καθώς και μόνο σε μικροσκοπικό. Επίσης η διαφορά επίδοσης σε θέματα που αναφέρονταν σε μικροσκοπικό επίπεδο ήταν επίσης στατιστικά σημαντική σε σχέση με τα θέματα που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Η παραπάνω διάταξη δυσκολίας των θεμάτων επιβεβαιώθηκε τόσο στα πραγματικά όσο και στα ισοσταθμισμένα δείγματα. Για τους φοιτητές της "ομάδας ελέγχου" και στις δύο περιπτώσεις των δειγμάτων, διαπιστώθηκε η ισχύς του πρώτου από τα παραπάνω συμπεράσματα σε σχέση με το επίπεδο γνώσης των θεμάτων. Όμως στην περίπτωση των φοιτητών αυτών, που δεν συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο, η διαφορά επίδοσης τους στα θέματα που αναφέρονταν σε μικροσκοπικό επίπεδο δεν διαφέρει σημαντικά σε σχέση μ'αυτά που αναφέρονταν σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο.

• Οι φοιτητές με «καλή επίδοση» δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους σε σχέση με τις τρεις διδακτικές μεθόδους που παρακολούθησαν. Οι φοιτητές με «χαμηλή επίδοση», της «ομάδας πειραμάτων» παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά (σε επίπεδο 5%) μόνο έναντι των φοιτητών της ομάδας «συμβατικής διδασκαλίας» στα πραγματικά δείγματα, ενώ στα ισοσταθμισμένα έναντι των φοιτητών της "ομάδας επίδειξης". Όμως, αξιοσημείωτη είναι η στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των φοιτητών με «μέτρια επίδοση» που διδάχθηκαν λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων έναντι των φοιτητών της ίδιας κατηγορίας, που παρακολούθησαν τις δύο άλλες διδακτικές μεθόδους. Οι φοιτητές της κατηγορίας αυτής στις τρεις ομάδες αποτελούν το 64,9% στο σύνολο του δείγματος των τριών ομάδων.

• Οι έχοντες καλή και ασθενή γνωστική υποδομή φοιτητές στις φυσικές επιστήμες από τη λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης (απόφοιτοι θετικής και θεωρητικής κατεύθυνσης αντίστοιχα) δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στην επίδοσή τους στα θέματα εξέτασης σε σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Όμως, οι απόφοιτοι τεχνολογικής κατεύθυνσης, που έχουν ένα ενδιάμεσο γνωστικό υπόβαθρο σημείωσαν διαφοροποίηση στην επίδοσή τους σε



σχέση με τη διδακτική μέθοδο που παρακολούθησαν. Συγκεκριμένα όσοι συμμετείχαν στην «ομάδα πειραμάτων» παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά (σε επίπεδο 5%) στην επίδοσή τους έναντι των δύο άλλων ομάδων. Μεταξύ δε των φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης των «ομάδων επίδειξης» και «συμβατικής διδασκαλίας» δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις.

- Τέλος το σύνολο των φοιτητών που συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο και προέρχονταν από τη θετική ή την τεχνολογική κατεύθυνση σημείωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην επίδοσή τους έναντι των φοιτητών που προέρχονταν από τη θεωρητική. Μεταξύ δε των φοιτητών των δύο πρώτων κατευθύνσεων δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές. Οι φοιτητές δε που δεν συμμετείχαν σε μια διδακτική μέθοδο (ομάδα ελέγχου) δεν παρουσίασαν σημαντική διαφορά στην επίδοσή τους σε σχέση με την κατεύθυνση από την οποία προέρχονταν.

Μεγάλες και ίσως εντυπωσιακές διαφορές στις επιδόσεις των τριών διδακτικών ομάδων, αν και θα ήταν επιθυμητές, δεν είναι συνήθεις σε διαδικασίες εννοιολογικής μετατόπισης. Οι επιστημονικές έννοιες και τα μοντέλα είναι πολύπλοκες νοητικές κατασκευές και η αναδόμηση των αρχικών διαισθητικών εννοιών ή η εκλέπτυνση των υπαρχουσών ορθών είναι μια μακροχρόνια διαδικασία που περιλαμβάνει διαδοχικές αναδομήσεις στα υπάρχοντα εννοιολογικά πλέγματα καθώς και περιπτώσεις εννοιολογικής παλινδρόμησης (Tyler, 1998). Στις θεωρίες της εννοιολογικής αλλαγής υπάρχει συνεχιζόμενη συζήτηση για τον τρόπο που μια εννοιολογική δομή θα πρέπει να περιγράφεται, ποιοι τύποι των δομικών μεταβλητών είναι σημαντικοί στο να ορίζουν την έκταση της εννοιολογικής αλλαγής και κατά πόσο τα δομικά μοντέλα είναι χρήσιμα στο να περιγράφουν την πολύπλοκη σχέση μεταξύ εννοιών και φαινομένων (Wiser & Carey, 1983, Carey, 1991, Chi & Slotta, 1993, Thagard, 1992, Vosniadou, 1994, DiSessa, 1993a).

Όμως παρά τις διαφωνίες για το πώς συμβαίνει η εννοιολογική αλλαγή, υπάρχει μια καλή συμφωνία μεταξύ των ερευνητών ότι για να συμβεί πρέπει να παρέχονται ευκαιρίες στους μαθητές για να συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες μάθησης, ώστε οι έννοιες να γίνουν σαφείς. Αυτό μπορεί να γίνει αφ' ενός με το να ενθαρρύνονται οι μαθητές στην αναδόμηση των εννοιών μέσω ενός φάσματος στρατηγικών, όπως συζήτηση, ανταλλαγή ιδεών, επιδείξεις ή εμπειρίες σε συγκρουόμενες καταστάσεις, και αφ' ετέρου να τους δίνονται ευκαιρίες να εφαρμόσουν τις έννοιες για να δοκιμάσουν την αποδοτικότητά τους στην ερμηνεία μιας σειράς σχετικών φαινομένων. Επίσης, αρκετοί ερευνητές έχουν υπογραμμίσει πόσο σημαντικό είναι να ενθαρρύνονται οι μαθητές να στοχάζονται πάνω στη δική τους κατανόηση (μεταγνώση) και να αναλαμβάνουν μεγαλύτερη υπευθυνότητα για τη δική τους μάθηση.

Από τα παραπάνω μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οι φοιτητές που ενεπλάκησαν στη λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων, συνεργαζόμενοι σε ομάδες, έναντι των συμφοιτητών τους που διδάχθηκαν τα ίδια προβλήματα με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης, καθώς και εκείνων που τα διδάχθηκαν με κιμωλία και πίνακα, απέκτησαν σε





μεγαλύτερο βαθμό την ικανότητα να χρησιμοποιούν αφηρημένες έννοιες της αέριας κατάστασης, για να εξηγήσουν συγκεκριμένες καταστάσεις που τους τέθηκαν στα θέματα εξέτασης. Η λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων από ομάδες φοιτητών φαίνεται να αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα της ομαδοσυνεργατικής μάθησης και ωθεί σε μεγαλύτερη ενεργό συμμετοχή τους φοιτητές, όταν αυτοί εμπλέκονται σε διαδικασίες διερεύνησης και επινοητικότητας πειραματικών διατάξεων, που δίνουν απαντήσεις στα προβλήματα που τους τίθενται. Ένα άλλο γεγονός που ίσως έπαιξε ρόλο είναι ότι η καθαυτό διαδικασία της άμεσης εμπλοκής τους με τα πειράματα θα πρέπει να τους έκανε πιο ευαίσθητους και με μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα θέματα που διδάχθηκαν. Πτυχές και παράγοντες της παραπάνω διδακτικής μεθόδου που συνδέονται με τη μάθηση, με κοινωνικές δεξιότητες και επιστημονικές στάσεις πρέπει περαιτέρω να διερευνηθούν.

### 12.2 Δύο παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν στην επίδοση της «ομάδας πειραμάτων»

Η απόπειρα λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο, από ομάδες φοιτητών, ήταν κάτι καινούριο γι' αυτούς και μια τέτοια διδακτική πρακτική για πρώτη φορά εφαρμόστηκε με φοιτητές των Π.Τ.Δ.Ε. στη χώρα μας. Με εξαίρεση κάποιες χώρες, όπως Γαλλία (BOEN, 1997, 1999, Laugier & Dumon, 2003), Μεγάλη Βρετανία (Standard Grade Chemistry, Scottish Certification of Education, 1998, Johnstone & Al-Naeme, 1995) και Η.Π.Α. (National Science Education Standard, National Research Council, Washington DC, 1996) που έχουν ενσωματωμένο στα αναλυτικά προγράμματα της λυκειακής τους βαθμίδας το πείραμα ως μέσο για την επίλυση προβλημάτων, ο χώρος αυτός εν πολλοίς αποτελεί «άγνωστο τόπο» στη δική μας δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στα σχολεία μας η λύση προβλημάτων διδάσκεται κατά κανόνα από το διδάσκοντα με «κιμωλία και πίνακα» και οι μαθητές στη συνέχεια ασκούνται στη λύση προβλημάτων ανακαλώντας τη μεθοδολογία που είχε εφαρμόσει ο διδάσκων ή ένα βοηθητικό βιβλίο στη λύση ενός παρόμοιου προβλήματος.

Σε έρευνες (Reed, et al., 1985, Pirolli, 1986, Reed, et al., 1974) έχει αποδειχθεί ότι οι μαθητές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από επεξεργασμένα παραδείγματα κατά τη λύση ασκήσεων και προβλημάτων. Έτσι όταν τους δίνεται μια άσκηση, οι μαθητές γυρίζουν στη λύση-υπόδειγμα και τη χρησιμοποιούν ως πλαίσιο για την κατανόηση και την επίλυση της άσκησης που έχουν να λύσουν. Γενικά στα σχολικά βιβλία, όχι μόνο στα δικά μας, τα περισσότερα προβλήματα περιορίζονται κατά κανόνα σε αριθμητικούς και αλγεβρικούς υπολογισμούς. Τα ζητούμενα σπάνια προκαλούν σκέψεις φαινομενολογικού και πειραματικού χαρακτήρα, που βοηθούν το μαθητή να ξεπεράσει εννοιολογικά φράγματα. Έχει αποδειχθεί επανειλημμένα ότι η ικανότητα του μαθητή να απαντά πλήρως ή εν μέρει στα προβλήματα δεν αποτελεί παράλληλα και εγγύηση ότι ο μαθητής έχει κατανοήσει τις βασικές έννοιες. Η Nakhleh (1993) βρήκε ότι η εννοιολογική ικανότητα επίλυσης προβλημάτων από τους σπουδαστές έχει μείνει αρκετά πίσω από την ικανότητά τους να λύνουν αλγοριθμικά προβλήματα. Οι σπουδαστές που συνηθίζουν να εφαρμόζουν αλγορίθμους για να λύσουν εννοιολογικά προβλήματα δεν εμπιστεύονται



την εννοιολογική τους κατανόηση στη χημεία που εμπλέκεται στο πρόβλημα (Nakhleh & Mitchell, 1993).

Γενικά οι μαθητές δεν εκτίθενται σε μια ποικιλία στρατηγικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη λύση των ίδιων προβλημάτων. Δεν υπάρχει διδακτική εξειδίκευση στην ανάπτυξη δεξιοτήτων, όπως δεξιότητες ερμηνείας του προβλήματος (επιλογή των σημαντικών πληροφοριών από τις διατυπώσεις του προβλήματος, μετάφραση των πιθανών σημασιών των διατυπώσεων) και επιδεξιότητες σύνδεσης (εννοιολογική συσχέτιση μεταξύ εννοιών, χρησιμοποίηση συνυποδηλώσεων από τη διατύπωση του προβλήματος που να συσχετίζουν ιδέες, έννοιες, διαγράμματα, κ.ά.).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» βρέθηκε σε ένα γνώριμο διδακτικό περιβάλλον, αφού σε όλη τη διαδρομή της στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση έμαθε να αντιμετωπίζει προβλήματα με μια μέθοδο που ήταν πολύ συγγενής μ' αυτή που εφαρμόσαμε κατά την παρέμβαση Β. Η σχετικά ανταγωνιστική επίδοση των φοιτητών στα θέματα εξέτασης της ομάδας "συμβατικής διδασκαλίας" σε σχέση με την «ομάδα πειραμάτων» μπορεί να αποδοθεί σε ένα βαθμό στη μεγαλύτερη ειδίκευση του διδάσκοντα στη μέθοδο αυτή διδασκαλίας σε σχέση με τις άλλες.

Η λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης, όπως την εφαρμόσαμε στην «ομάδα επίδειξης», βρίσκεται σε ένα ενδιάμεσο διδακτικό περιβάλλον σε σχέση μ' αυτό που είχαν γνωρίσει οι φοιτητές του δείγματος ως μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Όμως, η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο σε ομάδες ήταν μια διδακτική διαδικασία με την οποία οι φοιτητές ποτέ στο παρελθόν δεν είχαν εμπλακεί και έπρεπε αφ' ενός να αναπτύξουν συνεργατικές ικανότητες και αφ' ετέρου να προτείνουν και να υλοποιήσουν μια πειραματική διάταξη που να δίνει μια απάντηση στο πρόβλημα που τους τέθηκε. Συνεπώς η «ομάδα πειραμάτων» βρέθηκε σ' ένα σύνθετο και άγνωστο γι' αυτή διδακτικό περιβάλλον. Αυτό βέβαια την έκανε μάλλον πιο ευαίσθητη και με μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το μάθημα., αλλά σε κάποιο βαθμό συγκράτησε τη βαθμολογική της επίδοση.

Από την άλλη πλευρά ο γράφων, ως διδάσκων, κατά την παρέμβαση Β και στις τρεις ομάδες δεν είχε την ίδια διδακτική εμπειρία και στις τρεις διδακτικές μεθόδους που εφαρμόσε. Αν και έχει εικοσιπενταετή διδακτική εμπειρία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας είναι στη λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης, δεν είχε ποτέ στο παρελθόν εφαρμόσει ως δάσκαλος ένα διδακτικό σχεδιασμό και καθοδήγηση μαθητών για λύση προβλημάτων με πειράματα σε ομάδες. Η περίπτωση αυτή, όπως ήδη αναφέραμε, είναι ανύπαρκτη στη χώρα μας και μάλλον για πρώτη φορά εφαρμόστηκε κατά την παρούσα έρευνα με ένα συστηματικό τρόπο. Η δική μου διδακτική εμπειρία σε μεγάλο βαθμό σχετίζεται με τη διδασκαλία της φυσικής, κυρίως στη γ' λυκείου, που αυτή οριοθετείται σε μεγάλο βαθμό από τη σχετικά μεγάλης έκταση ύλη που θα πρέπει να «βγεί» καθώς και από τη μορφή των θεμάτων που τίθενται στις πανελλαδικές εξετάσεις, που είναι αλγοριθμικά και δίνουν έμφαση σε αριθμητικές και αλγεβρικές πράξεις. Εδώ η συμβατική μέθοδος διδασκαλίας είναι ο κανόνας. Στις άλλες τάξεις του λυκείου και ιδιαίτερα στο γυμνάσιο, ο γράφων είχε τη διδακτική εμπειρία από την αξιοποίηση πειραμάτων επίδειξης ενώπιον του τμήματος και τη διευκρίνιση εννοιών



που λειτουργούν ως εμπόδια στη λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης. Παρ' όλα αυτά, το εκπαιδευτικό κλίμα που επικρατεί στη χώρα μας και οι εργαστηριακές δυνατότητες στα σχολεία μας δεν αφήνουν και πολλά περιθώρια για την λειτουργική ένταξη του πειράματος στη διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων. Συνεπώς, ως διδάσκων και στις τρεις ομάδες κατά την παρέμβαση Β, παρά την προετοιμασία που προηγήθηκε για την εφαρμογή των τριών διδακτικών μεθόδων, τη μεγαλύτερη εμπειρία και ευχέρεια είχα στη συμβατική διδασκαλία λύσης προβλημάτων. Λύση προβλημάτων στον πίνακα με κιμωλία.

Από τα παραπάνω προκύπτουν δύο παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σύγκριση της επίδοσης των ομάδων. Ο ένας αφορά την προηγούμενη εμπειρία των φοιτητών στη λύση προβλημάτων και ο άλλος την εμπειρία του διδάσκοντα. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να δεχθούμε ότι λειτούργησαν «υπόγεια» σε ένα βαθμό θετικά για την «ομάδα συμβατικής διδασκαλίας» σε μικρότερο βαθμό, επίσης θετικά για την «ομάδα επίδειξης πειραμάτων», και αν δεν λειτούργησαν αρνητικά για την «ομάδα πειραμάτων» πάντως δεν τη βοήθησαν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, όπου η «ομάδα πειραμάτων» υπερέχει συγκριτικά σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες, υπογραμμίζουν τα επιπλέον δυναμικά στοιχεία που ενσωματώνει η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο για τη μάθηση των εννοιών που διδάχθηκαν.

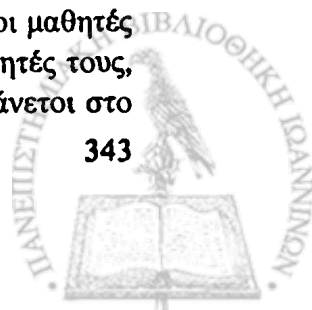
### 12.3 Ο χρονικός περιορισμός δρα σε βάρος της ομαδοσυνεργατικής λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο

Αν υποθέσουμε ότι το όλο ερευνητικό σχέδιο της παρούσας εργασίας επρόκειτο να επαναληφθεί, πέραν από επιμέρους μικρές βελτιώσεις, που εκ των πραγμάτων πάντοτε προκύπτουν ως αποτέλεσμα μιας εμπειρίας, εκείνο που θα ήταν περισσότερο επιθυμητό θα ήταν η διάθεση μεγαλύτερου διδακτικού χρόνου για την εφαρμογή του.

Η μάθηση γενικότερα και ειδικότερα η μάθηση των φυσικών επιστημών είναι μια σύνθετη διαδικασία, που εκτός των άλλων προϋποθέσεων χρειάζεται χρόνο και σπειροειδή επανάληψη των εννοιών (Bruner, 1973, p. 409, 424).

Οι φοιτητές που συνεργάζονται σε ομάδες για την επίλυση προβλήματος με τη βοήθεια πειράματος θα κέρδιζαν περισσότερη μάθηση και επιδεξιότητα στο χειρισμό οργάνων και συσκευών αν, κατά την παρουσίαση του πειράματος που επινόησαν για να απαντήσουν στο πρόβλημα που τους τέθηκε προς τις άλλες ομάδες, τους είχε διατεθεί περισσότερος χρόνος. Οι διευκρινίσεις και ο διάλογος μεταξύ της ομάδας που παρουσιάζει το πείραμα-λύση και των άλλων ομάδων, καθώς και οι βελτιωτικές παρεμβάσεις και οι διευκρινήσεις του διδάσκοντα, θα έδιναν τη δυνατότητα μιας πιο διεισδυτικής διάχυσης της ιδιαίτερης εμπειρίας και γνώσης της ομάδας στις άλλες.

Η εμπειρία της παρουσίασης μιας εργασίας που προκύπτει από τη συνεργασία των μελών μιας ομάδας και του διδάσκοντα σε άλλες ομάδες, που αποτελούν το ακροατήριο, και οι οποίες έχουν την ίδια περίπου ηλικία και παρόμοια γνωστική υποδομή και στόχους, μεγιστοποιεί τα πλεονεκτήματα της συνεργατικής μάθησης όταν οι μαθητές με παρησία πληροφορούν και υπερασπίζονται τις ιδέες τους με τους συμμαθητές τους, κερδίζουν εμπιστοσύνη στις ικανότητές τους και είναι συνήθως περισσότερο άνετοι στο



να συζητούν και να εξηγούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους ενώπιον της τάξης. Η πράξη της παρουσίασης μια εργαστηριακής δουλειάς και γενικότερα μιας εργασίας μπροστά σε κοινό θα πρέπει να είναι ένας από τους στόχους της γενικότερης εκπαίδευσης που θα λαμβάνει ένας μαθητής ή φοιτητής.

Επιπλέον, η παρουσίαση καλλιεργεί τη γλωσσική ικανότητα των φοιτητών και βελτιώνει την ορολογία και το γλωσσικό ύφος που χρησιμοποιείται στις φυσικές επιστήμες. Δημιουργεί δε την πεποίθηση ότι η επιστημονική γνώση και μάθηση οικοδομείται μέσα από διαδικασίες αλληλεπικοινωνίας και συνεργασίας.

Στη δική μας έρευνα η «φάση της κοινωνικοποίησης» του κάθε προβλήματος έγινε σε περιορισμένο χρόνο, προκειμένου να τηρηθούν ίσοι χρόνοι διδασκαλίας και για τις τρεις διδακτικές μεθόδους. Στη περίπτωση της «συμβατικής διδασκαλίας» η διαλογική συζήτηση μεταξύ του διδάσκοντα και της ομάδας και η χρήση σχημάτων στον πίνακα κάλυψε γρήγορα τα θέματα που διδάχθηκαν, άλλωστε αυτό είναι και το κυριότερο πλεονέκτημα του παραπάνω τύπου διδασκαλίας και ο λόγος που είναι ο πιο διαδεδομένος. Καλύπτεται σε μικρό χρόνο πολλή ύλη. Σε έρευνα του Π. Κόκκοτα, σε ένα δείγμα 332 μαθητών από σχολεία όλης της χώρας, βρέθηκε ότι στο 57,5% των μαθητών, το μάθημα των φυσικών επιστημών γίνεται με ερωτήσεις και διαλογική συζήτηση (Κόκκοτας, 1984).

Η ομαδοσυνεργατική λύση προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, λόγω της ενεργού συμμετοχής των μαθητών σ' αυτή. Οι φάσεις που ακολουθούνται από την ομάδα, οι προτάσεις και οι διαδοχικές προσεγγίσεις που γίνονται σε συνεργασία με το διδάσκοντα μέχρι να καταλήξουν σε μια αποδεκτή και πραγματοποιήσιμη πειραματική διάταξη, η έλλειψη πειραματικής εμπειρίας καθώς και η δυσκολία συντονισμού των μελών της ομάδας κάνουν την παραπάνω διδακτική μέθοδο να απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο από μια συμβατική διδακτική μέθοδο. Εδώ ο ρόλος του διδάσκοντα είναι συμβουλευτικός και δεν έχει τον κεντρικό και επιταχυντικό ρόλο που έχει στη διδακτική μέθοδο της διάλεξης ή και της διαλογικής συζήτησης. Η ουσία της μεθόδου αυτής έγκειται στο ότι δίνεται χρόνος στο μαθητή να σκεφτεί, να ελέγξει, να χειριστεί, να συζητήσει και να διατυπώσει ισχυρισμούς, να αρθρώσει υποθέσεις, να ακολουθήσει δοκιμαστικά κάποιες σκέψεις, να τις αναθεωρήσει, όταν καθοδηγούμενος αντιληφθεί ότι υπάρχουν αντιφάσεις σ' αυτές.

Η διδασκαλία λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια επίδειξης πειραμάτων απαιτεί χρόνο που είναι μεν μικρότερος από την περίπτωση της ομαδοσυνεργατικής αλλά μεγαλύτερος από την περίπτωση της συμβατικής. Εκείνο όμως που είναι πέρα αμφισβήτησης είναι ότι όσο περισσότερο χρόνο συμμετέχουν ενεργά οι μαθητές σε μια διαδικασία μάθησης, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάθηση που λαμβάνει χώρα.

Η πεποίθησή μας είναι ότι, αν διατίθετο περισσότερος χρόνος για τη διδασκαλία των ίδιων εννοιών και για τις τρεις διδακτικές μεθόδους, η «ομάδα πειραμάτων» θα κέρδιζε περισσότερο, αφού θα της εδίνετο η δυνατότητα να ολοκληρώσει πληρέστερα την όλη διαδικασία, κάτι που σε μεγαλύτερο βαθμό έγινε από τις άλλες δύο διδακτικές μεθόδους. Η «ομάδα πειραμάτων» είναι πολύ πιθανό ότι θα διεύρυνε περισσότερο τη διαφορά στην επίδοσή της στα θέματα εξέτασης σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες. Τα



θετικά στοιχεία που παρουσιάζει η συνεργατική λύση προβλημάτων στο εργαστήριο θα απέδιδαν σε μεγαλύτερο βαθμό.

#### 12.4 Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο συνδέει το μαθητή με την επιστημονική μέθοδο

Οι φάσεις που ακολουθήθηκαν από τις ομάδες των φοιτητών για τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο (Κεφ. 7, 7.7 έως 7.14 και στο Παράρτημα ΙΙ) οδηγούν τους φοιτητές σε ένα πλαίσιο, όπου καλούνται να συνθέσουν γνώσεις, πειραματικές διαδικασίες και μεθοδολογικές ικανότητες. Στοιχεία της επιστημονικής μεθοδολογίας και ανάκληση γνώσεων, που έχουν διδαχθεί, πρέπει να συνδυαστούν. Στη συμβατική μέθοδο λύσης προβλημάτων, οι μαθητές ακόμη και αν σχεδιάζουν με τη βοήθεια του διδάσκοντα μια πειραματική διάταξη στον πίνακα, που συνδέεται με το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν, αυτό είναι τελείως διαφορετικό από το να επινοούν, να εκτελούν και να παίρνουν μετρήσεις. Άλλωστε όλες οι πειραματικές διατάξεις στον πίνακα δουλεύουν εξίσου καλά... Η λύση προβλημάτων με την επίδειξη πειραμάτων είναι μια ενδιάμεση κατάσταση.

Το «περιεχόμενο» της επιστήμης και οι διαδικασίες της δεν είναι δύο ξεχωριστοί, μη τεμνόμενοι χώροι, αλλά ισχυρά αλληλοεξαρτώμενοι και διαπλεκόμενοι στη μάθηση της επιστήμης. Τα σχολικά βιβλία συνήθως αναφέρονται στα συμπεράσματα της επιστημονικής γνώσης και δίνουν μικρή έμφαση στις διαδικασίες της. «Συνήθως σε δύο-τρεις κρυπτογραφημένες σελίδες τους «πετούν» τους καθιερωμένους ορισμούς της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Οι έννοιες παρουσιάζονται ως αναπόφευκτες και «τόσο παλιές όσο τα βουνά». Παράλληλα, αποδίδουν «σεβασμό» στα ιστορικά γεγονότα, μνημονεύοντας, απλώς το όνομα του Γαλιλαίου και λίγα μη ουσιώδη κλισέ που αφορούν την επινόηση από το Γαλιλαίο της «πειραματικής μεθόδου» και ότι η «σύγχρονη επιστήμη» κατάγεται απ' αυτό» (Arons, 1990, σ. 463). Οι μαθητές, μελετώντας τη μέθοδο, τη διαδικασία, τους περιορισμούς που θέτουν οι πειραματικές διαδικασίες, μπορούν να αντιληφθούν ότι οι επιστημονικές έννοιες είναι δημιουργίες της ελεύθερης δράσης, του ανθρώπινου μόχθου και της ευφυΐας και δεν είναι αντικείμενα που ανακαλύφθηκαν τυχαία.

Η σύνθεση που επιχειρήσαμε να επιτύχουμε με τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο θεωρούμε ότι απαντά σε δύο βασικά συμπεράσματα, που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, για μια αποτελεσματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών, δηλαδή στον τρόπο που αναπτύσσεται η μάθηση του μαθητή και στην αντίληψη που πρέπει να αποκτήσει για τη φύση της επιστήμης. Κατανόηση των φυσικών επιστημών δεν σημαίνει μόνο μάθηση των συμπερασμάτων των επιστημών, επιπλέον πρέπει να σημαίνει κατανόηση του περιεχομένου τους και των επιστημονικών διαδικασιών και πρακτικών τους (Millar & Driver, 1987).

Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο ασκεί τους μαθητές στην παρατήρηση και την επινοητικότητα. Η απάντηση σε ένα ερώτημα που τους τίθεται μέσα από το πείραμα ευνοεί τη διδασκαλία της επιστημονικής μεθόδου.



## 12.5 Προϋποθέσεις για τη λύση προβλημάτων στο εργαστήριο από μαθητές /φοιτητές

Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια σύνθετη διαδικασία και απαιτεί οι μαθητές να έχουν σχηματίσει ένα εννοιολογικό υπόβαθρο σχετικό με τα πειράματα που θα διεξάγουν καθώς και να γνωρίζουν τη χρήση και λειτουργία ενός αριθμού βασικών συσκευών και οργάνων. Ακόμη και στο απλούστερο πρόβλημα οι μαθητές θα πρέπει να συσχετίσουν ένα αριθμό εννοιών. Π.χ., η εύρεση της πυκνότητας ενός στερεού σώματος που δεν έχει γεωμετρικό σχήμα, απαιτεί την κατανόηση ότι ο όγκος του εκτοπιζόμενου υγρού, όταν το στερεό σώμα βυθίζεται στο υγρό που περιέχει ο ογκομετρικός κύλινδρος, είναι ίσος με τον όγκο του στερεού, επιπλέον απαιτείται η έννοια της μάζας και η χρήση ζυγού για τη μέτρησή της και βέβαια την έννοια της πυκνότητας.

Για μαθητές που έρχονται πρώτη φορά σε επαφή με επιστημονικές έννοιες, μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, η συνεργατική λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, μάλλον θα πρέπει να αποφεύγεται. Η ασθενής εννοιολογική υποδομή των μαθητών αυτών, η έλλειψη γνώσης και εμπειρίας σε σχέση με όργανα και συσκευές καθώς και οι υψηλές νοητικές απαιτήσεις, όπως κατανόηση, εφαρμογή και σύνθεση, δείχνουν ότι τα πειράματα επίδειξης καθώς και η εφαρμογή οδηγιών για την εκτέλεση πειραμάτων είναι πιο πρόσφορα μέσα γι'αυτές τις ηλικίες. Η διδασκαλία λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο θα πρέπει να ξεκινάει από τη λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης.

Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο θα πρέπει να τοποθετείται στο τέλος μιας διδακτικής ενότητας και αφού προηγουμένως ο διδάσκων έχει βεβαιωθεί ότι οι μαθητές του κατέχουν σε ένα βαθμό τις σχετικές έννοιες. Διαφορετικά η όλη διαδικασία μπορεί να μη είναι αποδοτική ή να δημιουργήσει μια έλλειψη εμπιστοσύνης προς τη διδακτική μέθοδο τόσο από την πλευρά των μαθητών όσο και από την πλευρά του διδάσκοντα. Η προ-εργαστηριακή προετοιμασία των μαθητών όσο και του διδάσκοντα, πριν προσέλθουν στο εργαστήριο για τη λύση προβλημάτων, είναι αναγκαία.

Τα προβλήματα που τίθενται για λύση στο εργαστήριο θα πρέπει να είναι εννοιολογικώς απλά, ώστε οι μαθητές να συγκεντρώνονται πάνω στη μεθοδολογία, χωρίς να κατακλύζονται από την πολλαπλότητα και τη συνθετότητα των εννοιών. Οι σύνθετες συσκευές υπερφορτώνουν την εργαζόμενη μνήμη των μαθητών και παρεμποδίζουν την ανάπτυξη άλλων επιθυμητών δραστηριοτήτων, όπως η επινόηση για το τι και πως θα μετρηθεί. Επιπλέον, ο περιορισμένος χρόνος που διατίθεται για τη διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων είναι ένας παράγοντας που πάντοτε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Αν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια συσκευή που ο χειρισμός της προαπαιτεί εξάσκηση, σ'αυτή την περίπτωση ο διδάσκων είναι προτιμότερο να εξηγήσει το χειρισμό της στην ομάδα και να τους υποδείξει τρόπους, ώστε οι παρατηρήσεις και μετρήσεις που θα πάρουν να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς.

Όταν στο εργαστήριο χρησιμοποιούνται ουσίες, θα πρέπει ο διδάσκων να είναι ενήμερος των επιπτώσεών τους στην υγεία των μαθητών και να τους ενημερώνει για τα μέτρα προφύλαξης που θα πρέπει να τηρούνται. Οι κανόνες ασφάλειας του εργαστηρίου θα πρέπει να τηρούνται με ευλάβεια.



Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι μαθητές έχουν δυσκολία να παρακολουθήσουν τους δασκάλους, όταν αυτοί μετακινούνται από μακροσκοπικό επίπεδο σε μικροσκοπικό και συμβολικό. Οι διδάσκοντες, από την άλλη πλευρά, πολύ δύσκολα μετακινούνται από μια διδακτική μέθοδο σε μια άλλη. Η λύση προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια χρονοβόρος διαδικασία και έχει μεγάλες απαιτήσεις όχι μόνο από το μαθητή αλλά και από το δάσκαλο. Η δική μου διδακτική εμπειρία ως καθηγητής μέσης εκπαίδευσης και διευθυντής σχολείου καθώς και η διδακτική μου ανησυχία για το τι διαδραματίζεται στις αίθουσες διδασκαλίας μου έχουν δημιουργήσει την πεποίθηση ότι οι εκπαιδευτικοί στην πλειονότητα τους δεν πειραματίζονται με διαφορετικές διδακτικές μεθόδους και επιπλέον αισθάνονται ανασφάλεια όταν τους ζητείται να εφαρμόσουν τις σύγχρονες τεχνολογίες στη διδασκαλία των μαθημάτων τους. Υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη διάδοση των πειραμάτων που βασίζονται στην ανακαλυπτική προσέγγιση και πιο συστηματική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών ώστε να μπορούν να εφαρμόζουν πολλαπλές διδακτικές μεθόδους.

Πολλοί από τους διαθέσιμους εργαστηριακούς οδηγούς είναι σε μεγάλο βαθμό καθοδηγητικοί και δασκαλοκεντρικοί, προσφέροντας μικρή ευκαιρία στους μαθητές / φοιτητές να θέσουν προβλήματα και να σχηματίσουν υποθέσεις ή να σχεδιάσουν πειράματα και να εργαστούν σύμφωνα με το δικό τους σχεδιασμό. Οι μαθητές εφοδιάζονται με λεπτομερείς οδηγίες από το δάσκαλο ή τον εργαστηριακό οδηγό και το μόνο που αυτοί χρειάζονται να κάνουν είναι να ακολουθήσουν τη δοσμένη διαδικασία μηχανικά. Αυτό το είδος εργαστηρίου-συνταγή πρωταρχικά χρησιμοποιείται ως ένα μέσο για την επαλήθευση ή την παρουσίαση αρχών που περιγράφονται στα σχολικά βιβλία. Τέτοιου τύπου εργαστήρια αποτυγχάνουν να παρέχουν εμπειρία και εκπαίδευση στην ανάπτυξη δεξιοτήτων και στην κατανόηση της επιστημονικής διαδικασίας. Επιπλέον έχουν μικρή σχέση με τις απαιτήσεις της πραγματικότητας και αποτυγχάνουν να προωθήσουν στους μαθητές ένα αυθεντικό ενδιαφέρον και κίνητρο για εργαστηριακή εργασία.

Ο δάσκαλος, που θα διδάξει λύση προβλημάτων στο εργαστήριο, πρέπει να είναι ενήμερος μιας ποικιλίας πειραμάτων που αναφέρονται σε μια γνωστική ενότητα. Η μετάβαση από πειράματα επίδειξης και πειράματα επαλήθευσης σε πειραματικές διατάξεις, που προτείνει η ομάδα των μαθητών και ο δάσκαλος θα πρέπει να τονίζει τα θετικά τους στοιχεία και να υποδεικνύει τα αρνητικά τους, η ομάδα θα επανέρχεται με βελτιωμένες προτάσεις, μέχρι να καταλήξουν σε μια πειραματική διάταξη αποδεκτή δεν είναι εύκολη υπόθεση. Η παρουσία δύο τουλάχιστον δασκάλων στο χώρο του εργαστηρίου κατά τη λύση προβλημάτων με πειράματα είναι απαραίτητη. Ο ένας θα πρέπει να έχει επιφορτιστεί κυρίως τη διαλογική συζήτηση με τις ομάδες και ο άλλος την τεχνική υποστήριξη τους. Γενικά ο διδάσκων θα πρέπει να είναι ανοιχτός σε ιδέες και προτάσεις και να μη βιάζεται να οδηγήσει την ομάδα στη «σωστή λύση». Θα πρέπει να γνωρίζει καλά το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκει και να έχει από πριν μελετήσει μια ποικιλία δυνατών πειραματικών προσεγγίσεων.

Οι διδάσκοντες φυσικές επιστήμες θα πρέπει κατ'αρχήν να πειστούν για τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η λύση προβλημάτων στο πλαίσιο της συνεργατικής



μάθησης για τη μόρφωση και μάθηση των μαθητών τους. Επιπλέον πρέπει να έχουν επιχειρήματα για να υπερασπιστούν αυτή τη διδακτική πρακτική έναντι των παγιωμένων. Η κυριαρχία των πειραμάτων επαλήθευσης και η λύση προβλημάτων με «χαρτί και μολύβι» στα σχολεία, φαίνεται να στηρίζεται, πράγματι, σε μεγάλο βαθμό στα «ωφέλη» των δασκάλων παρά των μαθητών. Η λύση προβλημάτων στον πίνακα ή με τη βοήθεια πειραμάτων επίδειξης δεν δημιουργεί ιδιαίτερες δυσκολίες στους διδάσκοντες, η προετοιμασία είναι εύκολη, επικρατεί τάξη στην αίθουσα διδασκαλίας και η αξιολόγηση της, όταν την επαναλαμβάνουν οι μαθητές, είναι επίσης εύκολη.

Η δημιουργία μιας κοινής τράπεζας προτεινόμενων προβλημάτων, ανά γνωστική ενότητα, που σ' αυτή θα έχουν πρόσβαση οι διδάσκοντες, θα λειτουργήσει υποστηρικτικά στο εγχείρημα εισαγωγής και εφαρμογής της λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο. Στο περιεχόμενο αυτής της τράπεζας θα υπάρχουν ιδέες και εναλλακτικές προτάσεις για συσκευές που θα χαρακτηρίζονται από απλότητα και πρωτοτυπία. Επίσης παρατηρήσεις για συσκευές και όργανα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν καθώς και υποδείξεις για κρίσιμα σημεία που θα πρέπει να προσεχθούν. Η έμφαση να δίνεται σε όσο το δυνατόν απλούστερες συσκευές και μέσα που να είναι όσο το δυνατό πιο οικεία στους μαθητές για να μην τους αποσπούν την προσοχή από το κύριο στόχο του πειράματος. Μια τέτοια τράπεζα θα λειτουργούσε ενθαρρυντικά στο να μετακινηθούν οι διδάσκοντες προς την υιοθέτηση του παραπάνω τύπου εργαστηριακής μάθησης.

Επίσης ένας αριθμός προβλημάτων για λύση στο εργαστήριο μπορεί να διατυπώνεται στο τέλος κάθε κεφαλαίου στα σχολικά βιβλία ή στους εργαστηριακούς οδηγούς. Ένας αριθμός τέτοιων προβλημάτων με υποδείξεις για το διδάσκοντα θα τον βοηθήσει να μετακινηθεί από τα πειράματα επίδειξης και επαλήθευσης. Καθώς οι διδάσκοντες θα κερδίζουν σε εμπειρία και οικειότητα με την λύση προβλημάτων στο εργαστήριο και η διαθεσιμότητά τους θα αυξάνεται, θα αισθάνονται μεγαλύτερη διάθεση να διαλέξουν μια τέτοια εργαστηριακή προσέγγιση. Η επιμόρφωση και ο εφοδιασμός των εκπαιδευτικών με σχετικό υλικό θα δημιουργήσει μια οικειότητα με τον τύπο αυτό λύσης προβλημάτων. Στο βαθμό που οι διδάσκοντες θα κερδίζουν σε εμπειρία θα κατανοούν τα παιδαγωγικά και μαθησιακά πλεονεκτήματα που αυτός ο τύπος διδασκαλίας προβλημάτων εμπεριέχει.

## **12.6 Η στάση των φοιτητών που πήραν μέρος στη λύση προβλημάτων με πειράματα. Τελικά συμπεράσματα**

Αρχικά υπήρξε ένας σκεπτικισμός από την πλευρά του γράφοντα κατά πόσο η συνεργατική διδασκαλία λύσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων θα μπορούσε να ολοκληρωθεί και να αποδώσει κάποιες αποδεκτές λύσεις στα τεθέντα προβλήματα. Η ενθάρρυνση και η υποστήριξη του επιβλέποντα καθηγητή βοήθησε σε μια καλή προετοιμασία, που περιελάμβανε τη μελέτη και τη δοκιμαστική εφαρμογή ενός αριθμού σχετικών πειραμάτων (βλέπε, δοκιμαστική εφαρμογή διδασκαλίας λύσης προβλημάτων στο εργαστήριο, Κεφ. 7, 7.5) εναλλακτικές πειραματικές προτάσεις καθώς και συλλογή ενός αριθμού οργάνων και συσκευών, που είναι απλές και εύκολες στη χρήση τους. Η





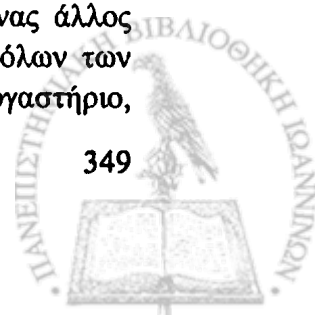
παραπάνω προετοιμασία μου δημιούργησε μια αυτοπεποίθηση ότι μια τέτοια διδακτική μέθοδος μπορεί να «προχωρήσει».

Στην αρχή κατά τη «φάση της μεταβίβασης» των προβλημάτων από το διδάσκοντα στις ομάδες επικράτησε μια αμηχανία, αφού μια τέτοια κατάσταση ήταν πρωτόγνωρη σ'αυτές. Οι πρωτοετείς φοιτητές του δείγματός μας ήταν μαθημένοι σε υποδείξεις και στη σιγουριά της στενής καθοδήγησης από τους δασκάλους τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Η «φάση οικειοποίησης» του προβλήματος όπου ο διδάσκων με την ομάδα έθεσαν το εννοιολογικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσονταν το τεθέν πρόβλημα έδωσε μια κατεύθυνση και ενίσχυσε την ομάδα, ώστε αυτή να αρχίσει να αναλαμβάνει την ευθύνη για τη λύση του προβλήματος. Η μορφή των προβλημάτων και η «ψηλάφηση» των συσκευών από την ομάδα στην προσπάθειά της να σκιαγραφήσει μια πειραματική διάταξη, λειτούργησε «ερεθιστικά», ώστε η ομάδα να «μπει στο παιχνίδι της λύσης». Τα προβλήματα που επιλέξαμε δεν απαιτούσαν οι φοιτητές να δομήσουν καινούριες έννοιες. Ζητούσαν όμως να εφαρμόσουν έννοιες των αερίων σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, να διαχωρίσουν μια πληροφορία στα επιμέρους στοιχεία της και στη συνέχεια να τα συνθέσουν. Αυτές οι δεξιότητες βρίσκονται ψηλά στη κλίμακα της γνωστικής περιοχής (cognitive domain).

Οι προτάσεις της ομάδας για τη διαμόρφωση μιας πειραματικής διαδικασίας που να είναι πραγματοποιήσιμη και να δίνει μια απάντηση στο πρόβλημα δείχνει ότι η ομάδα έχει ενεργά εμπλακεί με το πρόβλημα. Στη φάση αυτή από τη μια μεριά φαίνεται καθαρά ποιες έννοιες που σχετίζονται με το πρόβλημα δεν έχουν κατανοηθεί, και επιπλέον η εστίαση της προσοχής των φοιτητών γίνεται σ' έναν αριθμό εννοιών και γεγονότων που σχετίζονται με το πρόβλημα. Η αδυναμία μιας γενικής θεώρησης του προβλήματος είναι χαρακτηριστικό των αρχικών σκέψεών τους. Επίσης οι εναλλακτικές ιδέες που κατέχουν οι φοιτητές προβάλλονται με ιδιαίτερη καθαρότητα, αφού αυτές τους φέρνουν άμεσα αντιμέτωπους με την πειραματική πραγματικότητα. Από την άλλη πλευρά η έλλειψη εμπειρίας στο να χειρίζονται συσκευές και όργανα καθώς και η έλλειψη γνώσης της λειτουργικότητάς τους δείχνουν τη μικρή μέχρι και την ανύπαρκτη σχέση των φοιτητών με το εργαστήριο. Π.χ. οι απόφοιτοι δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δυσκολεύονται να αντιστρέψουν έναν κύλινδρο γεμάτο με νερό μέσα σε μια λεκάνη με νερό χωρίς να τους φύγει μια ποσότητα νερού από τον κύλινδρο. Οι Laugier & Dumon (2003) σε ανάλογη έρευνα στη Γαλλία καταγράφουν ανάλογες περιπτώσεις, όταν ζητήθηκε από μαθητές λυκείου να μεταφέρουν ένα αέριο από ένα κλειστό δοχείο σε ένα άλλο.

Η επινόηση-πρόταση της ομάδας μετά από τις διαδοχικές διορθωτικές παρεμβάσεις του διδάσκοντα έχει αναγκάσει την ομάδα να επιστρατεύσει και να συνδυάσει ένα αρκετά μεγάλο αριθμό εννοιών. Η συζήτηση στο εσωτερικό της ομάδας, πριν αυτή προτείνει μια πειραματική λύση προς τη σωστή ή μη κατεύθυνση, χρειάζεται να καταγραφεί και να αναλυθεί. Ένας τρόπος θα ήταν οι συζητήσεις αυτές να μαγνητοφωνηθούν και στη συνέχεια να μεταγραφούν και να αναλυθούν. Ένας άλλος τρόπος θα ήταν ένα μέλος της ομάδας να επιφορτιστεί με την καταγραφή όλων των συζητήσεων. Κάτι τέτοιο θα φώτιζε τη φύση της συνεργατικής μάθησης στο εργαστήριο,



θα έδειχνε πως γίνεται η αλληλεπικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας, σε ποιο βαθμό κάποιο ή κάποια μέλη παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο και επηρεάζουν τις προτάσεις της ομάδας. Γενικά θα αποκτούσαμε μια εικόνα πως γίνεται ο καταμερισμός εργασίας μέσα στην ομάδα και ποιες οι μορφές των αντιδράσεων σε σχέση με τις παρεμβάσεις του διδάσκοντα. Μια τέτοια καταγραφή στην παρούσα εργασία δεν έγινε, λόγω οικονομίας χρόνου. Πάντως η παρακολούθηση και η καταγραφή όλων των δρώμενων σε μια τέτοια μέθοδο διδασκαλίας λύσης προβλημάτων θα απαιτούσε μια ερευνητική ομάδα που το κάθε μέλος της θα εστίαζε τη μελέτη του σε έναν επιμέρους παράγοντα.

Στο παράρτημα II έχουν καταγραφεί μόνο οι διάλογοι του διδάσκοντα με μέλη των ομάδων. Οι διάλογοι που προηγήθηκαν στο εσωτερικό των ομάδων, πριν αυτές παρουσιάσουν μια πρόταση, δεν καταγράφηκαν κάτι το οποίο ήταν ιδιαίτερα δύσκολο, επειδή και οι έξι ομάδες εργάζονταν ταυτόχρονα.

Αν η ομάδα αφεθεί μόνη της χωρίς τη βοήθεια του διδάσκοντα, απ'ότι διαπίστωσα είναι μάλλον απίθανο να καταλήξει σε μια αποδεκτή λύση. Καθώς τα εργαστήρια είναι αρκετά δαπανηρά, σε χρόνο και χρήμα, δεσμεύουν χώρους, αναλώσιμα και προσωπικό, αν αυτά δεν χρησιμοποιηθούν για τη δυναμική των δυνατοτήτων τους και ο χρόνος ξοδεύεται αντιπαραγωγικά, αυτό είναι μια συνολική απώλεια πόρων (Garratt, 1997). Από την άλλη ο διδάσκων σε κάθε μαθησιακή διαδικασία πρέπει να παίζει το ρόλο του.

Ο διάλογος του διδάσκοντα με την ομάδα στη διαμόρφωση μιας πειραματικής διάταξης παίζει καθοριστικό ρόλο. Τις προτάσεις του μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δύο κυρίως κατηγορίες στις δηλωτικές (declarative) και στις διαδικαστικές (procedural). Στις πρώτες επισημαίνονται λανθασμένες απόψεις της ομάδας και επιπλέον οι φοιτητές ωθούνται να θυμηθούν γνώσεις και γεγονότα που έχουν διδαχθεί. Οι δεύτερες αναφέρονται στο πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, να εφαρμόσουμε, να μετασχηματίσουμε και να αναγνωρίσουμε τη σημασία των δηλωτικών προτάσεων σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Ο ρόλος των παραπάνω προτάσεων που ανταλλάσσονται μεταξύ του διδάσκοντα και της ομάδας στο να δομηθεί ένα σχέδιο αποδεκτής πειραματικής διάταξης για τη λύση του προβλήματος έχει ήδη αναγνωριστεί από έναν αριθμό ερευνητών (Duggan & Gott, 1995, Millar, 1996).

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ομάδες λειτούργησαν στη διάθρωση μια πειραματικής διάταξης μέσα από μια σειρά δοκιμών και λάθους. Οι σχηματικές αναπαραστάσεις των προτεινόμενων πειραματικών διατάξεων (ένας αριθμός απ'αυτές έχουν μεταφερθεί με scanner στο παράρτημα II) ήταν ευπρόσδεκτες, γιατί αποτέλεσαν μια βάση με πολλά στοιχεία πάνω στην οποία μπορούσε να γίνει συζήτηση, η διάταξη να μετασχηματιστεί και να βελτιωθεί προς μια κατεύθυνση που να μπορεί να δώσει μια λύση.

Η εκτέλεση του πειράματος και οι λαμβανόμενες μετρήσεις είναι το πιο καίριο σημείο της όλης μεθόδου. Η επινοηθείσα πειραματική διάταξη δίνει μια απάντηση ή δεν δίνει. Αν κάτι δεν πάει καλά η πειραματική διάταξη δεν αφήνει περιθώρια συγκάλυψης. Λανθασμένες αντιλήψεις ή εν μέρει κατανόηση εννοιών που πρέπει να ληφθούν υπόψη ακυρώνουν την εκπόνηση μιας πειραματικής λύσης του προβλήματος. Η ομάδα δεν



φτάνει σε ποσοτικά συμπεράσματα και το πείραμα δεν λειτουργεί, αν δεν υπάρξει ποιοτική κατανόηση των σχετικών εννοιών. Σε αντίθεση με τη λύση προβλημάτων με «χαρτί και μολύβι» οι αλγοριθμικοί τρόποι λύσης προβλημάτων σε πολλές περιπτώσεις δίνουν λύσεις χωρίς να έχει καλυφθεί ένα ικανοποιητικό εννοιολογικό επίπεδο (Sherwood, Gabel, & Enochs, 1984, Nakhleh & Mitchell, 1993).

Με την αποδοχή της πειραματικής διάταξης και την καταγραφή των μετρήσεων η ομάδα συνειδητοποιεί ότι μπορεί να τα καταφέρει και ένας αριθμός φοιτητών αισθάνεται ένα είδος αυτοεκτίμησης, ενώ κάποιοι φοιτητές δήλωναν ότι «ήταν απλό αλλά στην αρχή δεν πιστεύαμε ότι θα τα καταφέρουμε».

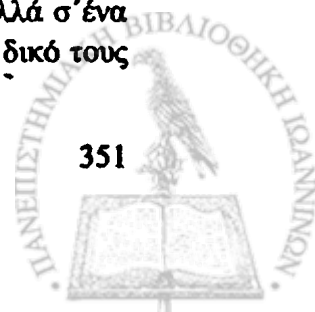
Η αξιολόγηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μέσα από τη συνεργασία διδάσκοντα και ομάδας ενισχύουν και επανατροφοδοτούν την όλη διαδικασία να εξελιχθεί και να βελτιωθεί και επιπλέον επιβεβαιώνουν τη σύνδεση της πειραματικής τεχνικής και της επιστημονικής μεθόδου με τη θεωρία και τις έννοιες.

Η άποψη μας είναι ότι η ακρίβεια των μετρήσεων και η μαθηματική επεξεργασία τους, αν και είναι επιθυμητές, δεν πρέπει στην περίπτωση μαθητών και φοιτητών που δεν σπουδάζουν θετικές επιστήμες να αποτελούν κύριο στόχο. Η επινόηση μιας πειραματικής διάταξης, η εκτέλεση του πειράματος και η λήψη ενός αριθμού μετρήσεων που μπορούν να δώσουν σε ένα βαθμό αποδεκτά αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν ότι εκπληρώνουν τους στόχους μιας τέτοιας διδασκαλίας. Η βελτίωση και η εξέλιξη των πειραματικών διατάξεων καθώς και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να αναζητηθούν στο τέλος μιας μακρόχρονης πορείας από ανάλογες διαδικασίες.

Η όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε στη λύση προβλημάτων με πειράματα αφήνει πολλά περιθώρια στην κάθε ομάδα να αισθανθεί ότι συμμετέχει σε μια δημιουργική εργασία και ότι η όλη διαδικασία κατευθύνεται σε ένα βαθμό από τους ίδιους. Δεν αναπαράγουν μια δοσμένη διαδικασία, όπως γίνεται στη λύση προβλημάτων με «χαρτί και μολύβι» ή με τα πειράματα επαλήθευσης. Αυτή η συμμετοχικότητα δημιουργεί ένα θετικό κλίμα, παρά τη φασαρία στο εργαστήριο, αμβλύνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των μαθητών, προσωποποιεί την εμπειρία και είναι πολύ πιθανόν να συμβάλλει στη δημιουργία κινήτρων για μάθηση σε κάποιες ιδιαίτερες ομάδες μαθητών, όπως είναι οι «περίεργου» και οι «κοινωνικού» (βλέπε, Κίνητρα και μάθηση, Κεφ. 2, 2.23).

Για την υπέρβαση των δυσκολιών που συνδέονται με την παραπάνω μέθοδο λύσης προβλημάτων απαιτείται να αφήνονται σημαντικές πρωτοβουλίες στην κάθε ομάδα και διαστήματα συζήτησης μεταξύ των μελών της καθώς και μεταξύ της ομάδας και του διδάσκοντα. Ο διδάσκων να παρακολουθεί στενά και να καθοδηγεί την ομάδα χωρίς να βιάζεται να την οδηγήσει στη «σωστή λύση».

Από τα παραπάνω μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι οι πρωτοετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε. και ο διδάσκων μπορούν να υπερβούν τους αρχικούς τους δισταγμούς και να «επενδύσουν» σε δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων. Η θετική στάση των φοιτητών έδειξε ότι όχι μόνο μπορούν να ανταποκριθούν, αλλά σ' ένα βαθμό χαίρονται το αποτέλεσμα στο οποίο καταλήγουν, το οποίο θεωρούν και δικό τους επίτευγμα.



Το διδακτικό κλίμα που δημιουργείται από τη συλλογική αναζήτηση της ομάδας και τη σχετική αυτονομία της, στην περίπτωση λύσης προβλημάτων με πειράματα, δημιουργεί ένα πιο αποδοτικό διδακτικό περιβάλλον σε σχέση μ'αυτό της συμβατικής διδασκαλίας ή της επίδειξης πειραμάτων για τη λύση προβλημάτων. Οι μαθητές / φοιτητές εμπλέκονται ενεργά στη λύση του προβλήματος στην πρώτη διδακτική μέθοδο, ενώ στις άλλες είναι σε μεγάλο βαθμό «καταναλωτές» των όσων βλέπουν και ακούν.

Τελειώνοντας επισημαίνουμε ότι:

- Οι μαθητές / φοιτητές στη λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων συναντούν δυσκολίες όχι μόνο λόγω έλλειψης εργαστηριακής εμπειρίας και δεξιοτήτων στο χειρισμό οργάνων και συσκευών, αλλά και από τη μη κατοχή «επιστημονικών γνώσεων» που υποτίθεται ότι απέκτησαν.

- Η λύση προβλημάτων με τη βοήθεια πειραμάτων μπορεί να αναπτύξει ισχυρές συνδέσεις μεταξύ θεωρίας που διδάσκεται στην αίθουσα διδασκαλίας και πειράματος καθώς και της επιστημονικής μεθόδου. Έτσι οι τρεις αυτοί χώροι αλληλοκαλύπτονται με αποτέλεσμα οι έννοιες να γίνονται πιο κατανοητές και η έννοια της επιστήμης ως συλλογικής κοινωνικής δραστηριότητας να γίνεται πιο κατανοητή.

- Το έργο του δασκάλου και των μαθητών είναι πολύ δυσκολότερο στην ομαδοσυνεργατική διδασκαλία απ' ό,τι είναι στη δασκαλοκεντρική, διότι ο δάσκαλος καλείται να δημιουργήσει τον προβληματισμό, που θα κινητοποιήσει τη διερευνητική διαδικασία των μαθητών, να βοηθήσει την ομάδα στην οργάνωση των νοητικών τακτικών που θα ακολουθήσει και τη διαδικασία που θα εφαρμόσει. Οι μαθητές από την άλλη πλευρά καλούνται να αναπτύξουν δραστηριότητες που προϋποθέτουν ανώτερες νοητικές λειτουργίες, ανεπτυγμένες μεθοδολογικές στρατηγικές και απαιτητικές κοινωνικές δεξιότητες. Οι δυσκολίες αυτές, μαζί με την έλλειψη υλικοτεχνικής υποδομής στα σχολεία, και οι αργοί ρυθμοί διεξαγωγής των ομαδοκεντρικών διδακτικών στρατηγικών, είναι βασικές αιτίες που αποθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς να τις εφαρμόσουν.

- Η διδασκαλία προβλημάτων στο εργαστήριο είναι μια ελλείπουσα συνιστώσα στη εκπαίδευση. Είναι χρονοβόρα και απαιτεί καλά προετοιμασμένους εκπαιδευτικούς καθώς και εργαστήρια που να είναι εξοπλισμένα με κοινές συσκευές και ουσίες.

- Οι άλλες μορφές διδασκαλίας, όπως η συμβατική και η επίδειξη πειραμάτων, έχουν την αξία τους και παίζουν ρόλο στη διδακτική διαδικασία και μάθηση. Όμως η ποικιλία των διδακτικών μεθόδων καλύπτει κατά τη διδασκαλία ενός γνωστικού αντικειμένου τις ανάγκες των διαφορετικών στυλ μάθησης των μαθητών και εξασφαλίζει κίνητρα για μάθηση. Οι διδάσκοντες όσο θα εμπλέκονται σε μια ανακαλυπτική εργαστηριακή προσέγγιση θα αντιλαμβάνονται ότι το εργαστήριο μπορεί να είναι ένα πλουσιότερο μαθησιακό περιβάλλον για τους μαθητές, όπου θα μαθαίνουν όχι μόνο τις έννοιες της επιστήμης αλλά και τις διαδικασίες που εφαρμόζει και επινοεί.



- Αν σκοπός της εκπαίδευσης είναι να πλάσει ικανούς μαθητές και σκεπτόμενους πολίτες, τότε θα πρέπει να τους βοηθήσει να διευρύνουν το φάσμα των στυλ μάθησής τους. Σε κάθε περίπτωση στηρίζοντας τους μαθητές να κατανοήσουν τις δικές τους διαδικασίες μάθησης τους βοηθάμε να μαθαίνουν καλύτερα και να γίνουν περισσότερο ανεξάρτητοι μαθητές. Αυτό συμπεριλαμβάνει ενθάρρυνση των μαθητών να επεκτείνουν τα μαθησιακά τους στυλ. Είναι πολύ καλύτερο να τους παρέχουμε μια ποικιλία διδακτικών στυλ σε διαφορετικά διδακτικά περιβάλλοντα, ώστε μια ποικιλία τύπων μάθησης να μπορεί να αναπτύσσεται.

Βεβαίως, μια γενίκευση των συμπερασμάτων από την παρούσα έρευνα θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα μιας συνεχιζόμενης έρευνας που να συμπεριλάβει περισσότερες διδακτικές ενότητες και μεγαλύτερο χρόνο εφαρμογής της σε έναν αριθμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων μαθητών της λυκειακής βαθμίδας όσο και φοιτητών.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

### ΣΧΕΔΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ Ο ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ «Α»

- • Με κανονικά γράμματα είναι οι εισηγήσεις-παρουσιάσεις του διδάσκοντα
- Με κανονικά έντονα γράμματα είναι οι ερωτήσεις του διδάσκοντα προς τους φοιτητές.
- Με πλάγια γράμματα είναι οι διατυπώσεις των παρατηρήσεων, των ορισμών, των απαντήσεων-ερμηνειών και οι λύσεις προβλημάτων στις όποιες κατέληγε ο διδάσκων με τους φοιτητές μετά από διαλεκτική-διαλογική συζήτηση.



## ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

### Εξαέρωση ακετόνης με θέρμανση

#### ΠΕΙΡΑΜΑ 1

Βγάζουμε το πλαστικό πώμα από πλαστική φιάλη αναψυκτικού ή εμφιαλωμένου νερού 750 ml και τοποθετούμε τη φιάλη στο δάπεδο και την πατούμε, ώστε να παραμορφωθεί και να πάρει περίπου επίπεδο σχήμα. Στη συνέχεια στην πλαστική φιάλη ρίχνουμε μικρή ποσότητα ακετόνης, περίπου 5 ml και κλείνουμε το στόμιό της ελαφρά με πώμα από φελλό. Βάζουμε τη φιάλη με την ακετόνη σε λεκάνη που περιέχει θερμό νερό, περίπου 60 °C.

Η ακετόνη ( $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ ) είναι άχρωμο πτητικό υγρό (σ. ζ. 56 °C) με ευχάριστη οσμή. Διαλύεται στο νερό, στον αιθέρα και στην αλκοόλη με κάθε αναλογία. Είναι άριστος διαλύτης πολλών οργανικών ουσιών. Διαλύει λίπη, βερνίκια, ρητίνες, νιτρογλυκερίνη κ.ά.

#### ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

#### Ορισμοί-Έννοιες - Ερμηνείες

**Πώς ονομάζεται το φαινόμενο μετατροπής υγρού σε αέριο;**

*Η φιάλη φουσκώνει και παίρνει το σχήμα που είχε πριν την παραμορφώσουμε και το πώμα με το οποίο την είχαμε κλείσει εκτοξεύτηκε. Επιπλέον δεν παρατηρείται πλέον ακετόνη σε υγρή μορφή. Η ακετόνη εξαερώθηκε, μετατράπηκε σε ατμούς, οι οποίοι άσκησαν πίεση στα τοιχώματα της φιάλης*

**Ποιος ο ρόλος της θερμότητας στη μετατροπή της υγρής ακετόνης σε αέρια; Τα μόρια της υγρής ή της αερίας ακετόνης έχουν μεγαλύτερη ενέργεια; Η θερμότητα που προσέλαβε η υγρή ακετόνη από το θερμό νερό σε τι μορφές ενέργειας μετατράπηκε;**

*Τα μόρια της υγρής ακετόνης πήραν ενέργεια από το θερμό νερό, αυξήθηκε η μέση κινητική τους ενέργεια και σε μικρό χρονικό διάστημα εγκατέλειψαν την υγρή φάση. Οι ατμοί της ακετόνης έχουν μεγαλύτερη ενέργεια διότι επανέφεραν την πλαστική φιάλη στο αρχικό της σχήμα και στο τέλος εκτίναξαν το πώμα. Από τη θερμότητα που προσφέρθηκε στην υγρή ακετόνη ένα μέρος της δαπανήθηκε για τη μετατροπή του υγρού σε αέριο (μεταβολή κατάστασης) και η υπόλοιπη έγινε κινητική ενέργεια στους ατμούς.*

**Τα υγρά όταν θερμανθούν μετατρέπονται σε αέρια**



Ποια η προέλευση των δυνάμεων που έδρασαν στα τοιχώματα του μπουκαλιού; Πώς τα μόρια με τόσο μικρό μέγεθος (τάξη μεγέθους  $10^{-6}$  cm) και μάζα (τάξη μεγέθους  $10^{-23}$  g) «καταφέρνουν» να ασκούν τόσο μεγάλες σχετικά πιέσεις;

Οι ατμοί της ακετόνης και γενικά τα μόρια των αερίων έχουν μεγάλες ταχύτητες (π.χ. η μέση ταχύτητα των μορίων του αέρα σε συνθήκες δωματίου είναι 500 m/s ή 1800 Km/h), και συγκρουόμενοι με τα τοιχώματα της φιάλης ασκούν δυνάμεις. Αν και τα μόρια έχουν πολύ μικρή μάζα και μέγεθος, ο αριθμός τους είναι πάρα πολύ μεγάλος (σε 1mol ακετόνης, που ζυγίζει 58 g, περιέχονται  $6,023 \cdot 10^{23}$  μόρια) και αυτό που βλέπουμε μακροσκοπικά είναι το αποτέλεσμα της κρούσης ενός τεράστιου αριθμού μορίων με τα τοιχώματα της φιάλης. Η δύναμη που ασκούν τα μόρια αερίου ανά μονάδα επιφάνειας ισούται με την πίεση που ασκεί το αέριο.

Τα αέρια ασκούν πίεση στα τοιχώματα των δοχείων που περιέχονται

### Μικροσκοπικό επίπεδο

Τι διαφορές και ομοιότητες παρουσιάζουν τα μόρια της υγρής και αέριας ακετόνης;

- Στην υγρή κατάσταση τα μόρια είναι πολύ κοντά το ένα σ'άλλο, είναι σ'επαφή. Στην αέρια ακετόνη τα μόρια βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Στις συνθήκες συνθήκες  $P, T$ , ο συνολικός όγκος των μορίων αερίου είναι μικρότερος από το 1% του όγκου που καταλαμβάνει το αέριο.
- Οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων στην υγρή ακετόνη θα πρέπει να είναι πολύ ισχυρότερες απ'αυτές που ασκούνται μεταξύ των μορίων στην αέρια ακετόνη. Τα μόρια στην αέρια ακετόνη κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.
- Τα μόρια στην υγρή ακετόνη κινούνται με ταχύτητες που είναι πάρα πολύ μικρότερες απ'αυτές στην αέρια.
- Τα μόρια της αέριας ακετόνης καταλαμβάνουν όλο τον όγκο που τους προσφέρεται, περιορίζονται μόνο από τον όγκο του δοχείου. Η υγρή ακετόνη έχει ορισμένο όγκο (π.χ. 5ml) και παίρνει το σχήμα του δοχείου που περιέχεται.
- Τα μόρια της υγρής και αέριας ακετόνης έχουν το ίδιο σχήμα, μέγεθος και μάζα.

Αν υποθέσουμε ότι διαθέταμε ένα φανταστικό μεγεθυντικό φακό, που θα μας επέτρεπε να βλέπαμε τα μόρια, μπορείτε να σχεδιάσετε δύο εικόνες των μορίων ακετόνης, μια στην υγρή και μια στην αέρια κατάσταση; (θεωρήσετε το κάθε μόριο ακετόνης σαν μια πολύ μικρή σφαίρα).



Τα μόρια της ακετόνης σε υγρή κατάσταση



Τα μόρια της ακετόνης σε αέρια κατάσταση



Είναι δυνατό να γίνει εξαέρωση υγρού σε συνήθη θερμοκρασία, χωρίς θέρμανση, αλλά με ελάττωση της υπερκείμενης πίεσης του αέρα πάνω απ' αυτό;

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΣΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

#### Εξάχνωση ιωδίου – Ο ρόλος της θερμότητας

#### Πείραμα 2

Σε σφαιρική φιάλη τοποθετούμε με τη βοήθεια σπάτουλας μικρή ποσότητα ιωδίου (περίπου 10 g) και καλύπτομε το στόμιο της φιάλης ελαφρά με πλαστικό πόμα. Τοποθετούμε τη φιάλη σε θερμαινόμενη ηλεκτρική πλάκα.

Το ιώδιο είναι μαύρο και μαλακό στερεό με μεταλλική λάμψη (σ.τ.  $113,6^{\circ}\text{C}$  και σ.ζ.  $184,2^{\circ}\text{C}$ ).

#### ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

#### Ορισμοί- Έννοιες- Ερμηνείες

**Πως ονομάζεται το φαινόμενο μετατροπής ενός στερεού σε αέριο;**

*Η φιάλη γέμισε με ιώδεις ατμούς, ατμούς ιωδίου. Το φαινόμενο της μετατροπής ενός στερεού απ' ευθείας σε ατμούς, όπως το ιώδιο, χωρίς ενδιάμεσα να περάσει από την υγρή φάση, ονομάζεται εξάχνωση. Το ίδιο φαινόμενο συμβαίνει με την ναφθαλίνη και άλλες στερεές ουσίες που υπάρχουν στο εμπόριο για να προφυλάσσουν τα ρούχα από το σκόρο.*

**Το ιώδιο, όπως διαπιστώσατε, είναι ένα μαλακό στερεό σώμα. Μπορείτε να δώσετε κάποια εξήγηση γιατί με μικρή προσφορά θερμότητας μετατράπηκε σε ατμούς; Ποιος ήταν ο ρόλος της θερμότητας;**

*Η ενέργεια που προσφέρεται στο ιώδιο με μορφή θερμότητας προσλαμβάνεται από τα μόρια του ιωδίου. Τα μόρια αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και εγκαταλείπουν το μοριακό πλέγμα μεταβαίνοντας άμεσα στην αέρια κατάσταση. Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του στερεού ιωδίου πολύ κοντά δεν πρέπει να είναι ισχυρές, αφού με μικρή προσφορά θερμότητας τα μόρια απομακρύνονται από τις αρχικές τους θέσεις και φτάνουν σε κάθε σημείο της φιάλης.*



Σε αντίθεση με το ιώδιο, άλλα στερεά για να μετατραπούν σε ατμούς, πρέπει να τους προσφέρουμε μεγάλα ποσά θερμότητας (π.χ. ο καθαρός σίδηρος πρέπει πρώτα να θερμανθεί στους  $1535^{\circ}\text{C}$  για να μετατραπεί σε υγρό και στη συνέχεια σε θερμοκρασία  $3000^{\circ}\text{C}$  για να μετατραπεί σε ατμούς).

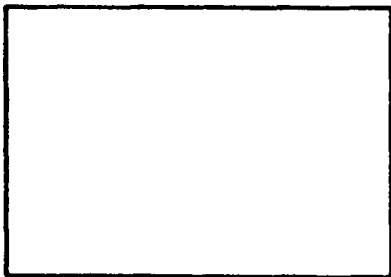
**Τα στερεά όταν θερμανθούν μετατρέπονται σε αέρια**

**Μικροσκοπικό επίπεδο**

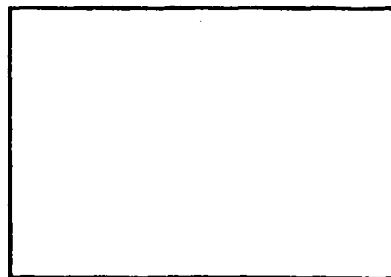
Τι ομοιότητες και διαφορές παρουσιάζουν τα μόρια του ιωδίου στη στερεά και στην αέρια κατάσταση;

- Τα μόρια του ιωδίου στην στερεά κατάσταση είναι πολύ κοντά και θα πρέπει να έλκονται με δυνάμεις (διαμοριακές δυνάμεις) που είναι πολύ ισχυρότερες σε σχέση με τις δυνάμεις μεταξύ των μορίων του ιωδίου στην αέρια κατάσταση.
- Μια ποσότητα στερεού ιωδίου καταλαμβάνει ορισμένο όγκο και έχει ορισμένο σχήμα. Τα μόρια των ατμών του ιωδίου καταλαμβάνουν όλο τον προσφερόμενο χώρο, περιορίζονται μόνο από τον όγκο της φιάλης.
- Τα μόρια του ιωδίου στην στερεά και αέρια κατάσταση έχουν το ίδιο σχήμα, μέγεθος και την ίδια μάζα.

Αν υποθέσουμε ότι διαθέταμε ένα φανταστικό μεγεθυντικό φακό, που θα μας επέτρεπε να βλέπαμε τα μόρια, μπορείτε να σχεδιάσετε δύο εικόνες των μορίων, ιωδίου, μια στη στερεά και μια στην αέρια κατάσταση; (θεωρήσετε το κάθε μόριο ιωδίου σαν μια πολύ μικρή σφαίρα).



Τα μόρια ιωδίου σε στερεά κατάσταση



Τα μόρια ιωδίου και σε αέρια κατάσταση

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΕΚΤΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΟΝΤΑΙ

### Εξαέρωση αιθέρα σε συνθήκες δωματίου – μια ενδόθερμη διαδικασία

#### Πείραμα 3

Ανοίγουμε ένα φιαλίδιο με υγρό αιθέρα πάνω στον πάγκο του αμφιθεάτρου.

#### ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

#### Ερωτήματα – Έννοιες – Ερμηνείες

Να εξηγήσετε τι ακριβώς γίνεται και η οσμή του αιθέρα γίνεται αντιληπτή από όλους που βρίσκονται στην αίθουσα;

*Ο αιθέρας είναι πτητικό υγρό και στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος εξαερώνεται. Μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Τα μόρια εγκαταλείπουν το υγρό και κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις, ανάμεσα στα μόρια του αέρα, τείνοντας να καταλάβουν όλο το χώρο της αίθουσας, είναι εκτατά. Γι' αυτό η χαρακτηριστική οσμή του αιθέρα γίνεται αντιληπτή απ' όλους στην αίθουσα.*

Από τη στιγμή που ανοίξαμε το φιαλίδιο μέχρι που η οσμή του αιθέρα έγινε αντιληπτή και σε απομακρυσμένους από τον πάγκο φοιτητές μεσολάβησε ένα χρονικό διάστημα. Πώς εξηγείται αυτή την καθυστέρηση;

*Τα μόρια των αερίων κινούνται με σχετικά μεγάλες ταχύτητες (π.χ. τα μόρια του αέρα σε θερμοκρασία δωματίου έχουν μια μέση ταχύτητα περίπου 500 m/s, του διοξειδίου του άνθρακα 400 m/s και του ηλίου 1360 m/s). Τα μόρια του αιθέρα διαχέονται ανάμεσα στα μόρια του αέρα και συγκρούονται με αυτά καθώς και μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να μη κινούνται ευθύγραμμα, διαγράφουν μια τεθλασμένη τροχιά. Έτσι για να μετατοπιστεί ένα μόριο αιθέρα σε μια απόσταση χρειάζεται ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα.*

*Η μέση ταχύτητα ενός μορίου αερίου (για την ακρίβεια πρόκειται για την  $U_{r.m.s}$  – τετραγωνική ρίζα της μέσης των τετραγώνων των ταχυτήτων) αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και ελαττώνεται με την αύξηση της γραμμομοριακής του μάζας. Σε πίεση γύρω στην 1 Atm και σε θερμοκρασία δωματίου, γύρω στους 20 °C, ένα μόριο οξυγόνου κάνει  $6 \cdot 10^9$  συγκρούσεις / sec και η μέση απόσταση που διανύει μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων είναι  $70 \cdot 10^{-6}$  mm.*



Τα αέρια και οι ατμοί διαχέονται στον αέρα και σε άλλα αέρια και καταλαμβάνουν όλο τον διατιθέμενο χώρο, είναι εκτατά.

Εκτός από τον αιθέρα και άλλα υγρά έχουν την ιδιότητα να μετατρέπονται σε αέρια, σε συνθήκες περιβάλλοντος. Μπορείτε να αναφέρεται μερικά;

Η βενζίνη, το οινόπνευμα, το καθαρό ασετόν (ακετόνη) κ.ά. υγρά. Τα υγρά αυτά ονομάζονται πτητικά.

Έχετε παρατηρήσει ότι αν στη χούφτα μας βάλουμε μικρή ποσότητα οиноπνεύματος μετά από λίγο εξαερώνεται και η χούφτα μας ψύχεται. Μπορείτε να εξηγήσετε τη διαδικασία της ψύξης;

Το χέρι μας έχει θερμοκρασία υψηλότερη από το οινόπνευμα. Θερμότητα από το χέρι μας μεταφέρεται στο οινόπνευμα. Τα μόρια του οινόπνευματος προσλαμβάνουν τη θερμότητα και αυξάνεται η μέση κινητική τους ενέργεια. Τα πιο «ζωηρά» μόρια στην επιφάνεια του υγρού, υπερνικούν τις ελκτικές δυνάμεις από τα γειτονικά μόρια που τα περιβάλλουν, εγκαταλείπουν την υγρή φάση και διαχέονται στα μόρια του υπερκείμενου αέρα. Έτσι τα μόρια μεταβαίνουν από την υγρή στην αέρια κατάσταση (εξαερώνονται). Όταν όλη η ποσότητα του οινόπνευματος εξαερωθεί, επειδή έχει μεταφερθεί θερμότητα από τη χούφτα μας στο οινόπνευμα, η θερμοκρασία στη χούφτα μας ελαττώνεται και για αυτό έχουμε την αίσθηση της ψύξης. Μεταβολές όπως η παραπάνω που για να γίνουν χρειάζεται η ουσία να προσλάβει θερμότητα από το περιβάλλον ονομάζονται ενδόθερμες.

### Μικροσκοπικό επίπεδο

Ας υποθέσουμε ότι μπορούσαμε να βλέπαμε ένα μόριο αιθέρα από τη στιγμή που φεύγει από το φιαλίδιο μέχρι που φτάνει στη μύτη ενός συμφοιτητή σας, κινούμενο ανάμεσα στα μόρια του αέρα. Μπορείτε να σχεδιάσετε την τροχιά του;



Η στάθμη του αιθέρα στο φιαλίδιο παρέμεινε σχεδόν η ίδια, από τη στιγμή που το ανοίξαμε μέχρι που η οσμή της έγινε αντιληπτή απ' όλους. Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί να δεχτούμε ότι:

Μια ελάχιστη ποσότητα ουσίας αποτελείται από ένα τεράστιο αριθμό μορίων

### Πρόβλημα

Η βανιλίνη είναι μια χημική ουσία με πολύ έντονη οσμή και μπορεί να ανιχνευτεί από την ανθρώπινη μύτη ακόμη και σε συγκέντρωσή της στον αέρα  $2 \cdot 10^{-11}$  g/L. Αν η σχετική μοριακή μάζα της βανιλίνης είναι 146, πόσα μόρια απαιτούνται ανά λίτρο αέρα για να ανιχνεύσει η μύτη μας την οσμή της βανιλίνης;

1 mol βανιλίνης ζυγίζει 146 g και αποτελείται από  $6,023 \cdot 10^{23}$  μόρια

$$2 \cdot 10^{-11} \text{ g} \quad X;$$

$$X = 82500 \cdot 10^6 \text{ μόρια}$$

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΑ ΚΑΙ ΕΛΑΣΤΙΚΑ

Ο όγκος του αέρα μπορεί να περιορίζεται αλλά και να επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα

### Πείραμα 4

Σύρομε το έμβολο μιας σύριγγας (60 mL) προς τα έξω και βυθίζουμε το άκρο της σε δοχείο με νερό. Πιέζουμε ελαφρά το έμβολο προς τα μέσα. Από πού προέρχονται οι φυσαλίδες που βγαίνουν από το στόμιο της σύριγγας;

Στη συνέχεια έχοντας το ανοιχτό άκρο της σύριγγας στον αέρα, σύρομε το έμβολο της προς τα έξω και κλείνουμε τώρα με το δάχτυλό μας το στόμιο της σύριγγας. Ωθούμε το έμβολο προς τα μέσα καταβάλλοντας συνεχώς μεγαλύτερη δύναμη.

Όταν το έμβολο είναι αρκετά χαμηλά προς το στόμιο της σύριγγας, αφήνουμε απότομα ελεύθερο το έμβολο.



## ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

## ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

## Ερωτήματα – Έννοιες – Ερμηνείες

Καθώς κινούμε το έμβολο προς τα μέσα το αέριο περιορίζεται σε μικρότερο χώρο.

**Πως ονομάζουμε την ιδιότητα αυτή;**

*Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται συμπίεστικότητα και εκτός από τα αέρια την παρουσιάζουν σε μικρότερο βαθμό και άλλα σώματα, όπως το βαμβάκι, το σφουγγάρι, ο φελλός κ.ά. Τα υγρά και τα στερεά είναι πρακτικώς ασυμπίεστα.*

Όταν το αέριο στη σύριγγα είχε συμπιεστεί και αφήσαμε ελεύθερο το έμβολο αυτό κινήθηκε προς τα έξω και επανήλθε περίπου στην αρχική του θέση. Το αέριο καταλαμβάνει τον αρχικό του όγκο. **Πώς ονομάζεται η ιδιότητα αυτή του αερίου; Από πού προέρχεται η απωστική δύναμη στο έμβολο;**

*Την ιδιότητα αυτή την ονομάζουμε ελαστικότητα και την παρουσιάζουν σε μικρότερο βαθμό, εκτός από τα αέρια και άλλα σώματα, όπως το λάστιχο, το ελατήριο, η γομολάστιχα κ.ά. Η ελαστικότητα έχει την έννοια ότι τα σώματα επανέρχονται στο αρχικό τους σχήμα, όταν παύσει η αιτία που τα συμπιέζει.*

*Πρέπει να δεχτούμε ότι όταν ο όγκος αερίου περιορίζεται, τότε τα μόρια του πλησιάζουν μεταξύ τους, οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων γίνονται μικρές και μεταξύ των μορίων ασκούνται απωστικές δυνάμεις.*

Εκτός από τα αέρια την ιδιότητα της συμπίεστικότητας και της ελαστικότητας την παρουσιάζουν και άλλα σώματα, όπως το βαμβάκι, το σφουγγάρι, ο φελλός κ.ά. **Τι κοινό έχουν τα σώματα αυτά με τα αέρια;**

Το κοινό των αερίων με τα σώματα αυτά είναι ότι τα μεν μόρια των αερίων βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις και το μεγαλύτερο μέρος του χώρου που καταλαμβάνουν δεν περιέχει ύλη, τα δε άλλα σώματα δεν είναι συμπαγή, παρουσιάζουν χώρους (οπές) που περιέχουν αέρα, κατά κάποιο τρόπο έχουν «κενούς χώρους».

## Μικροσκοπικό επίπεδο

**Γιατί στην αρχή το έμβολο κινείται εύκολα προς τα μέσα και στη συνέχεια συναντάμε δυσκολία; Από πού προέρχεται η δύναμη που εμποδίζει το έμβολο να κινηθεί προς τα μέσα; Τι ακριβώς συμβαίνει με τα μόρια του αέρα;**

*Τα αέρια, όπως όλα τα υλικά σώματα, αποτελούνται από μόρια. Οι αποστάσεις των μορίων στα αέρια (για πιέσεις μικρές, μερικές ατμόσφαιρες) είναι μεγάλες σε σχέση με τη διάμετρο τους. Κάθε μόριο κινείται σχεδόν ανεξάρτητα από τα άλλα. Έτσι στο μεγαλύτερο μέρος του χώρου που καταλαμβάνει ένα αέριο δεν υπάρχουν μόρια, είναι κενό ύλης.*



Καθώς κινούμε το έμβολο της σύριγγας προς τα μέσα, η μέση απόσταση μεταξύ των μορίων ελαττώνεται και, επειδή συναντάμε δυσκολία για να συμπιέσουμε ακόμη περισσότερο το αέριο, πρέπει να δεχτούμε ότι μεταξύ των μορίων ασκούνται απωστικές δυνάμεις. Όσο δε περισσότερο τα μόρια πλησιάζουν μεταξύ τους, τόσο οι απωστικές δυνάμεις γίνονται πιο έντονες. Η απώθηση του εμβόλου προέρχεται από τις απωστικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων.

Μεταξύ των μορίων των πραγματικών αερίων ασκούνται ασθενείς ελκτικές δυνάμεις και όταν η μεταξύ τους απόσταση γίνει μικρή εμφανίζονται απωστικές δυνάμεις.

Όταν η μέση απόσταση μεταξύ των μη πολικών μορίων (π.χ. μόριο ηλίου) είναι της τάξεως  $10^{-7}$  cm ή τεσσάρων διαμέτρων, μεταξύ των μορίων δεν ασκούνται δυνάμεις (ιδανικό αέριο). Για αποστάσεις μέχρι περίπου  $3,5 \cdot 10^{-8}$  cm μεταξύ των απλών μορίων ασκούνται ελκτικές δυνάμεις (Η ελκτική δύναμη μεταξύ μορίων ηλίου που τα κέντρα τους βρίσκονται σε απόσταση  $4 \cdot 10^{-8}$  cm, είναι περίπου  $6 \cdot 10^{-3}$  N. Παρά την πολύ μικρή τιμή της δύναμης, επειδή η μάζα ενός τέτοιου μορίου είναι περίπου  $10^{-26}$  Kg, το μόριο αποκτά επιτάχυνση  $10^{17}$  cm/s<sup>2</sup>). Όταν η απόσταση μεταξύ των μορίων γίνει μικρότερη από  $3,5 \cdot 10^{-8}$  cm (μεγάλη τιμή πυκνότητας), εμφανίζονται απωστικές δυνάμεις που η τιμή τους αυξάνεται πολύ γρήγορα καθώς η απόσταση μικραίνει.

#### Ιστορικό σημείωμα

Ο Boyle (1627-1691), ένας από τους επιστήμονες που συνέβαλε στην κατανόηση των αερίων, φαντάστηκε πως κάθε σωματίδιο αέρα είναι ένα μικρό ελατήριο που μπορεί να συμπιεστεί από κάποια εξωτερική δύναμη. Ο Boyle το 1600 γράφει: «...η έννοια για την οποία μιλώ είναι εκείνη που υπάρχει στο ελατήριο ή στην ελαστική δύναμη στον αέρα που εμείς ζούμε... αυτή η έννοια πιθανώς μπορεί να μοιάζει με ένα γδαρμένο μαλλί, το οποίο αποτελείται από λεπτές και ελαστικές τρίχες, κάθε μια από τις οποίες μπορεί, πράγματι, να μοιάζει με ένα μικρό ελατήριο, το οποίο μπορεί εύκολα να καμφθεί ή να λυγίσει, αλλά επίσης όπως ένα ελατήριο μπορεί ακόμα να προσπαθήσει να απλώσει τον εαυτό του πάλι ξανά...». (Toulmin & Goodfield, 1962, p. 282).

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



## ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΔΙΑΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΕΛΛΟΝΤΑΙ

### Θέρμανση / ψύξη αέρα σε φιάλη που συνδέεται με μανόμετρο νερού

#### Πείραμα 5

Το πλευρικό ακροφύσιο στεγνής κωνικής φιάλης (100ml) το συνδέουμε με τη βοήθεια λεπτού σωλήνα, με μανόμετρο σχήματος U, που περιέχει μικρή ποσότητα χρωματισμένου νερού. Το άλλο άκρο του μανομέτρου είναι ανοικτό. Κλείνουμε τη φιάλη στεγανά με πώμα. Επειδή καθώς πέζουμε το πώμα η πίεση του αέρα στη φιάλη αυξάνεται, το υγρό στο σωλήνα μετατοπίζεται. Με τη βοήθεια μιας δεύτερης οπής στο πώμα, που μπορούμε να την κλείνουμε και να την ανοίγουμε, ρυθμίζουμε ώστε το υγρό στο σωλήνα να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο στα δύο σκέλη. Βυθίζουμε τη φιάλη σε θερμό νερό. Στη συνέχεια την αφήνουμε για λίγο στον πάγκο και τέλος τη βυθίζουμε σε κρύο νερό.

#### ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

#### ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

#### Ερωτήματα – Έννοιες - Ερμηνείες

Να περιγράψετε την κίνηση του υγρού στα δύο σκέλη του σωλήνα στις δύο περιπτώσεις.

*Όταν βυθίσαμε τη φιάλη στο θερμό νερό, παρατηρούμε μετά από λίγο ότι το υγρό στο σωλήνα σχήματος U μετακινείται προς το ανοικτό σκέλος του σωλήνα. Όταν βγάλαμε τη φιάλη από το θερμό νερό και την αφήσαμε στον πάγκο, το νερό επανέρχεται στην αρχική του θέση στα δύο σκέλη του σωλήνα. Και τέλος, όταν βυθίσαμε τη φιάλη σε ψυχρό νερό, μετά από λίγο παρατηρήσαμε ότι το υγρό κινείται προς το άλλο σκέλος του σωλήνα, εκείνο που συνδέεται με τη φιάλη.*

Προσφέροντας θερμότητα στον αέρα της φιάλης το νερό στο σωλήνα του μανομέτρου μετακινήθηκε. Ποια είναι η αιτία που κίνησε το νερό στη φιάλη;

*Τα μόρια του αέρα στη φιάλη και στο σωλήνα που συνδέει τη φιάλη με το μανόμετρο βρίσκονται σε διαρκή και άτακτη κίνηση, έχουν κινητική ενέργεια. Επίσης τα μόρια καθώς κινούνται συγκρούονται με τα τοιχώματα της φιάλης και μεταξύ τους. Όταν η φιάλη τοποθετήθηκε στο θερμό νερό, θερμότητα που είναι μορφή ενέργειας, μεταφέρθηκε από το θερμό νερό στα μόρια του αέρα της φιάλης. Η μέση κινητική ενέργεια των μορίων αυξήθηκε και οι κρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα του δοχείου και με την επιφάνεια του νερού στο σωλήνα του μανομέτρου έγιναν συχνότερες και εντονότερες. Η μέση*





απόσταση των μορίων του αερίου γίνεται τώρα μεγαλύτερη. Το αέριο τείνει να καταλάβει μεγαλύτερο χώρο, διαστέλλεται.

Όταν η φιάλη βυθιστεί σε ψυχρό νερό, το αέριο αποδίδει θερμότητα στο ψυχρό νερό. Τα μόρια του αερίου κινούνται τώρα με μικρότερη μέση ταχύτητα και οι κρούσεις με τα τοιχώματα της φιάλης και την επιφάνεια του νερού στο σωλήνα έχουν μικρότερη συχνότητα. Η μέση απόσταση των μορίων του αέρα στη φιάλη γίνεται μικρότερη, τα μόρια βρίσκονται τώρα πλησιέστερα το ένα στο άλλο. Το αέριο τείνει τώρα να καταλάβει μικρότερο όγκο, συστέλλεται.

Τα αέρια όπως όλα τα υλικά σώματα, όταν προσλαμβάνουν θερμότητα διαστέλλονται, ενώ όταν αποδίδουν ενέργεια συστέλλονται

Το φαινόμενο της διαστολής και της συστολής συμβαίνει σε όλα τα σώματα, στερεά, υγρά και αέρια, αλλά σε διαφορετικό βαθμό. Να αναφέρετε σχετικές περιπτώσεις.

Εξ όλων των σωμάτων τα στερεά διαστέλλονται ολιγότερο (π.χ. μια ορειχάλκινη ράβδος μήκους 1 m και διατομής 1 cm<sup>2</sup>, όταν η θερμοκρασία της ανυψωθεί κατά 10°C, διαστέλλεται μόνο κατά 1mm). Τα υγρά παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαστολή από τα στερεά (π.χ. μια στήλη οινοπνεύματος ύψους 1m, εμβαδού διατομής 1cm<sup>2</sup>, αν θερμανθεί στους 60°C, διαστέλλεται κατά 5cm). Τα αέρια τέλος διαστέλλονται περισσότερο απ' όλα τα σώματα (π.χ., αν αέριο στους 0°C έχει όγκο V και η θερμοκρασία του αυξηθεί κατά 10°C, ο όγκος του αυξάνεται 1,036 φορές του αρχικού, εφ' όσον η πίεση παραμείνει σταθερή).

### Μικροσκοπικό επίπεδο

Γιατί τα αέρια παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαστολή σε σχέση με τα στερεά και τα υγρά;

Μεταξύ των μορίων των αερίων ασκούνται ασθενείς ελκτικές δυνάμεις, έτσι οι μεταξύ τους αποστάσεις είναι σχετικά μεγάλες συγκρινόμενες με τις διαστάσεις τους. Έτσι μια μικρή προσφορά θερμότητας σε ένα αέριο αυξάνει αρκετά τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων.

Σε αντίθεση με τα αέρια, στα στερεά στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι δυνάμεις μεταξύ των «δομικών τους λίθων» [ιόντα (ιοντικός κρύσταλλος - χλωριούχου νατρίου), μόρια (μοριακός κρύσταλλος - διοξείδιο του άνθρακα), άτομα (ομοιοπολικός κρύσταλλος - διαμάντι, ανθρακοπορτίτιο), ιόντα και ηλεκτρόνια (μεταλλικός κρύσταλλος - σίδηρος)] είναι ισχυρά ελκτικές. Αυτές ακριβώς οι δυνάμεις είναι υπεύθυνες για το ότι τα στερεά έχουν καθορισμένο σχήμα και σταθερό όγκο και τα περισσότερα εξ' αυτών έχουν υψηλά σημεία τήξης.

Τα υγρά έχουν συμπεριφορά που είναι ενδιάμεση των αερίων και των στερεών. Η κίνηση των μορίων των υγρών βρίσκεται μεταξύ του μοριακού χάους των αερίων και της μοριακής τάξης που χαρακτηρίζει τα στερεά. Στα υγρά τα μόρια κινούνται συνεχώς προς όλες τις



κατευθύνσεις, όπως και στα αέρια, όμως πολύ βραδύτερα. Οι διαμοριακές δυνάμεις στα υγρά είναι τόσο ισχυρές ώστε να εξασφαλίζουν τον σταθερό τους όγκο (όπως τα στερεά), δεν είναι όμως τόσο ισχυρές για να συγκρατούν τα μόρια σε σταθερές θέσεις ώστε να εξασφαλίζουν σταθερό σχήμα (όπως συμβαίνει με τα στερεά).

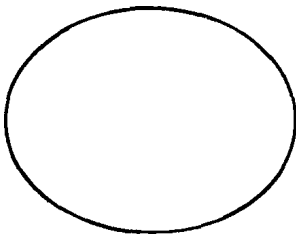
Διαστολή ενός σώματος σημαίνει αύξηση της μέσης απόστασης των δομικών του λίθων. Για προσφορά ενός ορισμένου ποσού ενέργειας η διαστολή ενός σώματος είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η ελκτική δύναμη μεταξύ των δομικών του λίθων.

Αν υποθέσουμε ότι μπορούσατε να βλέπατε τα μόρια του αέρα στη φιάλη, όταν αυτή είναι στο θερμό και όταν είναι στο κρύο νερό, τι διαφορές θα παρατηρούσατε;

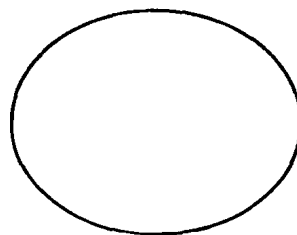
Όταν η φιάλη είναι βυθισμένη σε θερμό νερό:

- Τα μόρια του αέρα έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες.
- Τα μόρια κάνουν περισσότερες κρούσεις στην μονάδα του χρόνου με τα τοιχώματα του δοχείου και με κάθε άλλο σώμα που έρχονται σε επαφή.
- Τα μόρια ασκούν μεγαλύτερη πίεση στα σώματα με τα οποία έρχονται σε επαφή.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων γίνονται μεγαλύτερες, και το αέριο τείνει να καταλάβει μεγαλύτερο όγκο.

Σχεδιάστε τα μόρια του αέρα στη φιάλη, όταν είναι σε θερμό και όταν είναι σε κρύο νερό (κάθε μόριο να το αναπαραστήσετε με ένα μικρό κύκλο).



Τα μόρια του αέρα, όταν η φιάλη είναι στο ψυχρό νερό



Τα μόρια του αέρα, όταν η φιάλη είναι στο θερμό νερό

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## ΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

**Γιατί δεν χύνεται το νερό σε ένα ανεστραμμένο ποτήρι που καλύπτεται με χαρτόνι**

### Πείραμα 6

Ρίχνουμε νερό σε ένα ποτήρι μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  περίπου του ύψους του, φροντίζοντας να μην έχει εγκλωβιστεί αέρας στο νερό, να μην εμφανίζονται φυσαλίδες. Κρατάμε το ποτήρι πάνω από μια πλαστική λεκάνη και τοποθετούμε στο χείλος του μια κάρτα ή ένα κομμάτι χαρτόνι. Πιέζουμε ελαφρά το χαρτόνι, ώστε να είναι σε επαφή με το χείλος του ποτηριού, και φροντίζουμε το χαρτόνι να είναι επίπεδο. Εξακολουθούμε να πιέζουμε το χαρτόνι και αναστρέφουμε το ποτήρι. Στη συνέχεια αποσύρουμε το χέρι μας και μετά από λίγο στρέφουμε το ποτήρι κατά  $90^\circ$  μοίρες, ώστε η επιφάνεια του χαρτονιού να γίνει κάθετη στο δάπεδο.

ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ / ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ

### Ερωτήματα – Έννοιες- Ερμηνείες

**Γιατί το νερό δεν χύνεται; Ποια δύναμη ισορροπεί το βάρος του νερού στο ποτήρι;**

*Στο χαρτόνι ασκείται η πίεση από το νερό και από τον αέρα που έχει εγκλωβιστεί μεταξύ του πυθμένα του ποτηριού και του νερού. Αν μόνο αυτές οι δύο πιέσεις ασκούσαν στο χαρτόνι, τότε από την προς τα κάτω δράση των πιεστικών δυνάμεων θα έπεφτε. Θα πρέπει να δεχτούμε και μια άλλη δύναμη που ασκείται από τον εξωτερικό αέρα στο χαρτόνι και αυτή να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον να αντισταθμίζει τις δύο παραπάνω πιεστικές δυνάμεις. Η δύναμη αυτή προέρχεται από την πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας και είναι η ατμοσφαιρική πίεση.*

**Όταν στρέψαμε προσεχτικά το ποτήρι, ώστε το επίπεδο του να γίνει κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο, γιατί και πάλι το νερό δεν χύνεται;**

*Πρέπει να δεχτούμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις. Η επιφάνεια του χαρτονιού δέχεται την ίδια πιεστική δύναμη από τον ατμοσφαιρικό αέρα ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό της.*

**Ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί σε όλα τα σώματα με τα οποία βρίσκεται σε επαφή πίεση - ατμοσφαιρική πίεση**

**Τα παρακάτω φαινόμενα μαρτυρούν την παρουσία της ατμοσφαιρικής πίεσης. Μπορείτε να τα εξηγήσετε;**



**Α) Ο άνεμος, που είναι αέρας σε κίνηση, πώς προκαλείται;**

Όταν δύο περιοχές της ατμόσφαιρας έχουν διαφορετικές τιμές πίεσης, ο αέρας, και γενικά τα ρευστά κινούνται από περιοχή υψηλής πίεσης προς περιοχή χαμηλής.

**Β) Το «άγκιστρο βεντούζα» που στηρίζεται σε λεία επιφάνεια.**

Γ) Όταν ρουφήξουμε νερό με καλαμάκι και κλείσουμε με το δάκτυλο μας το πάνω του άκρο, το νερό στο καλαμάκι δεν χύνεται.

**Δ) Πως πίνουμε νερό ή γενικά ένα υγρό με ένα καλαμάκι;**

### Πρόβλημα

Να υπολογίσετε τη δύναμη που ασκείται στο χαρτόνι, που εφάπτεται στο χείλος του ποτηριού, από το νερό και τον αέρα που έχει εγκλωβιστεί σ' αυτό. Η διάμετρος του ποτηριού είναι 6 cm. (Δίνεται ότι η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι  $10^5 \text{ N/m}^2$ )

Η πίεση ορίζεται ως η δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας:  $P=F/S$  (1).

Το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζει το χείλος του ποτηριού είναι η επιφάνεια κύκλου και δίνεται από τη σχέση  $S=\pi (D/2)^2 = 3,14 \cdot 9 \text{ cm}^2 = 28,26 \text{ cm}^2 = 0,002826 \text{ m}^2$ . Η πίεση που ασκεί το νερό και ο περιεχόμενος αέρας στο ποτήρι είναι ίση τουλάχιστον με την εξωτερική ατμοσφαιρική. Από τη σχέση (1) προκύπτει:  $P=F/S$  ή  $F=P \cdot S = 10^5 \cdot 0,002826 \text{ N} = 282,6 \text{ N}$ .

### Υδροστατική πίεση

Υδροστατική πίεση, ονομάζουμε την πίεση που ασκεί ένα υγρό σε ηρεμία στα τοιχώματα και στο πυθμένα του δοχείου που περιέχεται. Εξαρτάται μόνο από την πυκνότητα και το βάθος του υγρού. Η υδροστατική πίεση δεν εξαρτάται από τον όγκο του υγρού στο δοχείο και κάθε σώμα που βυθίζεται στο υγρό σε ένα ορισμένο βάθος δέχεται την ίδια πίεση, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του.

Η υδροστατική πίεση υπολογίζεται από τη σχέση,  $P = \rho \cdot g \cdot h$ , όπου  $\rho$  η πυκνότητα του υγρού,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $h$  η απόσταση ενός σημείου του υγρού από την ελεύθερη επιφάνεια του.

### Πρόβλημα

Μια λίμνη έχει βάθος 10m. Να βρεθεί η πίεση του νερού στον πυθμένα της και σε ένα σημείο που απέχει από την επιφάνεια της 2 m. Η πυκνότητα του νερού είναι  $1000 \text{ Kg/m}^3$  και η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ .

Η πίεση που ασκεί υγρό σε ένα σημείο που απέχει απόσταση  $h$  από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού δίνεται από τη σχέση:  $P = \rho \cdot g \cdot h$ , για  $\rho=1000 \text{ Kg/m}^3$ ,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  και  $h=10 \text{ m}$  προκύπτει,  $P=1000 \cdot 9,81 \cdot 10 \text{ N/m}^2 = 98100 \text{ N/m}^2$ .

Σε βάθος 2m, η υδροστατική πίεση θα είναι πέντε φορές μικρότερη σε σχέση μ' αυτή που ασκείται στον πυθμένα της, δηλ.  $19620 \text{ N/m}^2$ .

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**



## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΡΙΩΝ ΑΕΡΙΟΥ

### Πείραμα 7

Για την παρουσίαση μιας αναπαράστασης της κίνησης των μορίων αερίου χρησιμοποιούμε τη συσκευή «Kinetic theory model-vibrating ball type» της Industrial Equipment & Control PTY. LTD.

Οι προηγηθείσες επιδείξεις πειραμάτων και οι σχετικές συζητήσεις με τους φοιτητές για την ερμηνεία των φαινομένων, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στόχευαν στη δημιουργία νοητικών εικόνων. Η επίδειξη της μοριακής κίνησης, με τη βοήθεια της παραπάνω συσκευής, επιχειρεί να ανακεφαλαιώσει και να δημιουργήσει μια πιο ξεκάθαρη αναπαράσταση της σωματιδιακής δομής των αερίων.

#### Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας της συσκευής

Ένας αριθμός από μικρές μεταλλικές σφαίρες, περίπου 60, εισάγεται σε κατακόρυφο ανοιχτό διαφανή κύλινδρο. Τα σφαιρίδια επικάθονται στην επιφάνεια πλαστικού δίσκου, που βρίσκεται στην κάτω επιφάνεια του κυλίνδρου. Καλύπτουμε την πάνω επιφάνεια του κυλίνδρου με πλαστικό καπάκι. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας, στη βάση του κυλίνδρου, κινεί παλινδρομικά και γρήγορα το δίσκο, αναγκάζοντάς τον να εκτελεί ταλαντώσεις μικρού πλάτους και να αναταράζει βίαια τα σφαιρίδια προς τα πάνω μέσα στο κύλινδρο (βλέπε φωτογραφία).

Τροφοδοτούμε τον κινητήρα με συνεχή τάση 12V και με τη βοήθεια του προσαρμοσμένου στη συσκευή ροοστάτη αυξομειώνουμε την ένταση του ρεύματος στον κινητήρα. Αυτή με τη σειρά της αυξομειώνει τη συχνότητα ταλάντωσης του δίσκου στη βάση του κυλίνδρου. Η αύξηση της έντασης του ρεύματος στον κινητήρα αντιστοιχεί με την προσφορά θερμότητας σ' ένα αέριο. Για μια τιμή έντασης του ρεύματος τα σφαιρίδια αναπηδούν πάνω-κάτω, μ' ένα τυχαίο τρόπο, συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του κυλίνδρου, με ένα τρόπο που είναι όμοιος με την κίνηση των μορίων αερίου, όταν αυτό περιορίζεται μέσα σε δοχείο.

#### Παρατηρήσεις – Ερωτήματα- Ερμηνείες

Στην αρχή, όταν βρίσκονται τα σφαιρίδια ακίνητα στη βάση του δίσκου, η μακροσκοπική εικόνα που παρουσιάζουν με ποια κατάσταση της ύλης μπορείτε να την προσομοιάσετε;

Τα σφαιρίδια προσαρμόζονται στο σχήμα του κυλίνδρου, εφάπτονται μεταξύ τους και αφήνουν μικρούς κενούς χώρους. Μακροσκοπικά τα σφαιρίδια φαίνονται να καταλαμβάνουν ένα ορισμένο μέρος του χώρου στη βάση του κυλίνδρου, έχουν συγκεκριμένο όγκο, όπως τα υγρά και τα στερεά. Αν γείρομε λίγο τον κύλινδρο τα σφαιρίδια



κινούνται το ένα πάνω στο άλλο και «χύνονται». Οι ιδιότητες αυτές προσομοιάζονται με τη σωματιδιακή δομή στην υγρή κατάσταση.

Αν θέσουμε το δίσκο στη βάση του κυλίνδρου σε παλινδρομική κίνηση και με τη βοήθεια του ροοστάτη ρυθμίσουμε τη συχνότητα ταλάντωσής του, η κίνηση των σφαιριδίων με τι προσομοιάζεται; Ποια μεταβολή φυσικής κατάστασης σας θυμίζει η αρχική και η τελική εικόνα των σφαιριδίων;

Τα σφαιρίδια τώρα κινούνται με τυχαίο τρόπο, καταλαμβάνουν όλο τον όγκο του κυλίνδρου και συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Η κίνηση των σφαιριδίων και οι μεταξύ τους αποστάσεις μας παραπέμπουν στην μετατροπή ενός υγρού σε αέριο, με τη διαδικασία του βρασμού.

Αν αυξήσουμε την ένταση του ρεύματος στον κινητήρα με τη βοήθεια του ροοστάτη, πως αναμένετε να είναι η εικόνα των σφαιριδίων στον κύλινδρο; Πότε μια τέτοια μεταβολή συμβαίνει στα πραγματικά μόρια ενός αερίου;

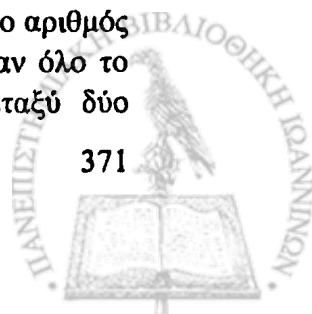
Η αύξηση της συχνότητας δόνησης του δίσκου κινεί πιο βίαια τα σφαιρίδια. Επιπλέον αυτά ανεβαίνουν σε μεγαλύτερο ύψος στο κύλινδρο (καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο). Στα μόρια ενός αερίου κάτι ανάλογο συμβαίνει, όταν στο αέριο προσφέρουμε θερμότητα. Τότε τα μόρια κινούνται πιο έντονα και τείνουν να καταλάβουν μεγαλύτερο χώρο.

Για να παρατηρήσουμε καλύτερα την κίνηση ενός σφαιριδίου μέσα στον κύλινδρο με τις μεταλλικές σφαίρες, θα τοποθετήσουμε και ένα ελαφρύ σφαιρίδιο από αφρώδες στυρόλιο (φελιζόλ), χρώματος μπλε, διαμέτρου περίπου 10mm και θα θέσουμε το δίσκο σε ταλάντωση μικρού πλάτους. Παρατηρήστε την κίνηση της μπλε σφαίρας και προσπαθήστε να σχεδιάσετε στον πίνακα περίπου τις διαδοχικές θέσεις. Τι σου θυμίζει η κίνηση της;

Παρατηρούμε ότι το σφαιρίδιο από φελιζόλ κάνει μια ακανόνιστη κίνηση, καθώς συγκρούεται με τα άλλα σφαιρίδια και με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Οι διαδοχικές θέσεις του σφαιριδίου, αν τις ενώσουμε θα μας δώσουν μια τεθλασμένη γραμμή. Η κίνηση του φελιζόλ θυμίζει την κίνηση μορίου αιθέρα ανάμεσα στα μόρια του αέρα (πείραμα 3).

**Τα μόρια ενός αερίου εκτελούν τυχαία κίνηση. Όλα τα μόρια δεν έχουν την ίδια ταχύτητα. Η μέση ταχύτητα των μορίων ενός αερίου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του.**

Η πρωταρχική ιδέα για μια σωματιδιακή θεωρία της ύλης είναι το κενό. Η μεταφορική κίνηση των μορίων αερίου μπορεί να εξηγηθεί, μόνο αν δεχτούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του χώρου που καταλαμβάνει ένα αέριο είναι κενό. Διότι αν ο αριθμός των μορίων ανά μονάδα όγκου ήταν πάρα πολύ μεγάλος και τα μόρια γέμιζαν όλο το διαθέσιμο χώρο, μη αφήνοντας μέρος για κίνηση, η μέση απόσταση μεταξύ δύο



διαδοχικών κρούσεων θα ήταν μηδέν. Επιπλέον, αν τα μόρια ήταν σημεία και δεν είχαν διαστάσεις (διάμετρος ενός ατόμου είναι της τάξης  $10^{-8}$  cm, και η διάμετρος ενός μορίου  $10^{-5}$  cm) δεν θα συγκρούοταν καθόλου και η μέση απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συγκρούσεων θα ήταν άπειρη.

### Πρόβλημα

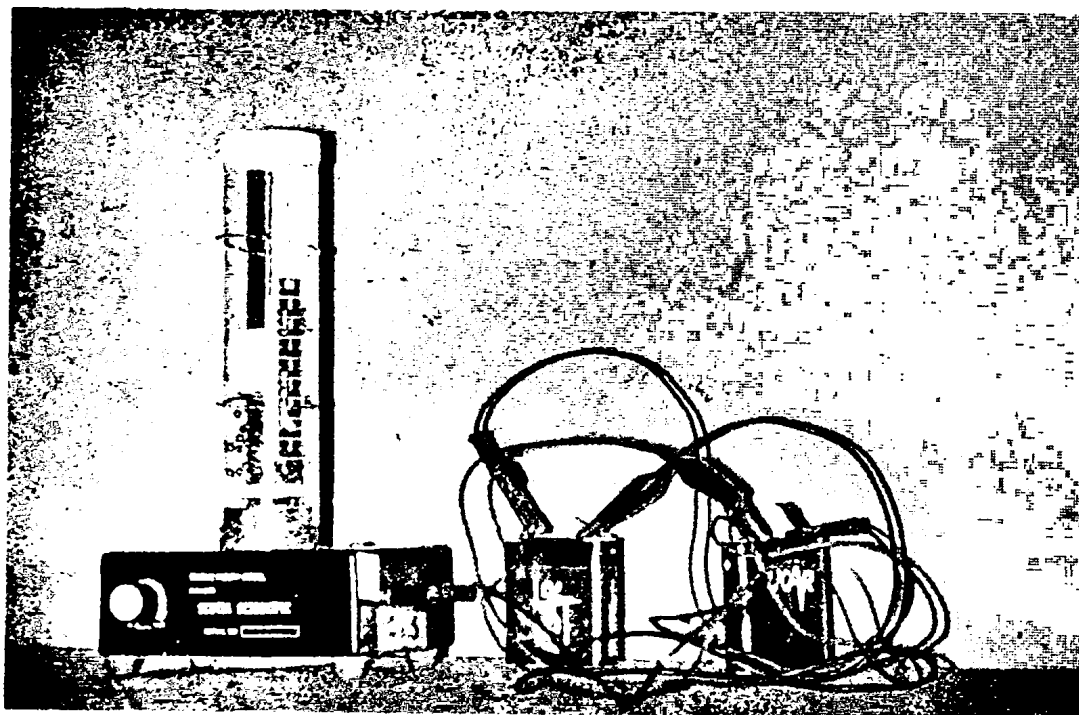
Για να εξηγήσουμε το πολύ μικρό ποσοστό του υδρογόνου και άλλων ελαφρών αερίων (π.χ. το ήλιο) στη γήινη ατμόσφαιρα, δεχόμαστε ότι, στα 4 δισεκατομμύρια χρόνια που πέρασαν από το σχηματισμό της Γης, τα μόρια του υδρογόνου σιγά-σιγά διαχέονταν προς τα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας και σχεδόν την εγκατέλειψαν. Δεν συνέβη όμως το ίδιο και με το οξυγόνο και το άζωτο. Μπορείτε να δώσετε κάποια ποιοτική εξήγηση;

*Το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο αέριο στη φύση (μοριακή μάζα 2), ενώ το οξυγόνο έχει μοριακή μάζα 32 και το άζωτο 28. Μια ποσότητα αέρα περιέχει και τα τρία αέρια και όλα βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Αν δεχτούμε ότι η μέση ταχύτητα των μορίων αερίου εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία, τότε και τα τρία αέρια θα είχαν διαφύγει από την ατμόσφαιρα της Γης. Συνεπώς πρέπει να δεχτούμε ότι η μέση ταχύτητα ενός μορίου εξαρτάται όχι μόνο από τη θερμοκρασία αλλά και από τη μοριακή μάζα του κάθε αερίου.*

*Δύο αέρια στην ίδια θερμοκρασία που έχουν διαφορετική μοριακή μάζα, έχουν διαφορετικές μέσες ταχύτητες. Μεγαλύτερη μέση ταχύτητα έχουν τα μόρια του αερίου με τη μικρότερη μοριακή μάζα. Τα μόρια λοιπόν του υδρογόνου ως έχοντα μεγαλύτερη μέση ταχύτητα κατάφεραν να διαφύγουν σε μεγάλο ποσοστό από την έλξη της Γης.*

**Τα μόρια δύο διαφορετικών αερίων στην ίδια θερμοκρασία έχουν διαφορετικές μέσες ταχύτητες. Τα μόρια του αερίου με τη μικρότερη μοριακή μάζα έχουν μεγαλύτερη μέση ταχύτητα.**





*Εικόνα Π1-1. Συσκευή για την επίδειξη προσομοίωσης της κίνηση των μορίων αερίου.*



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

### Η ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

#### ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 1

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πυκνότητας του αέρα. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.**

#### **Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πυκνότητας του αέρα. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### **Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)**

- Για την εύρεση της πυκνότητας ενός σώματος απαιτείται να γνωρίζουμε τη μάζα ορισμένου όγκου του σώματος ( $d=m/V$ ).
- Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν είναι ουσία (χημική ουσία) αλλά ομογενές μίγμα κυρίως οξυγόνου και αζώτου.
- Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κυρίως με την απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Τη μάζα αερίου τη μετράμε με ζυγό, ενώ ο όγκος ενός αερίου (σε ορισμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας) ισούται με τον όγκο του δοχείου στο οποίο περιέχεται.
- Η πυκνότητα ενός αερίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση στην οποία βρίσκεται. Θα εργαστούμε με αέρα που έχει τη θερμοκρασία που επικρατεί στο εργαστήριο.



## Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Θα πρέπει να κάνουμε υγροποίηση του αέρα. Παίρνουμε ένα άδειο μπουκάλι και μετράμε τη μάζα του σε μια ζυγαριά. Μετά τοποθετούμε στο άδειο μπουκάλι τον υγροποιημένο αέρα και το ζυγίζουμε. Αφαιρούμε τη μάζα του άδειου μπουκαλιού και βρίσκουμε τη μάζα του υγροποιημένου αέρα. Τοποθετούμε τον υγροποιημένο αέρα σ' ένα ογκομετρικό κύλινδρο και έτσι βρίσκουμε τον όγκο του. Από τη μάζα και τον όγκο βρίσκουμε την πυκνότητα.

*Διδάσκων: Με ποιο τρόπο θα υγροποιήσουμε τον αέρα; Θέλουμε να μετρήσουμε την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ή του υγροποιημένου αέρα (ενός υγρού);*

### 2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Παίρνουμε ένα μπαλόνι και το ζυγίζουμε σε ζυγαριά που ζυγίζει με ακρίβεια. Από το μπαλόνι προηγουμένως έχουμε βγάλει τον αέρα και στη ζυγαριά έχουμε βάλει και την κλωστή που θα το δέσουμε. Βρίσκουμε τη μάζα του άδειου μπαλονιού με την κλωστή. Στη συνέχεια φουσκώνουμε το μπαλόνι και το δένουμε με την κλωστή και μετά το ζυγίζουμε. Έτσι βρίσκουμε τη μάζα του μπαλονιού και του αέρα. Η μάζα του αέρα θα είναι η διαφορά των δύο μετρήσεων. Μετά θα βρούμε τον όγκο του μπαλονιού.

*Διδάσκων: Εκτελέσαμε τις δύο μετρήσεις με αναλυτικό ζυγό ακρίβειας  $\pm 0,001g$  και βρήκαμε σχεδόν την ίδια τιμή. Το φουσκωμένο μπαλόνι δεν «πατούσε» καλά στο δίσκο του ζυγού. Επιπλέον η επίδραση της άνωσης που ασκούσε ο ατμοσφαιρικός αέρας ήταν σημαντική. Συνεπώς θα πρέπει ο αέρας να εισάγεται και να εξάγεται σε δοχείο όπου ο όγκος του δε θα παθαίνει μεγάλη μεταβολή, ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται πολύ από την άνωση.*

### 3<sup>η</sup> πρόταση(ομάδα)

Να χρησιμοποιήσουμε μια πλαστική φιάλη, που η μια της έδρα να «κάθεται» καλά στο δίσκο του ηλεκτρονικού ζυγού και ο όγκος της να παραμένει σχεδόν ο ίδιος, όταν βγάζουμε απ' αυτή τον αέρα.

Να ζυγίσουμε τη φιάλη, όταν είναι γεμάτη με αέρα και στη συνέχεια να βγάλουμε με μια αντλία τον αέρα και να τη ξαναζυγίσουμε.

## Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Χρησιμοποιήσαμε μια πλαστική φιάλη που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή φυσιολογικού ορού σε ασθενείς, από την οποία είχαμε αφαιρέσει τελείως τον ορό. Η φιάλη φέρει πλαστικό πάμα που την κλείνει αεροστεγώς. Ένα σκληρό πλαστικό ακροφύσιο, στο ένα άκρο λεπτού πλαστικού σωλήνα προσαρμόστηκε στο πλαστικό πάμα της φιάλης. Το άλλο άκρο του σωλήνα συνδέθηκε μ' ένα δεύτερο σκληρό σωλήνα που φέρει βαλβίδα, η οποία επιτρέπει την εισαγωγή, εξαγωγή αέρα καθώς και την απομόνωση



της φιάλης. Το άλλο άκρο του δευτέρου σωλήνα προσαρμόζεται σε χειροκίνητη αντλία κενού.

Ανοίγουμε τη βαλβίδα και στη συνέχεια την κλείνουμε. Παρατηρούμε ότι, όταν πιέζουμε τα τοιχώματα της φιάλης, δεν υποχωρούν, γεγονός που δηλώνει ότι είναι γεμάτη με αέρα. Ζυγίσαμε τη φιάλη που περιέχει αέρα μαζί με τους δύο λαστιχένιους σωλήνες και σημειώσαμε την ένδειξη του ζυγού. Η ευρεθείσα τιμή είναι 73,786g.

Απομακρύναμε τη φιάλη με τους σωλήνες από το ζυγό και συνδέσαμε το σωλήνα με την αντλία κενού. Περιστρέφουμε το χειροκίνητο τροχό της αντλίας μέχρις ότου από την κυλινδρική φιάλη αντληθεί το μεγαλύτερο μέρος του περιεχόμενου αέρα. Τα τοιχώματα της φιάλης σχεδόν επιπεδοποιούνται. Στη συνέχεια κλείσαμε τη βαλβίδα. Ξαναζυγίσαμε τη φιάλη με τους λαστιχένιους σωλήνες και σημειώσαμε την ένδειξη του ζυγού. Η νέα ευρεθείσα τιμή είναι 71,779g. Το όριο του κενού από την άντληση του αέρα, με τη συγκεκριμένη αντλία, όπως φαίνεται από τα κατασκευαστικά της στοιχεία, δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 1 Τοπ (760 Τοπ = 1Αtm).

Για την εύρεση του όγκου της φιάλης, αποσυνδέσαμε τη φιάλη από τους σωλήνες και αφαιρέσαμε το πλαστικό της πώμα. Γεμίσαμε πλήρως τη φιάλη με νερό και στη συνέχεια το μεταγγίσαμε σε ογκομετρικό κύλινδρο. Ο όγκος του νερού είναι ίσος με τον όγκο της φιάλης και βρέθηκε ίσος με 1188 mL.

*Διδάσκων:* Η πειραματική διαδικασία γίνεται αποδεκτή, με την παρατήρηση ότι οι πλαστικοί σωλήνες περιέχουν και αυτοί αέρα και από τον κατασκευαστή της αντλίας γνωρίζουμε ότι έχουν όγκο 15 mL. Στο μετρηθέντα όγκο της φιάλης θα πρέπει να προσθέσουμε και τον όγκο του αέρα στους σωλήνες. Άρα ο όγκος του αέρα θα πρέπει να ληφθεί ίσος με 1203 mL. Επίσης θέλω να επισημάνω ότι για την άντληση του αέρα χρησιμοποιήσαμε λαστιχένιο σωλήνα με χοντρά τοιχώματα, διότι, αν χρησιμοποιήσεις σωλήνα με λεπτά τοιχώματα, κατά την άντληση του αέρα τα τοιχώματα του εφάπτονται, γίνονται επίπεδα και ο σωλήνας κλείνει.

### Φάση αξιολόγησης

Ο όγκος του αέρα είναι:

$$\text{όγκος φιάλης} + \text{όγκος σωλήνα} = (1188 + 15) \text{ mL} = 1203 \text{ mL}.$$

Η μάζα του αέρα:

$$(\text{μάζα φιάλης με αέρα} + \text{μάζα σωλήνα με αέρα}) - (\text{μάζα φιάλης και σωλήνα μετά την άντληση του αέρα}) = (73,786 - 71,779) \text{ g} = 2,009 \text{ g}.$$

$$\text{Πυκνότητα αέρα: } d = \frac{m}{V} = \frac{2,009 \text{ g}}{1203 \text{ mL}} = 0,00167 \frac{\text{g}}{\text{mL}}.$$

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήσαμε μας έδωσε μια τιμή πυκνότητας του αέρα.

### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

*Διδάσκων:* Η ευρεθείσα τιμή πυκνότητας του αέρα σε ποιο βαθμό εκτιμάται ότι είναι αποδεκτή;



**Φοιτήτρια:** Ο αέρας έχει πολύ μικρή πυκνότητα, μικρότερη από την πυκνότητα του νερού. Τα μόρια του αέρα είναι μακριά το ένα από το άλλο, ενώ στα στερεά είναι κοντά το ένα στο άλλο και στα υγρά επίσης.

**Διδάσκων:** Σας υπενθυμίζω ότι η πυκνότητα των στερεών είναι μονάδες φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα των υγρών. Η πυκνότητα του σιδήρου π.χ. είναι 7,86 g/mL και του νερού 0,998 g/mL (στους 20 °C και 1 Atm). Πόσες φορές εκτιμάται ότι είναι μικρότερη η πυκνότητα του αέρα σε σχέση με την πυκνότητα του νερού; Πόσες τάξεις μεγέθους είναι μικρότερη η πυκνότητα των αερίων γενικά σε σχέση με την πυκνότητα των υγρών;

**Φοιτητής:** Ένα μπουκάλι γεμάτο με νερό είναι πολύ βαρύτερο σε σχέση με ένα μπουκάλι που περιέχει μόνο αέρα. Το μπουκάλι με αέρα μπορεί να είναι μερικές δεκάδες φορές ελαφρύτερο από μπουκάλι με νερό.

**Διδάσκων:** Τα αέρια γενικά έχουν μερικές εκατοντάδες φορές μικρότερη πυκνότητα από την πυκνότητα των υγρών. Η πυκνότητα του αέρα σε πίεση 1Atm και σε θερμοκρασία 20 °C έχει βρεθεί ίση με 0,00125 g/mL, δηλαδή είναι μικρότερη κατά 800 περίπου φορές από την πυκνότητα του νερού.

Η τιμή πυκνότητας του αέρα που βρήκατε είναι 600 φορές περίπου μικρότερη από την πυκνότητα του νερού. Μπορούμε να την αποδεχτούμε, αν και δεν είναι ακριβής στο πλαίσιο της τάξης μεγέθους. Σκεφτείτε τι θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε στη διαδικασία που ακολουθήσαμε, ώστε η μετρούμενη τιμή πυκνότητας να γίνει πιο ακριβής.

### Φάση κοινωνικοποίησης

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες την πειραματική διάταξη και τη διαδικασία που ακολούθησε για τη μέτρηση της πυκνότητας του αέρα.

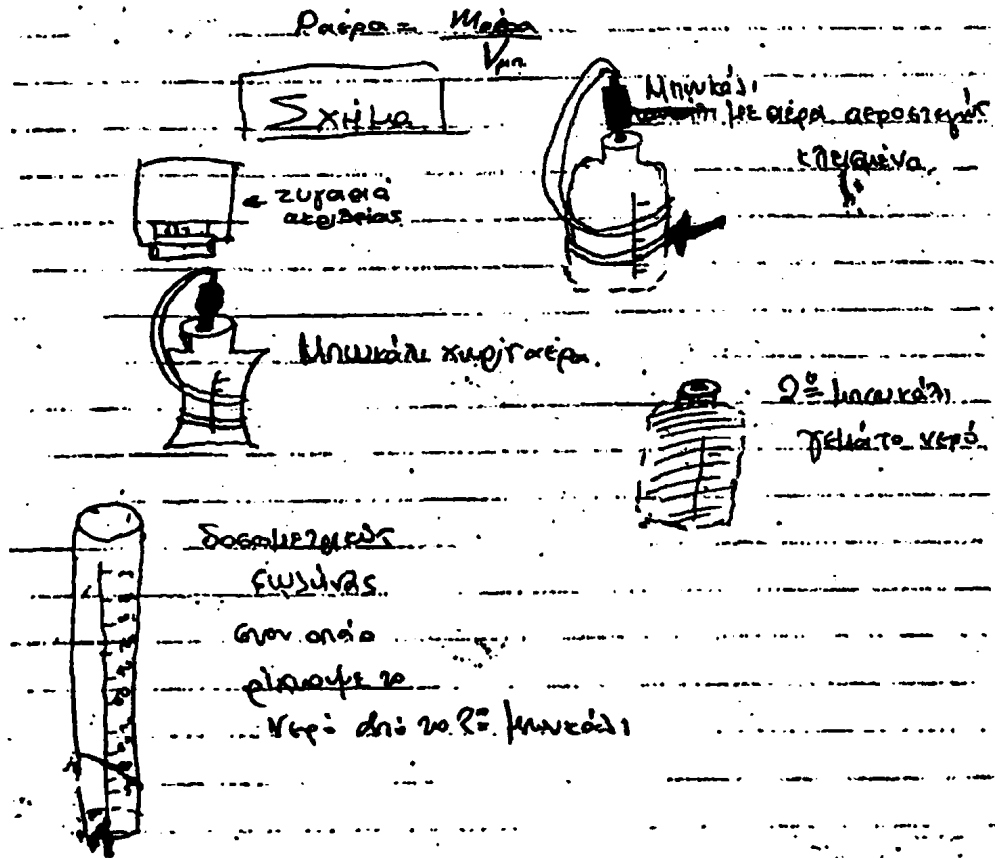
Ο χρόνος που χρειάστηκε για την παραπάνω διαδικασία καθώς και για τη διεξαγωγή ανάλογης διαδικασίας από τις άλλες πέντε ομάδες στο εργαστήριο ήταν 120 min. Από το χρόνο αυτό τα 90 min κατά μέσο όρο η κάθε ομάδα τα δαπάνησε στην εύρεση λύσης στο πρόβλημα που της τέθηκε. Τα υπόλοιπα 30 min διατέθηκαν για να παρουσιάσει η κάθε ομάδα (5 min, η κάθε ομάδα) εν συντομία, στις υπόλοιπες ομάδες το πρόβλημα με το οποίο ασχολήθηκε, την πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε, τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις που έκανε καθώς και το αποτέλεσμα στο οποίο κατέληξε. Σύντομες επεξηγηματικές-διευκρινιστικές παρεμβάσεις κατά τη διάρκεια της κάθε παρουσίασης γίνονταν από το διδάσκοντα.

### Παρατήρηση πάνω στην πειραματική διαδικασία του προβλήματος 1

Η παραπάνω περιγραφείσα πειραματική διαδικασία, που ακολουθήθηκε, έχει το μειονέκτημα ότι, όταν αφαιρείται ο αέρας από την πλαστική φιάλη, αυτή παραμορφώνεται. Η άνωση που δέχεται είναι μικρότερη απ' ό,τι, όταν είναι πλήρης αέρα. Ως εκ τούτου η ακρίβεια άμεσης μέτρησης της πυκνότητας του αέρα είναι μειωμένη. Αυτός είναι και κυριότερος λόγος που οι εργαστηριακοί οδηγοί, ενώ αναφέρονται στην άμεση ή απόλυτη μέθοδο εύρεσης της πυκνότητας αερίου (μέθοδο Regnault), δεν την εφαρμόζουν. Εφαρμόζουν συνήθως την εύρεση της σχετικής πυκνότητας αερίου ως προς



το υδρογόνο. Ενδιαφέρον δε επ'αυτού παρουσιάζουν όσα αναφέρονται στην «Εργαστηριακή Φυσικοχημεία» του καθηγητή Κ. Πολυδωρόπουλου.



Εικόνα Π2-1. Σχήματα της ομάδας Π1 που περιγράφουν την πειραματική διαδικασία που χρησιμοποίησαν για την εύρεση της πυκνότητας του αέρα.

«Πειραματικώς όμως η ζύγιση ενός αερίου κατά την απόλυτον μέθοδο (Regnault) είναι δύσκολος διότι προϋποθέτει εκκένωσιν του δοχείου από του περιεχομένου αέρος επαναπλήρωσιν του με το υπ' όψιν αέριον και εν τέλει ζύγισιν. Αλλά τούτο απαιτεί λίαν ανθεκτικόν δοχείον ζυγίσεως (διά να αντέξη εις την εξωτερικήν πίεσιν κατά την εκκένωσιν του) και επομένως αρκετά βαρύ. Αλλά πάλιν η ζύγισις ποσότητας αερίου μικροτέρας του 1 gr, εντός δοχείου έχοντος βάρος πολλών χιλιογράμμων, απαιτεί ιδιαιτέρως ευπαθή και ανθεκτικόν ζυγόν. Ως είναι δε ευνόητον αύται είναι δύο ιδιότητες αντιτιθέμενα» (Πολυδωρόπουλος, 1979, σ. 88).

## ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 2

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής διαπίστωσης του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και προσδιορισμού της περιεκτικότητάς του. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.**

### Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής διαπίστωσης του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και προσδιορισμού της περιεκτικότητάς του. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

### Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ομογενές μίγμα δύο κυρίως αερίων, του αζώτου και του οξυγόνου. Εκατό όγκοι ξηρού αέρα (απαλλαγμένου υδρατμών) συνίστανται από 78 όγκους αζώτου και 21 οξυγόνου. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα και αργό καθώς και ίχνη από τα υπόλοιπα ευγενή αέρια.
- Το οξυγόνο και το άζωτο είναι αέρια άχρωμα, άοσμα και άγευστα. Διαλύονται δε ελάχιστα στο νερό (σε συνήθεις συνθήκες).
- Το άζωτο είναι αδρανές αέριο και ενώνεται με ορισμένα μέταλλα και αμέταλλα μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες. Δεν καίγεται και δε συντηρεί την καύση.
- Το οξυγόνο είναι δραστικό στοιχείο. Το οξυγόνο είτε ως καθαρό είτε ως συστατικό του αέρα ενώνεται απευθείας με τα διάφορα στοιχεία και σχηματίζει οξειδία. Το οξυγόνο ανιχνεύεται από το γεγονός ότι διατηρεί την καύση. Η παρουσία του οξυγόνου σε μίγμα αερίων μπορεί να διαπιστωθεί απ' την ελάττωση του όγκου που παρουσιάζει το μίγμα, όταν αυτό διαβιβαστεί σε σωλήνα που περιέχει ουσία με την οποία το οξυγόνο αντιδρά εύκολα, π.χ. φωσφόρο, διάλυρο χαλκό, αλκαλικό διάλυμα πυρογαλλόλης.

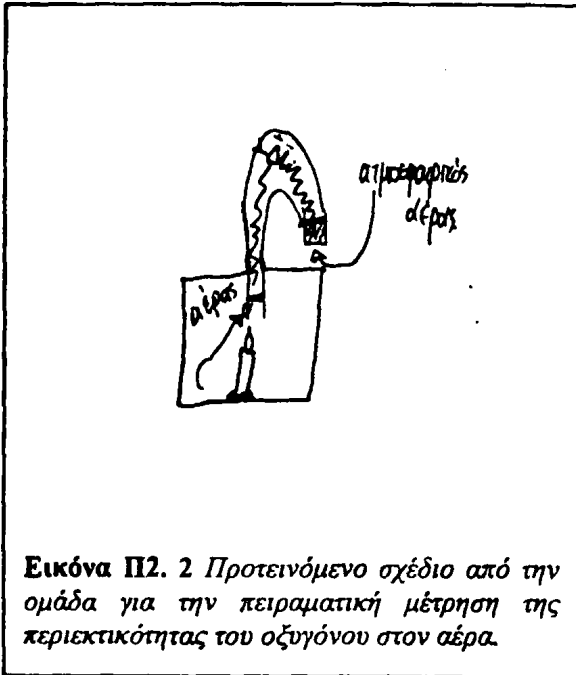
### Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

#### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Να πάρουμε ένα δοχείο και στη βάση του να στερεώσουμε ένα αναμμένο κερί. Στη πάνω βάση του να ανοίξουμε μια τρύπα και να προσαρμόσουμε ένα γυάλινο σωλήνα σχήματος ανεστραμμένου U, όπως στο σχήμα (εικόνα Π2-2). Και τα δύο άκρα του σωλήνα να είναι ανοιχτά. Ο αέρας μπαίνει από το άνοιγμα και το κερί συνεχίζει να ανάβει. Όταν κλείσουμε με ένα πώμα το ανοιχτό άκρο του σωλήνα, μετά από λίγο χρονικό διάστημα το κερί παύει να είναι αναμμένο, τότε καταλαβαίνουμε ότι το οξυγόνο εξαντλήθηκε. Άρα ο όγκος του ατμοσφαιρικού αέρα μειώθηκε. Από τη διαφορά ( $V_{αρχ} - V_{τελ}$ ) βρίσκουμε τον όγκο του οξυγόνου.



**Διδάσκων:** Η ιδέα αυτή μας λέει ότι το συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα που παίρνει μέρος στην καύση του κεριού είναι το οξυγόνο. Όταν όλη η ποσότητα του οξυγόνου καταναλωθεί η καύση σταματάει. Ποια αέρια περιέχονται μετά την καύση στο σύστημα δοχείο-σωλήνας;



**Εικόνα Π2. 2** Προτεινόμενο σχέδιο από την ομάδα για την πειραματική μέτρηση της περιεκτικότητας του οξυγόνου στον αέρα.

**Φοιτήτρια:** Το άζωτο του αέρα που δεν κάηκε.

**Διδάσκων:** Αυτό είναι εν μέρει σωστό. Όταν ένα σώμα καίγεται, όπως το κεριό, δεν παράγονται και καυσαέρια; Ποιά είναι αυτά;

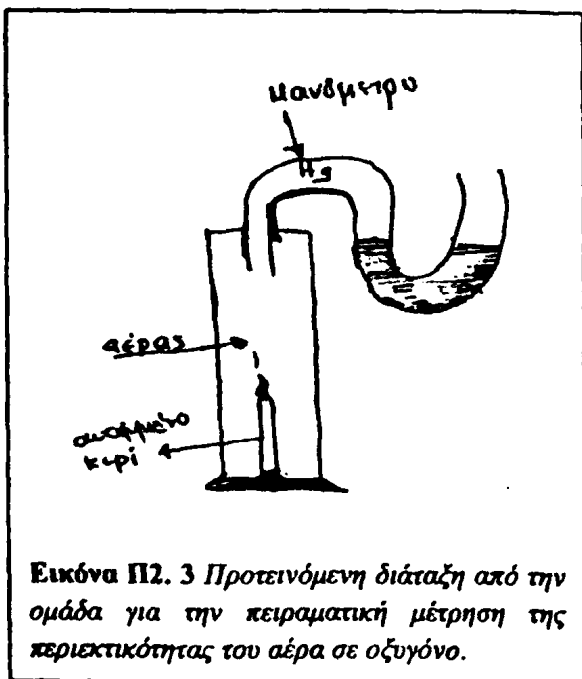
**Φοιτήτρια:** Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό.

**Διδάσκων:** Επίσης κατά την καύση παράγεται και νερό υπό μορφή υδρατμών λόγω της υψηλής θερμοκρασίας της φλόγας του κεριού. Το άζωτο και τα καυσαέρια ως αέρια καταλαμβάνουν όλο τον όγκο του

κλειστού συστήματος δοχείο-σωλήνας ή μαζεύονται σ' ένα μέρος του;

**Φοιτητής:** Τα αέρια καταλαμβάνουν πάντοτε όλο τον όγκο που τους διατίθενται.

**2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)**



**Εικόνα Π2. 3** Προτεινόμενη διάταξη από την ομάδα για την πειραματική μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο.

Να πάρουμε ένα κυλινδρικό δοχείο, όπως αυτό (δείχνουν έναν κύλινδρο συλλογής αερίου) και στη βάση του να στερεώσουμε ένα κεριό. Να κλείσουμε το άνοιγμά του και σε μια τρύπα να στερεώσουμε σ' αυτή ένα γυάλινο σωλήνα, όπως φαίνεται στο σχήμα (σχήμα Π2-3). Στο σωλήνα να ρίξουμε υδράργυρο, ώστε να έχουμε ένα μανόμετρο υδραργύρου. Η στάθμη του υδραργύρου αρχικά στα δύο σκέλη του σωλήνα θα είναι στο ίδιο επίπεδο. Όταν ανάψουμε το κεριό και στερεώσουμε το σωλήνα σχήματος U, μετά από λίγο το οξυγόνο του κυλίνδρου θα τελειώσει και η στάθμη του υδραργύρου στο σκέλος του σωλήνα που συνδέεται με τον κύλινδρο θα ανέβει. Στο άλλο σκέλος θα

κατέβει. Ο όγκος του υδραργύρου που ανέβηκε θα είναι ο όγκος του οξυγόνου που είχε ο κύλινδρος.

**Διδάσκων:** Η πρότασή σας περιέχει αρκετά ενδιαφέροντα στοιχεία. Η μετακίνηση της στάθμης του υδραργύρου στα δύο σκέλη του μανομέτρου μετράει την ελάττωση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο και όχι ελάττωση του όγκου, λόγω κατανάλωσης του οξυγόνου κατά την καύση. Αρχικά, πριν ανάψουμε το κερί, η στάθμη του υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο, διότι το άθροισμα των μερικών πιέσεων του οξυγόνου και αζώτου στο σωλήνα είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα. Η διαφορά στάθμης του υδραργύρου στα δύο σκέλη του σωλήνα, μετά την καύση, ισούται με τη μερική πίεση που ασκούσε το οξυγόνο.

Επιπλέον, κατά την καύση, η θερμοκρασία του αζώτου αυξήθηκε και θα πρέπει να τη μετρήσουμε. Θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε, αν γνωρίζατε την έννοια της μερικής πίεσης, και μάλλον θα βρίσκαμε μετά από υπολογισμούς το λόγο των moles αζώτου, οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα. Την έχετε χρησιμοποιήσει αυτή την έννοια στο λύκειο;

**Φοιτητής:** Σε κάποια προβλήματα χημικής ισορροπίας, όταν στην αντίδραση έπαιρναν μέρος αέρια σώματα.

**Φοιτήτρια:** Εμείς που δεν είμαστε θετική κατεύθυνση δεν τη ξέρουμε.

**Διδάσκων:** Ανακεφαλαιώνοντας τις δύο προτάσεις σας, ας συγκρατήσουμε δύο σημεία που είναι αρκετά σημαντικά. 1) Το συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα που παίρνει μέρος στην καύση σ' ένα κλειστό χώρο είναι το οξυγόνο. 2) Όταν το οξυγόνο καταναλώνεται, η πίεση στο κλειστό δοχείο ελαττώνεται. Σας προτείνω να συνδυάσετε τις παραπάνω ιδέες χρησιμοποιώντας το κερί, έναν κυλινδρικό σωλήνα συλλογής αερίων και αυτό το ρηχό γυάλινο δοχείο (κρυσταλλωτήριο) με νερό.

3<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα).

Παίρνουμε ένα σωλήνα με αέρα. Αλλάζει, ένα δοκίμιο με νερό ως τη μέση του δοκίμιου. Στη συνέχεια τοποθετούμε ένα κερί στο δοκίμιο με το νερό και τοποθετούμε τον σωλήνα πάνω από το κερί με το σημείο προς τα κάτω, ώστε να είναι κάτω από την επιφάνεια του νερού. Μετά από λίγο χρονικό διάστημα το κερί βγίνει λόγω της εξάντλησης του  $O_2$  και τη θέση του παίρνει το νερό.

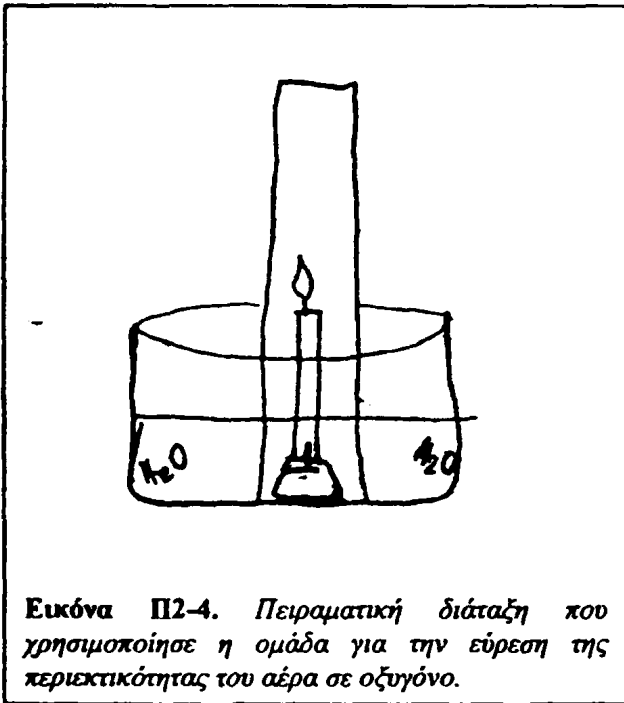
Μετά, μετράμε τον όγκο του νερού που "μπήκε" στον κυλινδρικό σωλήνα. Έτσι βρίσκουμε ως τον όγκο του οξυγόνου και στη συνέχεια την περιεκτικότητά του.

Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού





Σκουπίσαμε τη βάση του κρυσταλλωτηρίου μ' ένα απορροφητικό χαρτί για να βεβαιωθούμε ότι η βάση του είναι στεγνή. Θερμάναμε ελαφρά με τη βοήθεια αναπτήρα τη βάση του κεριού και την κολλήσαμε στη βάση του κρυσταλλωτηρίου. Ρίξαμε μικρή ποσότητα νερού στο κρυσταλλωτήριο μέχρι η στάθμη του να φτάσει σε ύψος περίπου 1cm. Τοποθετήσαμε τον ογκομετρικό σωλήνα, ώστε να καλύψει το κερί, και περνώντας περιμετρικά ένα λαστιχάκι στο σωλήνα το μετατοπίσαμε, ώστε να είναι στο ύψος της στάθμης του νερού στο σωλήνα (εικόνα Π2-4). Βγάλαμε τον ογκομετρικό κύλινδρο, ανάβουμε το κερί και το καλύπτουμε προσεχτικά με τον ογκομετρικό κύλινδρο.



Παρατηρούμε ότι η στάθμη του νερού, ενώ το κερί είναι αναμμένο, αρχίζει να ανεβαίνει σιγά-σιγά και όταν το κερί σβήσει η στάθμη του νερού στον κύλινδρο ανεβαίνει γρήγορα και τέλος σταθεροποιείται σ' ένα ορισμένο ύψος. Τοποθετούμε περιμετρικά και δεύτερο λαστιχάκι, για να σημειώσουμε το ύψος της στάθμης που έφτασε το νερό στον ογκομετρικό σωλήνα.

Μετρήσαμε την απόσταση του κάτω λαστιχακιού από την κορυφή του σωλήνα με την βοήθεια υποδεκάμετρου και τη βρήκαμε 16,9 cm. Το ύψος αυτό αντιστοιχεί σε όλο τον όγκο του κυλίνδρου που περιέχει αέρα. Μετρήσαμε στη συνέχεια την

απόσταση του δεύτερου λαστιχακιού, εκεί που σταμάτησε η στάθμη του νερού μετά το σβήσιμο του κεριού μέχρι την κορυφή του σωλήνα και την βρήκαμε ίση με 13,6 cm. Η δεύτερη απόσταση αντιστοιχεί στον όγκο του αζώτου που παρέμεινε στο σωλήνα.

*Διδάσκων:* Η πειραματική διαδικασία γίνεται αποδεκτή, με την παρατήρηση να επαναλάβετε το πείραμα, χρησιμοποιώντας έναν άλλο ίδιο κυλινδρικό σωλήνα. Να ζαναμετρήσετε τις δύο αποστάσεις προσεχτικά και να τις συγκρίνετε με τις προηγούμενες.

### Φάση αξιολόγησης

Οι μετρήσεις στη δεύτερη φορά δεν ήταν ακριβώς ίδιες με τις προηγούμενες, αλλά δεν διέφεραν και πολύ. Συγκεκριμένα το ύψος από τη στάθμη του νερού στο κρυσταλλωτήριο μέχρι την κορυφή του κυλίνδρου μετρήθηκε ίσο με 17 cm, πριν ανάψουμε το κερί. Η δεύτερη απόσταση, η νέα στάθμη του νερού στο σωλήνα μέχρι την κορυφή του, όταν έσβησε το κερί, μετρήθηκε ίση με 13,5 cm.

Παρατηρήσαμε ότι και στις δύο μετρήσεις ο λόγος του «αρχικού ύψους του κυλίνδρου με αέρα» προς το «ύψος του κυλίνδρου χωρίς οξυγόνο» είναι σχεδόν ο ίδιος. Την πρώτη

φορά είναι  $13,6/16,9=0,80$  και τη δεύτερη  $13,5/17=0,79$ , δηλαδή ο όγκος του αέρα που παραμένει στον κύλινδρο είναι ίσος περίπου με τα  $4/5$  του αρχικού.

### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

**Διδάσκων:** Ποια είναι, με βάση το πείραμα σας, η % κ.ό. περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο;

**Ομάδα:** Επειδή ο όγκος του κυλίνδρου είναι ανάλογος του ύψους του, το ύψος του κυλίνδρου αντιστοιχεί και στον όγκο του. Στην πρώτη μέτρηση το ύψος, 3,3 cm, στο οποίο ανέβηκε η στάθμη του νερού, αντιστοιχεί στον όγκο του οξυγόνου, οπότε:

Στα 16,9 cm (αέρα) αντιστοιχούν 3,3 cm (οξυγόνου)

100 cm

χ:

$\chi=19,5$  cm ή 19,5% κ.ό.

στη δεύτερη περίπτωση μέτρησης η περιεκτικότητα σε οξυγόνο θα είναι 20,6% κ.ό.

**Διδάσκων:** Όπως αναφέραμε στην αρχή, η περιεκτικότητα του ξηρού αέρα σε οξυγόνο είναι 21% κ.ό. Η περιεκτικότητα που προκύπτει από τους υπολογισμούς μας είναι 19,5% και 20,6 % για τις δύο μετρήσεις αντίστοιχα. Πώς το εξηγείτε;

**Φοιτήτρια:** Μετά το σβήσιμο του κεριού μέσα στον κύλινδρο εκτός από το άζωτο υπάρχει και το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί από την καύση. Ο όγκος που μετράμε μετά την καύση δεν είναι μόνο του αζώτου.

**Διδάσκων:** Πράγματι οι διαφορές των τιμών, που βρίσκετε σε σχέση με τις θεωρητικές, μπορούν να αποδοθούν σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο σε μικρό ποσοστό διαλύεται στο νερό του κρυσταλλωτηρίου.

**Διδάσκων:** Θα ήθελα επιπλέον να εξηγήσετε γιατί η στάθμη του νερού ανέβηκε στον κύλινδρο.

**Φοιτητής:** Πριν ανάψουμε το κεριό, στο εσωτερικό του κυλίνδρου υπάρχει ατμοσφαιρικός αέρας. Η στάθμη του νερού στον κύλινδρο βρίσκεται στο ίδιο ύψος με τη στάθμη του νερού στο κρυσταλλωτήριο. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση του αέρα στον κύλινδρο και η ατμοσφαιρική πίεση του αέρα πάνω στο νερό στο κρυσταλλωτήριο εξισορροπούνται.

Όταν αρχίσει η καύση του κεριού, το οξυγόνο του αέρα στον κύλινδρο συμμετέχει στην καύση και η ποσότητα του οξυγόνου συνεχώς ελαττώνεται. Όταν το οξυγόνο τελειώσει σταματάει και η καύση του κεριού. Τώρα στον κύλινδρο έμεινε το άζωτο του αέρα, μια μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμοί, που παράγονται ως προϊόντα της καύσης.

Η ποσότητα του αέρα στον κύλινδρο ελαττώθηκε, συνεπώς και η πίεση που θα ασκεί στην επιφάνεια του νερού. Η ατμοσφαιρική πίεση έξω από τον κύλινδρο παρέμεινε σταθερή. Λόγω διαφοράς πίεσης μέσα και έξω από τον κύλινδρο το νερό ανέβηκε και έφτασε σ' ένα ορισμένο ύψος. Το άζωτο στον κύλινδρο τώρα περιορίστηκε σε μικρότερο όγκο και η πίεση που ασκεί έγινε ίση με την εξωτερική ατμοσφαιρική. Οι παραπάνω πιέσεις εξισορροπούνται και η νέα στάθμη του νερού στον κύλινδρο παραμένει σταθερή.

**Διδάσκων:** Το άζωτο βέβαια σε μικρότερο όγκο ασκεί μεγαλύτερη πίεση, αλλά η ατμοσφαιρική πίεση εξισορροπείται και από την πίεση που ασκεί η στήλη του νερού στον



*κύλινδρο. Επιπλέον ένας άλλος παράγοντας που δεν λάβαμε υπόψη μας είναι η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στον κύλινδρο, λόγω της καύσης του κεριού.*

### Φάση κοινωνικοποίησης

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες την πειραματική διάταξη, και τη διαδικασία που ακολούθησε για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο.

### Παρατηρήσεις πάνω στην πειραματική διαδικασία του προβλήματος 2

Εναλλακτικά για την εύρεση της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα σε οξυγόνο είχαμε προετοιμάσει και τα παρακάτω πειράματα, για τα οποία όμως δεν παροτρύναμε τους φοιτητές για λόγους που αναφέρουμε παρακάτω.

#### A) Οξείδωση χαλκού

Συνδέουμε τα άκρα δύο σύριγγων των 60 mL μ' ένα πυράντοχο γυάλινο σωλήνα από πυριτύαλο που περιέχει χαλκό σε λεπτό διαμελισμό. Το μήκος του σωλήνα να είναι περίπου 10 cm, ώστε η φλόγα που θα χρησιμοποιήσουμε για θέρμανση του χαλκού να μην επηρεάζει τις πλαστικές σύριγγες

Στην αρχή το έμβολο της μιας σύριγγας είναι στην ένδειξη 10 cm<sup>3</sup> και στην άλλη το έμβολο έχει πιεστεί προς τα μέσα μέχρι να φράζει την έξοδο της σύριγγας. Ο σωλήνας με το χαλκό θερμαίνεται ισχυρά με φλόγα Bussen και ο αέρας που περιέχεται στη μια σύριγγα ωθείται αριστερά-δεξιά μερικές φορές, έτσι που το οξυγόνο του αέρα να αντιδράσει με το χαλκό. Ο σωλήνας κατόπιν αφήνεται να ψυχθεί και ο όγκος του αέρα στη σύριγγα μετρείται. Η θέρμανση και η ψύξη επαναλαμβάνονται μέχρις ότου όλος ο όγκος του οξυγόνου αντιδράσει και ο όγκος του αζώτου στη σύριγγα να παραμένει σταθερός. Η ελάττωση του αρχικού όγκου του αέρα στη σύριγγα αντιστοιχεί στον όγκο του οξυγόνου. Το πείραμα αυτό περιγράφεται στο βιβλίο «Chemistry Counts» του Graham Hill, p. 24.

#### B) Καύση λευκού φωσφόρου

Σε κεκαμμένο δοκιμαστικό σωλήνα κοντά στο κλειστό του άκρο τοποθετούμε μικρή ποσότητα λευκού φωσφόρου (σε μέγεθος φασολιού) και το ανοιχτό του άκρο το βυθίζουμε σε δοχείο με νερό. Θερμαίνουμε ελαφρά το φωσφόρο, ο οποίος αναφλέγεται σχηματίζοντας λευκό καπνό. Η στάθμη του νερού στο σωλήνα μετά τη διάλυση του καπνού στο νερό ανεβαίνει. Αν μετρήσουμε τον όγκο του αέρα μέσα στο σωλήνα πριν και μετά την καύση του φωσφόρου, βλέπουμε ότι ο όγκος του αερίου που μένει είναι τα 4/5 περίπου του αρχικού όγκου. Το πείραμα αυτό περιγράφεται στο βιβλίο «Φυσική» των A. Godier, G. Thomas και M. Moreau, σ. 17. Επίσης παραλλαγές του πειράματος αυτού περιέχονται στα βιβλία «Στοιχεία Ανόργανης Χημείας» των Κ. Μανωλκίδη και Κ. Μπέζα, σ. 329 και «Γενική Χημεία» του Κ. Πολυδωρόπουλου, σ. 77.

Τα παραπάνω πειράματα δεν προτιμήθηκαν, καθόσον εμπεριέχουν χημικές αντιδράσεις καύσης, που είναι πιο δυσπρόσιτες για το μαθητή / φοιτητή. Ιδιαίτερα η καύση του φωσφόρου είναι ταχύτατη και εντυπωσιακή και είναι πιθανόν να μεταθέσει



την προσοχή των μαθητών / φοιτητών από τον κύριο στόχο του πειράματος. Επιπλέον ο λευκός φωσφόρος είναι δραστικός, όταν είναι ξηρός, αναφλέγεται και από τη θερμοκρασία των χεριών, τα δε εγκαύματα που προκαλεί θεραπεύονται δύσκολα. Επίσης οι ατμοί του είναι δηλητηριώδεις.

Για την οξειδωση του χαλκού πρέπει η προσαρμογή του σωλήνα από πυριτύαλο στα άκρα των δύο συρίγγων να είναι αρκετά στεγανή και επιπλέον οι διαδοχικές θερμάνσεις και ψύξεις μέχρι ο όγκος του αέρα στη σύριγγα σταθεροποιηθεί κάνουν το πείραμα χρονοβόρο. Σε αντίθεση με τα παραπάνω πειράματα, η καύση του κεριού είναι σύνηθες φαινόμενο και επιπλέον χρησιμοποιούνται κοινά όργανα.

### ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 3

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πίεσης που ασκεί αέριο σ' ένα δοχείο, σε mmHg (σε χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου). Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.**

#### Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής μέτρησης της πίεσης που ασκεί αέριο σ' ένα δοχείο, σε mmHg (σε χιλιοστόμετρα στήλης υδραργύρου). Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

#### Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)

- Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της πίεσης υγρού ή αερίου λέγονται μανόμετρα. Το κύριο μέρος του οργάνου αποτελείται από ένα κατακόρυφο σωλήνα σε σχήμα U, ο οποίος περιέχει υγρό γνωστής πυκνότητας π.χ. υδράργυρο, ύδωρ, οινόπνευμα.
- Τρεις βασικές έννοιες συνδέονται στενά με τη λειτουργία των μανομέτρων: η έννοια της υδροστατικής πίεσης, η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων και η αρχή του Pascal.
- Υδροστατική πίεση είναι η πίεση που ασκεί υγρό σε ηρεμία σ' ένα σημείο του, λόγω του βάρους του. Η υδροστατική πίεση σε ένα σημείο είναι ανάλογη της απόστασης (h) του σημείου από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού και της πυκνότητάς του (d),  $P=d \cdot g \cdot h$ , όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας.
- Η αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων αποδεικνύει ότι, αν ένα υγρό περιέχεται σε ένα δοχείο, οιοδήποτε σχήματος, που τα διάφορα μέρη του συγκοινωνούν, και το υγρό βρίσκεται σε ηρεμία, τότε η στάθμη του υγρού στα διάφορα σκέλη του δοχείου θα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο.



- Αν σ' ένα σημείο υγρού (γενικά ρευστού), που βρίσκεται σε ηρεμία, επιφέρουμε μια ορισμένη πίεση, η πίεση μεταβιβάζεται σ' όλη τη μάζα του υγρού, εξ' ολοκλήρου και αμετάβλητη προς όλες τις κατευθύνσεις του (αρχή του Pascal).
- Η αιτία μετακίνησης ρευστού, σε ηρεμία σ' ένα σωλήνα είναι η διαφορά πίεσης σε δύο σημεία του ρευστού. Η κίνηση του ρευστού έχει κατεύθυνση από το σημείο υψηλής πίεσης προς το σημείο χαμηλής πίεσης.

### Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

#### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Να πάρουμε ένα μανόμετρο, που ο σωλήνας του να περιέχει υδράργυρο, και ένα δοχείο που να περιέχει αέριο. Να συνδέσουμε με ένα σωλήνα το δοχείο με το αέριο με το μανόμετρο. Το μανόμετρο θα μας δείξει την πίεση του αερίου στο δοχείο.

*Διδάσκων:* Υπάρχουν δύο ειδών μανόμετρα με υγρά, τα ανοιχτά και τα κλειστά (έδειξα ένα μανόμετρο ανοιχτό, υδραργύρου). Το ένα σκέλος του σωλήνα συνδέεται αεροστεγώς με το χώρο του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την πίεση, το άλλο σκέλος του σωλήνα μπορεί να είναι κλειστό και να περιέχει αέρα ή ένα αέριο (κλειστό μανόμετρο) ή να είναι ανοιχτό (ανοιχτό μανόμετρο) οπότε βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Τίθενται λοιπόν τρία ερωτήματα: 1) Τι τύπο μανόμετρου θα χρησιμοποιήσετε 2) Το δοχείο με το αέριο που θα χρησιμοποιήσουμε μήπως έχει πίεση που είναι μεγαλύτερη από την πίεση που μπορεί να μετρήσει το μανόμετρό μας; Ο υδράργυρος είναι τοξική ουσία δεν πρέπει να έλθει σε επαφή με το δέρμα μας και επιπλέον σε συνήθη θερμοκρασία και πίεση οι ατμοί τους οποίους αναδίδει, αν και ελάχιστοι, είναι αρκετά επικίνδυνοι. 3) Πώς με τη βοήθεια του μανομέτρου θα μετρήσετε την πίεση αερίου σε δοχείο;

#### 2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Όταν το ένα άκρο του μανομέτρου το συνδέσουμε μ' ένα σωληνάκι και φυσήξουμε λίγο αέρα, ο υδράργυρος στο ένα άκρο θα κατέβει και στο άλλο θ' ανέβει. Η διαφορά ύψους του υδραργύρου θα μας δώσει την πίεση που άσκησε ο αέρας που φυσήξαμε.

*Διδάσκων:* Πόση διαφορά ύψους στήλης υδραργύρου αντιστοιχεί σε πίεση μιας Ατμ; Αν η πίεση αερίου σε μια φιάλη είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, τι θα συμβεί με τη στήλη υδραργύρου στο μανόμετρο; Μήπως το αέριο του οποίου την πίεση θέλουμε να μετρήσουμε θα πρέπει να έρθει σε επαφή με τον υδράργυρο του μανομέτρου με ελεγχόμενο τρόπο;

#### 3<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Θα χρησιμοποιήσουμε ανοιχτό μανόμετρο, διότι αυτά μετρούν πιέσεις μικρότερες της ατμοσφαιρικής. Αν χρησιμοποιήσουμε κλειστό μανόμετρο, τότε θα πρέπει να συνυπολογίζουμε και την πίεση του εγκλωβισμένου αέρα στο κλειστό άκρο. Στην περίπτωση του ανοιχτού μανομέτρου θα συνυπολογίσουμε την ατμοσφαιρική πίεση που



είναι σταθερή. Το δοχείο που περιέχει τον αέρα θα πρέπει να έχει μια στρόφιγγα, ώστε να εισάγουμε στο μανόμετρο ελεγχόμενη ποσότητα αέρα.

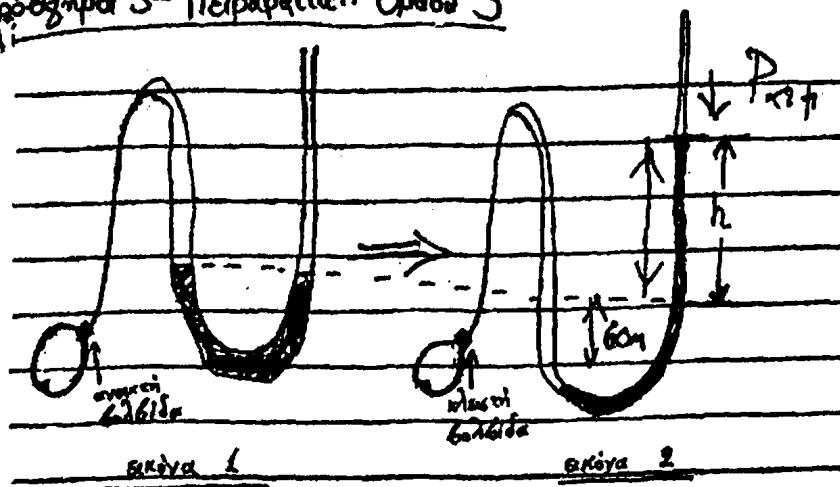
*Διδάσκων:* Αυτή είναι η φούσκα ενός σφυγμομανόμετρου, που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της αρτηριακής πίεσης. Έχει δύο βαλβίδες μια στο πίσω μέρος, που, όταν πιέζουμε τη φούσκα, επιτρέπει την εισαγωγή αέρα σ' αυτή και μια δεύτερη, που όταν είναι ανοιχτή αφήνει τον αέρα να περάσει από το σωλήνα. Όταν η δεύτερη βαλβίδα είναι κλειστή, η ποσότητα του αέρα στο χώρο που τη διοχετεύουμε παραμένει σταθερή. Με τη βοήθεια της φούσκας εισάγουμε ελεγχόμενη ποσότητα αέρα πάνω από την επιφάνεια του υδραργύρου στο ένα σκέλος του μανομέτρου.

### Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Χρησιμοποιήσαμε ανοιχτό μανόμετρο υδραργύρου. Στο ένα σκέλος του προσαρμόσαμε αεροστεγώς το μαλακό σωλήνα σφυγμομανόμετρου, τον οποίο σταθεροποιήσαμε με πλαστικό σφιγκτήρα. Για την εισαγωγή αέρα στο μανόμετρο και μέτρηση της πίεσης που ασκεί στην επιφάνεια του υδραργύρου χρησιμοποιήσαμε τη φούσκα του σφυγμομανόμετρου. Με ανοιχτή τη βαλβίδα πιάσαμε ελαφρά τη φούσκα και στη συνέχεια την κλείσαμε. Ο υδράργυρος στο σκέλος του σωλήνα που συνδέεται με τη φούσκα κατέβηκε λίγο και ανέβηκε κατά το ίδιο ύψος στο άλλο σκέλος. Όταν η βαλβίδα παραμένει κλειστή η διαφορά στάθμης του υδραργύρου στα σκέλη του μανομέτρου παραμένει σταθερή.

*Διδάσκων:* Η πειραματική διαδικασία γίνεται αποδεκτή με την παρατήρηση να ανοίξετε σιγά-σιγά τη βαλβίδα και να επαναλάβετε το πείραμα. Αρχικά δε να ελέγχετε αν ο υδράργυρος στα δύο σκέλη βρίσκεται ακριβώς στο ίδιο επίπεδο.

### Πρόβλημα 3-Πειραματική Ομάδα 3



Εικόνα Π2- 5. Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της πίεσης (σε mm Hg) αερίου σε δοχείο



### Φάση αξιολόγησης

Μ' ένα μαρκαδόρο σημειώσαμε αρχικά τη στάθμη του υδραργύρου στα δύο σκέλη του μανομέτρου. Όταν εισάγαμε αέρα στο ένα σκέλος του σωλήνα ξανασημειώσαμε τη στάθμη του υδραργύρου. Ξεσφύξαμε, τη βαλβίδα ο αέρας έφυγε και ο υδράργυρος έφτασε στην ίδια στάθμη στα δύο σκέλη. Στη συνέχεια με ένα υποδεκάμετρο μετρήσαμε τη διαφορά ύψους του υδραργύρου στα δύο σκέλη του μανομέτρου και τη βρήκαμε 12 cm.

Η πίεση του αέρα θα είναι:  $P_{\text{αέρ.}} = P_{\text{υδρ.}} + P_{\text{ατμ.}} = 120 \text{ mmHg} + 760 \text{ mmHg} = 880 \text{ mmHg}$ . Η πίεση του αέρα σε ατμόσφαιρες θα είναι:  $P_{\text{αέρ.}} = P_{\text{υδρ.}} + P_{\text{ατμ.}} = (120/760 + 1) = 1,16 \text{ Atm}$ .

### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

*Διδάσκων:* Θα ήθελα να μου εξηγήσετε τη σχέση ισότητας για τις τρεις πιέσεις που γράψατε.

*Φοιτητής:* Εφ' όσον η στήλη υδραργύρου στο σωλήνα ισορροπεί, όταν η βαλβίδα είναι κλειστή θα πρέπει να δεχτούμε ότι οι πιέσεις στα δύο άκρα της είναι ίσες. Η ατμοσφαιρική πίεση στο ανοιχτό άκρο και η διαφορά ύψους της στήλης υδραργύρου στα δύο σκέλη θα πρέπει να εξισορροπείται από την πίεση που ασκεί ο αέρας στο άλλο άκρο του υδραργύρου.

*Διδάσκων:* Γιατί την πίεση αερίου καθώς και την ατμοσφαιρική πίεση τη μετράμε σε εκατοστά στήλης υδραργύρου και όχι π.χ. σε εκατοστά στήλης νερού;

*Φοιτητής:* Ο υδράργυρος είναι βαρύτες ενώ το νερό είναι σχετικά ελαφρύ.

*Διδάσκων:* Αν την πίεση που άσκησε το αέριο τη μετρούσαμε με μανόμετρο νερού, μπορείτε να μου υπολογίσετε σε τι διαφορά στάθμης νερού θα αντιστοιχούσε; Η πυκνότητα του νερού είναι 13,6 φορές μικρότερη από την πυκνότητα του υδραργύρου.

*Φοιτητής:* Η διαφορά στάθμης θα ήταν 13,6 φορές μεγαλύτερη, δηλαδή  $13,6 \times 12 \text{ cm} = 163,2 \text{ cm}$ .

*Διδάσκων:* Ποιο θα ήταν το πρόβλημα αν χρησιμοποιούσαμε μανόμετρα νερού, αντί για μανόμετρα υδραργύρου;

*Φοιτητής:* Τα μανόμετρα θα έπρεπε να ήταν πολύ ψηλά και δεν θα μπορούσαμε εύκολα να τα μεταφέρουμε.

*Διδάσκων:* Για να μετρήσουμε πίεση μιας ατμόσφαιρας θα χρειαζόμαστε ένα σωλήνα με νερό ύψους 10,3 m. Τέτοια μανόμετρα, πράγματι δεν θα ήταν εύχρηστα.

*Επιπλέον* θα ήθελα να μου δώσετε μια εξήγηση γιατί η πίεση που άσκησε ο αέρας στην επιφάνεια του υδραργύρου στο ένα σκέλος μετατόπισε όλη τη στήλη του υδραργύρου;

*Φοιτητής:* Όπως είπαμε στην αρχή, όταν στην επιφάνεια υγρού ασκήσουμε μια πίεση αυτή μεταδίδεται αμετάβλητη σ' όλα τα σημεία του.

*Διδάσκων:* Συμφωνώ, αλλά σε ποια ιδιότητα των υγρών μπορούμε να αποδώσουμε την παραπάνω πρόταση;

*Φοιτητής:* Αυτό το λέει η αρχή του Pascal.

*Διδάσκων:* Τα υγρά είναι σχεδόν ασυμπίεστα, έτσι μια πίεση σ' ένα σημείο του μεταδίδεται αμετάβλητη προς όλες τις κατευθύνσεις του υγρού.

### Φάση κοινωνικοποίησης

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες την πειραματική διάταξη και τον τρόπο που τη χρησιμοποίησε για τη μέτρηση της πίεσης που ασκεί ένα αέριο.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 4

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε ένα πείραμα διόγκωσης ενός φουσκωμένου μπαλονιού, χωρίς να εισάγετε επιπλέον ποσότητα αέρα σ' αυτό. Επιπλέον να προτείνετε ένα πείραμα σύνθλιψης αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στη συνέχεια να εκτελέσετε τα πειράματα.**

### Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε ένα πείραμα διόγκωσης ενός φουσκωμένου μπαλονιού, χωρίς να εισάγετε επιπλέον ποσότητα αέρα σ' αυτό. Επιπλέον να προτείνετε ένα πείραμα σύνθλιψης αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στη συνέχεια να εκτελέσετε τα πειράματα.*

### Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)

- Στο εσωτερικό ανοιχτών και κλειστών δοχείων περιέχεται αέρας. Ο αέρας και γενικά τα αέρια ασκούν πίεση, που δρα κάθετα στις επιφάνειες και έχει την ίδια τιμή σ' όλα τα σημεία των δοχείων.
- Κάθε σώμα που βρίσκεται μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα και γενικά μέσα σ' ένα αέριο δέχεται πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση δρα κάθετα σε όλες τις επιφάνειες του σώματος και έχει την ίδια τιμή.
- Η ατμοσφαιρική πίεση ισούται με την υδροστατική πίεση που ασκεί στη βάση της στήλη υδραργύρου ύψους 76 cm. Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης, σε χαμηλό υψόμετρο, είναι εξαιρετικά μεγάλη και στην επιφάνεια της θάλασσας ισούται με  $1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Η τιμή αυτή είναι ίση με την πίεση που ασκεί σε επιφάνεια  $1 \text{ m}^2$  σώμα μάζας περίπου 10 tn!





## Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Να φουσκώσουμε ένα μπαλόνι και να το βάλουμε σ' ένα δοχείο με ζεστό νερό. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη διαστολή του μπαλονιού. Έχουμε παρατηρήσει το αντίθετο, όταν βάζουμε ένα φουσκωμένο μπαλόνι στο ψυγείο, αυτό μαζεύεται.

*Διδάσκων:* Η ιδέα σας είναι ενδιαφέρουσα. Θα μπορούσατε να δώσετε μια εξήγηση γιατί αναμένετε το μπαλόνι να πάθει διαστολή;

*Φοιτητής:* Ο αέρας στο μπαλόνι θα ζεσταθεί και, όταν κάτι ζεσταίνεται, παθαίνει διαστολή.

*Διδάσκων:* Τι ακριβώς συμβαίνει με τα μόρια του αέρα και το αέριο διαστέλλεται;

*Φοιτήτρια:* Τα μόρια του αέρα που είναι μέσα στο μπαλόνι παίρνουν θερμότητα και διαστέλλονται.

*Διδάσκων:* Τα μόρια και τα άτομα ούτε διαστέλλονται ούτε συστέλλονται.

*Φοιτήτρια:* Όταν τα μόρια παίρνουν θερμότητα, κινούνται πιο έντονα και χτυπούν με μεγαλύτερη ταχύτητα στα τοιχώματα. Έτσι η πίεση αυξάνεται.

*Διδάσκων:* Γιατί ο αέρας στο μπαλόνι διαστέλλεται;

*Φοιτήτρια:* Η πίεση γύρω από το μπαλόνι από τον αέρα είναι η ίδια, η πίεση μέσα στο μπαλόνι μεγάλωσε.

*Διδάσκων:* Συνεπώς, η διαφορά πίεσης μέσα και έξω από το μπαλόνι είναι η αιτία διαστολής του. Θέλω στη συνέχεια να προτείνετε και ένα άλλο πείραμα το οποίο θα στηρίζεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσης.

### 2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Να βάλουμε ένα φουσκωμένο μπαλόνι μέσα σ' ένα μεγάλο μπουκάλι και στη συνέχεια να αφαιρέσουμε τον αέρα από το μπουκάλι. Τότε το μπαλόνι θα φουσκώσει περισσότερο.

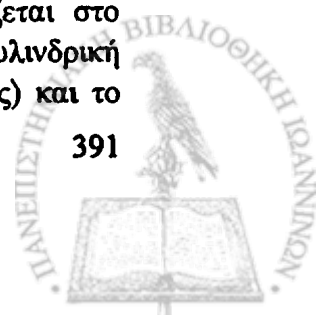
*Διδάσκων:* Ωραία. Σας δίνω μια μεγάλη κωνική φιάλη, που φέρει πλευρικό ακροφύσιο, και ένα μπαλόνι. Να μου προτείνετε έναν τρόπο για να εκτελέσουμε το πείραμα που προτείνετε.

*Ομάδα:* Το στόμιο του μπουκαλιού είναι μικρό και ένα φουσκωμένο μπαλόνι δεν χωράει. Επιπλέον, θα πρέπει να βρούμε έναν τρόπο να αφαιρέσουμε τον αέρα από τη φιάλη.

*Διδάσκων:* Άρα το μπαλόνι θα πρέπει να το φουσκώσουμε μέσα στη φιάλη. Στη συνέχεια να συνδέσουμε το ακροφύσιο της φιάλης με συσκευή άντλησης αέρα και τη φιάλη να την κλείσουμε αεροστεγώς.

## Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Πήραμε το μπαλόνι και το φουσκώσαμε - ξεφουσκώσαμε 2-3 φορές για να μαλακώσει. Στην οπή πλαστικού μονοδιάτρητου πώματος, που προσαρμόζεται στο στόμιο της φιάλης, περάσαμε πλαστικό σωλήνα που στο ένα άκρο του έχει κυλινδρική διεύρυνση με σπές (ο σωλήνας αυτός χρησιμοποιείται στους ιατρικούς ορούς) και το



άλλο άκρο του εξέχει από το πώμα. Στο κυλινδρικό άκρο του σωλήνα προσαρμόσαμε το στόμιο του μπαλονιού και το σταθεροποιήσαμε με πλαστικό σφικτήρα.

Εισάγαμε το ξεφούσκωτο μπαλόνι στην κωνική φιάλη και κλείσαμε τη φιάλη με το πώμα. Το άλλο άκρο του σωλήνα το συνδέουμε μέσω σωλήνα με τη φούσκα μανομέτρου. Μισοφουσκώσαμε το μπαλόνι με τη βοήθεια της φούσκας και κλείσαμε τη βαλβίδα, ώστε ο όγκος του μπαλονιού να παραμένει σταθερός.

Προσαρμόζουμε στεγανά το ένα άκρο μαλακού πλαστικού σωλήνα στο πλευρικό ακροφύσιο της κωνικής φιάλης και το άλλο άκρο το προσαρμόζουμε στο άκρο σύριγγας 100 ml. Το έμβολο της σύριγγας το έχουμε σπρώξει ώστε να βρίσκεται στη βάση της σύριγγας. Στη συνέχεια τραβάμε το έμβολο της σύριγγας προς τα έξω. Επαναλαμβάνουμε σπρώχνοντας το έμβολο προς τα μέσα και πάλι προς τα έξω. Παρατηρήσαμε ότι το μπαλόνι διαστέλλεται και συστέλλεται.

### Φάση αξιολόγησης

*Διδάσκων:* Η πειραματική διαδικασία γίνεται αποδεκτή. Αν στη θέση της σύριγγας είχαμε μια αντλία αέρα και αφαιρούσαμε συνέχεια ποσότητα αέρα από τη φιάλη, το μπαλόνι μέσα στη φιάλη θα φούσκωνε μέχρι να αγγίζει τα τοιχώματα της φιάλης.

### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

*Διδάσκων:* Έχουμε φουσκώσει το μπαλόνι και δεν έχουμε προσαρμόσει στο πλευρικό ακροφύσιο της κωνικής φιάλης το σωλήνα με τη σύριγγα. Πόση είναι η πίεση που ασκεί ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο μπαλόνι;

*Φοιτήτρια:* Όταν το ακροφύσιο της κωνικής φιάλης είναι ανοιχτό, ο αέρας μέσα στην κωνική φιάλη επικοινωνεί με τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα. Η πίεση του αέρα στη φιάλη είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Ο όγκος του μπαλονιού παραμένει σταθερός. Άρα η πίεση του αέρα μέσα στο μπαλόνι εξισορροπεί την εξωτερική ατμοσφαιρική.

*Διδάσκων:* Γιατί, όταν τραβήξαμε το έμβολο της σύριγγας προς τα έξω, ο όγκος του μπαλονιού μεγάλωσε;

*Φοιτήτρια:* Όταν το έμβολο της σύριγγας τραβηχτεί προς τα έξω, ο κύλινδρος της σύριγγας γεμίζει αέρα. Μια ποσότητα του αέρα που βρισκόταν μέσα στη φιάλη τώρα έχει πάει και στη σύριγγα. Γι' αυτό η πίεση στη φιάλη μικραίνει.

*Διδάσκων:* Γιατί, όταν ορισμένη ποσότητα αέρα κατανέμεται σε μεγαλύτερο όγκο, η πίεση που ασκεί μικραίνει.

*Φοιτητής:* Η πυκνότητα του αέρα γίνεται μικρότερη, ο αέρας κατανέμεται σε μεγαλύτερο όγκο. Έτσι η πίεση του αέρα που περιβάλλει το μπαλόνι ελαττώθηκε. Η πίεση του αέρα μέσα στο μπαλόνι παρέμεινε σταθερή.

*Διδάσκων:* Γιατί, όταν η πυκνότητα του αέρα στην φιάλη ελαττωθεί, η πίεση που ασκεί ελαττώνεται;

*Φοιτήτρια:* Από την καταστατική εξίσωση των αερίων,  $P.V = n.R.T$ , όταν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και ο όγκος αυξάνεται η πίεση που ασκεί το αέριο



πρέπει να ελαττώνεται.

**Διδάσκων:** Σωστά, αυτή είναι μια εξήγηση με τη βοήθεια της καταστατικής. Επανερχόμενος στο θέμα της πυκνότητας, σας υπενθυμίζω ότι, η πίεση που ασκεί ένα αέριο εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα των μορίων του και από την πυκνότητά του. Η μέση ταχύτητα των μορίων ενός αερίου εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή. Όταν η πυκνότητα του αερίου ελαττώνεται, τότε η μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων (η μέση απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων) αυξάνεται και ο αριθμός των κρούσεων των μορίων ανά μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου ελαττώνεται. Άρα και η πίεση που ασκεί το αέριο.

Συμπερασματικά, ας συγκρατήσουμε ότι, η διαφορά πίεσης μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας κλειστού δοχείου, εν προκειμένω του μπαλονιού, μπορεί να προκαλέσει την παραμόρφωσή του.

**Δεύτερο σκέλος του προβλήματος:** Σύνθλιψη αλουμινένιου κουτιού ή πλαστικής φιάλης με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης

1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

• Όταν στο φαρμάκιο τατιά χάρκων αφαιρέσουμε το υγρό αλλά συνεχίζουμε να ρουφάμε τότε το υαλί κοβξεύεται γιατί θραλίει ένα μεγάλο μέρος του αέρα.

~~Πορφόια στο αλουμίνιο τατιά ή πλαστική φιάλη κοβξεύει να κοβξεύει τον πίεση μέσω της στο δοχείο με τη βοήθεια μιας αντλίας.~~

**Διδάσκων:** Το προηγούμενο πρόβλημα σας βοήθησε. Τώρα τα πράγματα είναι για σας πιο εύκολα. Αυτή εδώ είναι μια χειροκίνητη αντλία (hand pump-1013), που χρησιμοποιείται κυρίως σε σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για άντληση αέρα. Το όριο του κενού από την άντληση του αέρα που μπορεί να πετύχει δεν είναι μεγαλύτερο από 1 Torr, δηλαδή 133,3 Pa ( $1 \text{ Atm} = 760 \text{ Torr} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ).

Για την άντληση του αέρα από ένα δοχείο, συνδέουμε το δοχείο με την αντλία μέσω ενός σκληρού λαστιχένιου σωλήνα. Δεν μπορείς να χρησιμοποιήσεις ένα μαλακό, διότι ο σωλήνας γίνεται επίπεδος και κλείνει. Περιστρέφοντας το χειροκίνητο τροχό αντλεις αέρα. Συνεχίζοντας την περιστροφή του τροχού αφαιρείς όλο και περισσότερο αέρα μέχρι να



φτάσεις σ' ένα ορισμένο κενό. Η άρθρωση άντλησης είναι μέσα στη συσκευή και η άρθρωση εξαγωγής στο πάνω μέρος της.

### Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Πήραμε μια άδεια πλαστική φιάλη αναψυκτικού 1,5L. Προσαρμόσαμε στο στόμιο της φιάλης πλαστικό μονοδιάτρητο πώμα και στην οπή του προσαρμόσαμε το μεταλλικό ακροφύσιο του σωλήνα άντλησης. Κλείσαμε τη στρόφιγγα του σωλήνα και πιέσαμε τη φιάλη. Παρατηρήσαμε ότι τα τοιχώματά της δεν υποχωρούν, πράγμα που σημαίνει ότι είναι πλήρης αέρα. Ανοίξαμε τη στρόφιγγα και αρχίσαμε να αντλούμε τον αέρα, περιστρέφοντας τον τροχό της αντλίας.

Καθώς αντλούσαμε τον αέρα, τα τοιχώματα της φιάλης παραμορφώνονταν και τα τοιχώματα της στο τέλος σχεδόν επιτεδοποιήθηκαν.

### Φάση ερμηνείας των αποτελεσμάτων

*Διδάσκων:* Να ερμηνεύσουμε γιατί, καθώς αντλούμε τον αέρα από τη φιάλη, η φιάλη παραμορφώνεται.

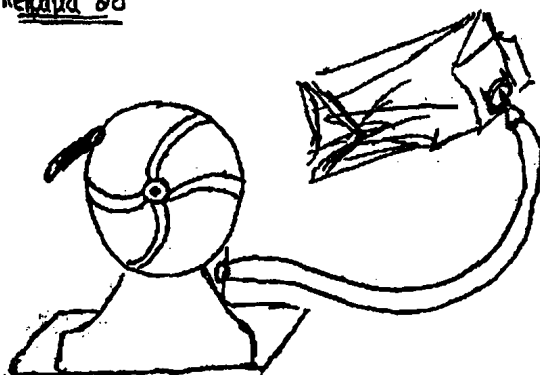
*Φοιτήτρια:* Η πίεση γύρω από τη φιάλη είναι η ατμοσφαιρική και παραμένει σταθερή. Καθώς αφαιρούμε αέρα μέσα από τη φιάλη η πίεση μέσα στη φιάλη μικραίνει.

*Διδάσκων:* Η διαφορά πίεσης μέσα και έξω από τη φιάλη είναι αυτή που δημιουργεί την παραμόρφωση. Θα ήθελα να επαναλάβετε γιατί αντλώντας αέρα από μια φιάλη η πίεση ελαττώνεται.

*Φοιτητής:* Τα μόρια του αέρα είναι λιγότερα, έχουμε λιγότερες κρούσεις των μορίων στα τοιχώματα της φιάλης, γι' αυτό η πίεση ελαττώνεται.

*Διδάσκων:* Επιπλέον δε η ταχύτητα των μορίων παραμένει σταθερή, αφού η θερμοκρασία του αερίου δεν μεταβάλλεται.

Κέφαλα θα



Χρησιμοποιώντας την αντλία μειώνουμε τον αέρα του εσωτερικού του μπουτιού. Η διαφορά πίεσης ατμοσφαιρικού αέρα μέσα και έξω από το μπουτί προκαλεί την σύνθλιψη του.

Εικόνα Π2-6. Σχέδιο και επεξήγηση της ομάδας για τη σύνθλιξη κουτιού με τη βοήθεια αντλίας.

### Σύνθλιψη αλουμινένιου κουτιού με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης χωρίς τη χρήση αντλίας

*Διδάσκων:* Θα προσπαθήσουμε να συνθλίψουμε αυτό το άδειο αλουμινένιο κουτί αναψυκτικού 330 ml, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε αντλία. Αυτό θα γίνει μ' έναν ας πούμε «φυσικό τρόπο». Το ερώτημα που τίθεται είναι πως θα ελαττώσουμε την πίεση στο εσωτερικό του κουτιού.

#### 1<sup>η</sup> πρόταση

Να θερμάνουμε ισχυρά το αλουμινένιο κουτί, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας θα συνθλιβεί.

*Διδάσκων:* Όταν τα μέταλλα θερμαίνονται, διαστέλλονται ή συστέλλονται; Πάντως δεν συνθλιβονται, όπως συνέβη με την πλαστική φιάλη.

Αν μέσα στο δοχείο βάλουμε μικρή ποσότητα νερού, περίπου 20 ml, και θερμάνουμε το κουτί τι λέτε να συμβεί σε σχέση με τον αέρα μέσα σ' αυτό;

**Φοιτήτρια:** Το κουτί θα γεμίσει υδρατμούς και αυτοί θα φεύγουν από το άνοιγμά του.

*Διδάσκων:* Με την ποσότητα του αέρα μέσα στο κουτί τι θα συμβεί;

**Φοιτητής:** Ο αέρας θα ζεσταθεί, και ένα μέρος του θα φύγει από το κουτί.

*Διδάσκων:* Ωραία, στο κουτί θα έχουμε λιγότερο αέρα και θα είναι πλήρης υδρατμών. Οι υδρατμοί, ως υγρό σε αέρια κατάσταση, ασκούν πίεση. Αν τους υδρατμούς τους ψύξουμε απότομα τι λέτε να συμβεί με την πίεση στο εσωτερικό του δοχείου;

**Φοιτήτρια:** Θα γίνουν νερό και το νερό δεν ασκεί πίεση.

*Διδάσκων:* Οπότε αναμένουμε η πίεση στο εσωτερικό του δοχείου να ελαττωθεί απότομα, ενώ όπως είδαμε στα προηγούμενα πειράματα η εξωτερική πίεση, η ατμοσφαιρική, παραμένει η ίδια. Ανακεφαλαιώσετε όσα είπαμε και προσπαθήστε να εκτελέσετε το πείραμα.

**Φοιτήτρια:** Πώς θα ψύξουμε τους υδρατμούς μέσα στο κουτί;

*Διδάσκων:* Σ' αυτό το κουτί με φελιζόλ υπάρχουν παγάκια. Να γεμίσετε μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  αυτή τη γυάλινη λεκάνη με νερό και να βάλετε παγάκια.



## Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Βάζουμε λίγο νερό στο κουτί και το κλείνουμε στο μαφάκι με τα υφάσματα εκεί μέσα να βράσει το νερό όπως δημιουργούνται υδρατμοί (μέσω υδροσφαιρικών βλατών ο αέρας) έπειτα το γρήγορα γρήγορα σε δοχείο με κρύο νερό φροντίζοντας το να δέσει αυτόματα έχουμε σύνθλιψη το κουτιού. Έτσι έχουμε το κλειστό αεροσφαιρικό.

## Φάση ερμηνείας των αποτελεσμάτων

**Διδάσκων:** Τι ακριβώς συμβαίνει, όταν βυθίζουμε ανεστραμμένο το κουτί, που είναι γεμάτο υδρατμούς, στη λεκάνη με το κρύο νερό;

**Φοιτητής:** Αντιστρέφοντας το κουτί και βυθίζοντάς το μέσα στη λεκάνη με το κρύο νερό, οι υδρατμοί σ' αυτό υγροποιούνται. Κατά την υγροποίηση οι υδρατμοί μετατρέπονται από την αέρια στην υγρή κατάσταση. Οι υδρατμοί, ως αέριο, ασκούν πίεση στα τοιχώματα του κουτιού, ενώ όταν συμπυκνωθούν δεν ασκούν. Η εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση σ' όλη τη διαδικασία παραμένει σταθερή, ενώ κατά τη συμπύκνωση των υδρατμών η πίεση στο εσωτερικό του κουτιού ελαττώνεται σε μεγάλο βαθμό. Η δημιουργούμενη διαφορά πίεσης μέσα και έξω από το κουτί είναι η αιτία που προκαλεί τη σύνθλιξή του.

**Διδάσκων:** Επιπλέον, όταν αντιστρέφουμε το κουτί και το βυθίζουμε μέσα στη λεκάνη με το νερό «κλείνουμε» την οπή του, για να μη μπορεί να μπει αέρας. Αν το κουτί το βυθίσετε όρθιο μέσα στη λεκάνη με το κρύο νερό, το κουτί δεν θα συνθλιβεί.

**Διδάσκων:** Γιατί, όταν ανασύρουμε το κουτί από τη λεκάνη, από την οπή του βγαίνει νερό;

**Φοιτήτρια:** Η εισροή νερού στο κουτί αποδεικνύει ότι στο εσωτερικό του η πίεση ελαττώθηκε. Η ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται στην επιφάνεια του νερού της λεκάνης καθώς και η υδροστατική πίεση από το νερό είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μειωμένη πίεση στο εσωτερικό του κουτιού. Η διαφορά πίεσης μέσα και έξω από το κουτί είναι η αιτία εισροής του νερού.

## Φάση κοινωνικοποίησης

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες τα προβλήματά της και τον τρόπο που τα διαπραγματεύτηκε. Κατά την παρουσίαση της σύνθλιψης του αλουμινένιου κουτιού επικράτησε ενθουσιασμός.



## ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 5

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της σχέσης μεταξύ πίεσης και όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.**

### Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της σχέσης μεταξύ πίεσης και όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*

### Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)

- Η μεταβολή πίεσης – όγκου ορισμένης ποσότητας αερίου (υπό σταθερή θερμοκρασία) ακολουθεί ένα συγκεκριμένο νόμο.
- ➤ Για τη μέτρηση της πίεσης αερίου χρησιμοποιούμε μανόμετρο.
- Για τη μέτρηση της μεταβολής του όγκου, ορισμένης ποσότητας αερίου, χρησιμοποιούμε ογκομετρικό κύλινδρο, που η μια του βάση κλείνεται με έμβολο.
- Για να δείξουμε τον τρόπο μεταβολής δύο μεγεθών, πρέπει οι μετρήσεις μας να υπακούουν σε μια μαθηματική σχέση.
- Οι πειραματικοί νόμοι των αερίων ερμηνεύονται στο πλαίσιο της κινητικής θεωρίας των ιδανικών αερίων.

### Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

#### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Να συνδέσουμε ένα μανόμετρο μ' ένα δοχείο που περιέχει αέρα. Το δοχείο να έχει ένα έμβολο που να εφαρμόζει στεγανά. Όταν το έμβολο το σπρώχνουμε προς τα μέσα, η πίεση θα μεγαλώνει, όταν το έμβολο το τραβάμε προς τα έξω, η πίεση θα μικραίνει.

*Διδάσκων: Δε διαφωνώ με την ιδέα σας, αλλά για να καταλήξουμε πειραματικά σε μια σχέση πίεσης-όγκου θα πρέπει να μετράμε και να καταγράφουμε τα δύο μεγέθη μ' ένα συστηματικό τρόπο.*

*Υπάρχουν δύο κατηγορίες μανομέτρων, τα μανόμετρα με υγρά και τα μεταλλικά (έδειξα ένα ανοιχτό μανόμετρο υδραργύρου και ένα μεταλλικό). Ποιο μανόμετρο νομίζετε ότι θα μας εξυπηρετούσε καλύτερα; Επίσης όπως είπαμε δεν φτάνει να μεταβάλλουμε τον όγκο ορισμένης ποσότητας αερίου, αλλά θα πρέπει κάθε φορά να γνωρίζουμε και την τιμή του όγκου της.*

*Επιπλέον, να κάνετε ένα καταμερισμό και ένα συντονισμό εργασιών. Ένας θα πρέπει να μετράει τον όγκο του αερίου, άλλος την πίεση. Οι μετρήσεις θα πρέπει να καταγράφονται και οι υπόλοιποι να παρακολουθούν και να εποπτεύουν.*



2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Πρόβλημα 5

Θέλουμε να αποδείξουμε πειραματικά τη σχέση μεταξύ πίεσης ( $p$ ) και όγκου ( $V$ ) ορισμένης ποσότητας αερίου. Για σκοπεύω η οποία είναι εύκολη για αυτό το σκοπό είναι η συσκευή η οποία μετράει τον όγκο που του αερίου που υπάρχει μέσα της και συγχρόνως (έξωτερικά μετράει) τον όγκο αυτού χάρη το εμβόλο που διαδέτε. Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε ένα μανόμετρο για να μετρήσουμε την πίεση του αερίου. Επίσης το πείραμα πρέπει να γίνει σε ορισμένη ποσότητα αερίου θα τοποθετήσουμε στον αέρα της πρίζας ένα σπινάκι σωλήνα, τον οποίο θα σφραγίσουμε με το μανόμετρο.

*Διδάσκων:* Δεν αποφασίσαμε ποιο μανόμετρο θα χρησιμοποιήσουμε.

*Φοιτήτρια:* Το μεταλλικό φαίνεται πιο σίγουρο. Ο υδράργυρος μπορεί να χυθεί και δεν μαζεύεται. Με υδραργυρικό μανόμετρο δεν ξέρουμε να μετράμε την πίεση, ενώ στο μεταλλικό, απλώς, θα διαβάζουμε ότι δείχνει η βελόνα.

*Διδάσκων:* Κι'εγώ θα σας πρότεινα το μεταλλικό περισσότερο για λόγους ασφαλείας σε σχέση με του υδραργύρου. Όμως και με το μεταλλικό μανόμετρο τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Θα πρέπει να εξοικειωθούμε με την κλίμακα μέτρησής του και βέβαια η βελόνα δεν θα πρέπει να φτάσει στη μέγιστη τιμή.

**Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού**

Από τον διδάσκοντα στερεώνεται ένα μεταλλικό μανόμετρο κλίμακας 0 - 1,6 bar ή 0-1600 mbar σε κατακόρυφη θέση, με τη βοήθεια λαβίδας σφικτήρα, που είναι στερεωμένος σε ορθοστάτη. Το ύψος του μανομέτρου είναι ίσο περίπου με το ύψος των ματιών των φοιτητών. Το μανόμετρο είναι στερεωμένο στο ένα άκρο σταυροειδούς μεταλλικού σωλήνα. Στα δύο άλλα άκρα υπάρχουν μεταλλικά ακροφύσια, για να μπορούν να προσαρμίζονται στεγανά πλαστικοί σωλήνες και μεταλλικές στρόφιγγες, για να επιτρέπουν την είσοδο ή μη αερίου. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήσαμε μόνο το ένα ακροφύσιο.

Το ένα άκρο πλαστικού σωλήνα το προσαρμόσαμε στο μεταλλικό ακροφύσιο του μανομέτρου και το άλλο σε πλαστική σύριγγα των 100 ml. Οι στρόφιγγες είναι ανοιχτές





(παράλληλες με τα ακροφύσια). Εισάγουμε το έμβολο της σύριγγας και το σταματάμε στην ένδειξη 100 ml. Η ένδειξη του μανομέτρου πρέπει να είναι στη θέση μηδέν. Συνεπώς, το μηδέν του μανομέτρου αντιστοιχεί σε πίεση 1Atm ή περίπου 1000 mbar (1bar = 0,986 Atm). Κλείσαμε τις στρόφιγγες εκτός απ'αυτή που είναι στο ακροφύσιο που έχουμε συνδέσει το σωλήνα.

Στη συνέχεια εξήγησα στην ομάδα τον τρόπο που θα παρθούν μετρήσεις από το μανόμετρο. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών υποδιαίρέσεων, μια μικρή και μια μεγάλη γραμμή, αντιστοιχεί σε 50 mbar. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μεγάλων γραμμών αντιστοιχεί σε 100 mbar. Σε κάθε ένδειξη του μανομέτρου θα προστίθενται τα αρχικά 1000 mbar. Η σύριγγα έχει υποδιαίρέσεις ανά 5 ml. Η διάταξη δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια σε μετρήσεις, όταν ο όγκος του αερίου ελαττώνεται σιγά-σιγά ανά 5 ml. Ο όγκος του αέρα στο μεταλλικό σωλήνα, που είναι στερεωμένο το μανόμετρο, και στον πλαστικό σωλήνα που συνδέει το μανόμετρο με τη σύριγγα είναι 10 ml. Συνεπώς, σε κάθε ένδειξη όγκου της σύριγγας θα προσθέτουμε 10 ml.

Μετακινούμε το έμβολο της σύριγγας ανά 5 ml, φροντίζοντας το έμβολο να μην επανέρχεται στην αρχή του θέσης, κάθε φορά που θέλουμε να πάρουμε νέα μέτρηση και διαβάζουμε την αντίστοιχη ένδειξη του μανομέτρου. Η ομάδα αφού έκανε έναν αριθμό προκαταρκτικών μετρήσεων πήρε τις παρακάτω τιμές πίεσης-όγκου.

**Φάση αξιολόγησης**

*Μετρήσεις P-V*

Όγκος (σε ml) (ένδειξη σύριγγας + 10 ml)	Πίεση (σε mbar) (ένδειξη μανόμετρου + 1000 mbar)	P.V
110	1000	110.000
105	1090	114.450
100	1140	114.000
95	1125	113.525
90	1250	112.500
85	1310	111.350
80	1375	110.000
70	1450	108.750
65	1550	108.500
	1655	107.500

Πίνακας Π2-1. Μετρήσεις πίεσης- όγκου που πήρε η ομάδα

**Διδάσκων:** Από τις μετρήσεις σας, τι παρατηρείτε για τον τρόπο που μεταβάλλεται η πίεση και ο όγκος του αερίου;

**Φοιτητής:** Όταν μειώνεται ο όγκος του αερίου, αυξάνεται η



πίεση. Τα ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα.

**Διδάσκων:** Πώς με τη βοήθεια των μαθηματικών διαπιστώνουμε ότι δύο ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα; Ποια είναι η μαθηματική έκφραση δύο μεγεθών που μεταβάλλονται αντιστρόφως ανάλογα.

**Φοιτήτρια:** Όταν διπλασιάζεται το ένα, το άλλο γίνεται το μισό.

**Διδάσκων:** Με βάση τις μετρήσεις μας αυτό δεν μπορούμε να το διαπιστώσουμε. Από τα μαθηματικά σας γνωρίζετε τη σχέση  $y=a/x$ . Τα μεγέθη  $y$ ,  $x$  είναι αντιστρόφως ανάλογα, γιατί το γινόμενο τους είναι σταθερό.

Η ομάδα σχημάτισε το γινόμενο των αντίστοιχων τιμών πίεσης-όγκου (τρίτη στήλη του πίνακα Π2-1).

**Διδάσκων:** Παρατηρούμε ότι οι τιμές του γινομένου  $P \cdot V$ , να μεν δεν είναι σταθερές, αλλά η διαφορά τους από τη μέση τιμή (111.097 ml · mbar) για κάποια ζεύγη τιμών είναι μεγαλύτερη και για κάποια άλλα είναι μικρότερη. Επιπλέον, οι διαφορές των γινομένων είναι της τάξεως των λίγων χιλιάδων, που είναι αμελητέες σε σχέση με τις δεκάδες χιλιάδες που είναι η τάξη μεγέθους του γινομένου  $P \cdot V$ . Συνεπώς, το γινόμενο μπορεί να θεωρηθεί σταθερό και οι μικρές διακυμάνσεις των τιμών, που παρατηρούνται, είναι «φυσιολογικές» στα πλαίσια ενός πειράματος. Τώρα μπορούμε να ισχυριστούμε ότι τα μεγέθη πίεση- όγκος είναι αντιστρόφως ανάλογα.

#### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

**Διδάσκων:** Για τη μεταβολή των μεγεθών πίεση-όγκος η ποσότητα του αέρα παραμένει σταθερή, και θεωρήσαμε ότι και η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή. Παραμένει πράγματι η θερμοκρασία του αερίου κατά τη διάρκεια του πειράματος σταθερή; Αν όχι, πώς θα μπορούσαμε να επιτύχουμε σταθερή θερμοκρασία;

**Φοιτητής:** Για τη μετακίνηση του εμβόλου της σύριγγας, με το ένα χέρι μετακινούμε το έμβολο και με το άλλο κρατάμε δυνατά τον κύλινδρο της σύριγγας, ιδιαίτερα όταν ο όγκος του αέρα μικραίνει πολύ. Κάποια ποσότητα θερμότητας από το χέρι μας μεταφέρεται στο αέριο. Επιπλέον το λαστιχάκι που έχει το έμβολο της σύριγγας, για να πετυχαίνεται στεγανότητα, βρίσκεται σε επαφή με το εσωτερικό του κυλίνδρου και αναπτύσσεται λόγω τριβής θερμότητα. Άρα η μεταβολή δεν είναι και τόσο ισόθερμη.

**Διδάσκων:** Πολύ σωστά, και αυτό θα μπορούσε να είναι και μια εξήγηση για τις διακυμάνσεις των τιμών του γινομένου  $P \cdot V$ . Η μεταβολή όμως αυτή της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις τιμές πίεσης – όγκου. Για να επιτύχουμε σταθερή τη θερμοκρασία του αερίου, κατά τη διάρκεια του πειράματος, θα πρέπει να μετακινούμε αργά το έμβολο, και η σύριγγα να βρίσκεται σε ένα σχετικά μεγάλο δοχείο με νερό, ώστε το αέριο να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία, ίση με τη θερμοκρασία του νερού.

**Διδάσκων:** Με βάση την σωματιδιακή δομή των αερίων μπορούμε να εξηγήσουμε το νόμο του Boyle;

**Φοιτήτρια:** Όσο το αέριο περιορίζεται σε μικρότερο όγκο, τόσο τα μόρια θέλουν να επανέλθουν στον αρχικό τους όγκο και ασκούν μεγαλύτερη πίεση.



*Διδάσκων:* Αυτή η εξήγηση δεν λαμβάνει υπόψη της το μοντέλο της κινητικής θεωρίας. Θυμηθείτε ότι τα μόρια αερίου είναι πολύ μικρές ελαστικές σφαίρες, κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις και χτυπούν στα τοιχώματα του δοχείου.

*Φοιτήτρια:* Όσο ο χώρος που κινούνται τα μόρια μικραίνει τόσο πιο πολλές φορές χτυπούν τα μόρια στα τοιχώματα και η πίεση μεγαλώνει.

*Διδάσκων:* Η απάντησή σας είναι σωστή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή θεωρήσαμε τη θερμοκρασία σταθερή, η μέση ταχύτητα των μορίων του αερίου παραμένει σταθερή. Όταν όμως ο χώρος στον οποίο κινούνται τα μόρια του αερίου ελαττώνεται, τότε ο αριθμός των μορίων ανά μονάδα όγκου αυξάνεται. Η πυκνότητα του αερίου αυξάνεται και ο αριθμός των κρούσεων ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται. Συνεπώς και η πίεση που ασκεί το αέριο. Συγκεκριμένα, αν ο όγκος του αερίου γίνει ο μισός (υποδιπλασιαστεί), η πυκνότητα του αερίου διπλασιάζεται. Τότε ο αριθμός των κρούσεων διπλασιάζεται και η πίεση που ασκεί το αέριο διπλασιάζεται.

### **Φάση κοινωνικοποίησης**

Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες την πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε, τις μετρήσεις της, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο κατέληξε ότι η πίεση που ασκεί ποσότητα αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του, όταν η θερμοκρασία του θεωρηθεί ότι παραμένει σταθερή.

**Παρατήρηση:** Σε διάφορους εργαστηριακούς οδηγούς χημείας (Vlassis, 1978, pp. 80-85, Hered & Nebergall, 1968, pp. 49-58, Μπουρούτη, 1984, σ. 147-157), που απευθύνονται κυρίως σε μαθητές λυκείου και σε σπουδαστές κολεγίων, βρήκαμε μια ποικιλία πειραματικών διατάξεων για την επαλήθευση του νόμου του Boyle. Η διάταξη που χρησιμοποιήσαμε εδώ, καθώς και στα άλλα θέματα-προβλήματα, είναι ένας συγκεκριμένος εργαστηριακός υποδομής, που διαθέταμε, εργαστηριακής εμπειρίας των φοιτητών και των χρονικών περιορισμών μέσα στους οποίους εργαστήκαμε.

## **ΠΡΟΒΛΗΜΑ 6 – ΟΜΑΔΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ 6**

**Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σ' ένα μπουκάλι coca-cola. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.**

### **Φάση μεταβίβασης (διδάσκων)**

*Να συζητήσετε ως ομάδα και να προτείνετε έναν τρόπο πειραματικής εύρεσης της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σ' ένα μπουκάλι coca-cola. Στη συνέχεια να εκτελέσετε το πείραμα.*



### Φάση οικειοποίησης (ομάδα και διδάσκων)

Στα υγρά διαλύονται και αέρια. Η διαλυτότητα αερίου σε υγρό εξαρτάται:

- 1) Από τη φύση του υγρού (διαλύτης) και τη φύση του αερίου (της διαλυμένης ουσίας). Π.χ. το οξυγόνο διαλύεται σε μικρό ποσοστό στο νερό, ενώ η αμμωνία σε πολύ μεγάλο.
- 2) Η διαλυτότητα αερίου σε υγρό αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης.
- 3) Η διαλυτότητα αερίου σε υγρό αυξάνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας.

Σε πολλά αεριούχα ποτά, όπως σόδα, sprite, coca-cola, κ.ά., είναι διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα, γιατί δίνει σ' αυτά ευχάριστη γεύση.

### Φάση διαμόρφωσης πειραματικής διαδικασίας

#### 1<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

τοκάσαμε το μπύρα και είδαμε το αυστιακό, ως coca-cola. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το περιεχόμενο του μπυρακιού αντιστοιχεί σε 500 ml.

Θάλαμε να βρούμε τον <sup>αέριο</sup>  $\text{CO}_2$  που βρίσκεται σ' ένα μπυρακι coca-cola. Ξέραμε ότι ο όγκος της coca-cola είναι 500 ml. Θα χύκαμε τα 500 ml της coca-cola σ' ένα δοκιμαστικό σωλήνα που αναγράφεται τα ml και μετά από ~~βραση~~ <sup>πείραξη</sup> της coca-cola το αέριο  $\text{CO}_2$  θα εκλυθεί στον αέρα. Άρα η στάθμη της coca-cola θα είναι ελάχιστα πάνω από 500 ml που είναι ο αρχικός όγκος της coca-cola. Τέλος αφού Ξέραμε ότι ο όγκος της coca-cola είναι 500 ml θα αφαιρούσαμε τον τελικό όγκο της που δει έχει  $\text{CO}_2$  κι έτσι θα βρούμε τον όγκο  $\text{CO}_2$ .

Διδάσκων: Βασικά η ιδέα σας θεωρεί, σωστά, την coca-cola ως ένα ομογενές μίγμα και θέλει να διαχωρίσει το αέριο συστατικό από τα άλλα. Βέβαια όπως γνωρίζετε, όταν θερμαίνουμε ένα διάλυμα, εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο πράγματι θα διαφύγει, θα εξατμιστεί και ένα μέρος από το νερό. Επιπλέον, καθώς θα θερμαίνουμε το διάλυμα της coca-cola, το διοξείδιο του άνθρακα και οι ατμοί θα συσσωρευτούν πάνω από το δοκιμαστικό σωλήνα. Η πίεση πάνω από το δοκιμαστικό σωλήνα θα αυξηθεί και αυτό θα εμποδίζει την περαιτέρω διαφυγή του διοξειδίου. Μια τέτοια μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα δεν θα είναι αξιόπιστη.



2<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Όπως υπάρχει διοξείδιο του άνθρακα στο μπουκάλι, το οποίο  
 φράσσεται με περιτόπιση που το ανακινήσαμε, Αυτό το αντι-  
 λαμβανόμεθα με την εμφάνιση αφρού και μέσω του κορυ-  
 κτηρικού ήχου που ακούχεται κατά το άνοιγμά του.  
 Αρα την ουσία πρέπει να μετρήσουμε την υπερεκτικώσεως του  
 διοξειδίου του άνθρακα στο μπουκάλι, αφού πρώτα το κενώ-  
 ρώσουμε και από. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει:  
 α) Να χρησιμοποιήσουμε άλλο ένα μπουκάλι το οποίο θα  
 συνδέεται με το μπουκάλι της coca-cola μέσω ενός σωλήνα.  
 Έπειτα από καλή του μπουκάλι θα απελευθερωθεί το διοξείδιο  
 τον άνθρακα και θα μεταφερθεί στο άλλο. Το  $CO_2$  είναι αέριο  
 και δεν το φράζουμε μέσα στο μπουκάλι και δεν μπορούμε  
 να το μετρήσουμε επειδή καταλαμβάνει όλα το χώρο του δοχείου.

Διδάσκων: Ήδη θέσατε ένα ερώτημα, πώς συλλέγεται ένα αέριο, και πώς ταυτόχρονα θα μετρήσουμε τον όγκο του. Επιπλέον, στην ιδέα που αναφέρετε, όταν το δεύτερο άδειο μπουκάλι, που συνδέεται με το μπουκάλι με την coca-cola, μέσω σωλήνα, διοχετευτεί μια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, αυτή θα ασκεί πίεση και θα εμποδίζει την περαιτέρω διαφυγή του διοξειδίου του άνθρακα από το διάλυμα της coca-cola.

3<sup>η</sup> πρόταση (ομάδα)

Δ. Θα βάλουμε την coca-cola στον καπάκι να παρθεί και  
 να παρθεί, στο φράγμα το ταυτόχρονα θα παρθεί και  
 το διοξείδιο του άνθρακα και η coca-cola. Αφού έχει παρθεί  
 αφαιρούμε το μπουκάλι και στη θέση του φράγμα ένα μπουκάλι  
 μετά <sup>αφού θερμάνουμε την coca-cola</sup> ~~αφού θερμάνουμε την coca-cola~~ ~~αφού θερμάνουμε την coca-cola~~  
 απελευθερώνεται το  $CO_2$  και συλλέγεται στο μπουκάλι

Διδάσκων: Το καινούργιο στοιχείο σ' αυτή την πρόταση είναι ότι το μπουκάλι coca-cola, πριν το χρησιμοποιήσουμε, θα πρέπει να το έχουμε σε χαμηλή θερμοκρασία. Έτσι, όταν ανοίξουμε το μπουκάλι και τοποθετήσουμε στο στόμιο του ένα πώμα με σωλήνα, για να συλλέξουμε το διοξείδιο του άνθρακα, θα «προλάβει» να φύγει λιγότερο αέριο. Όσον

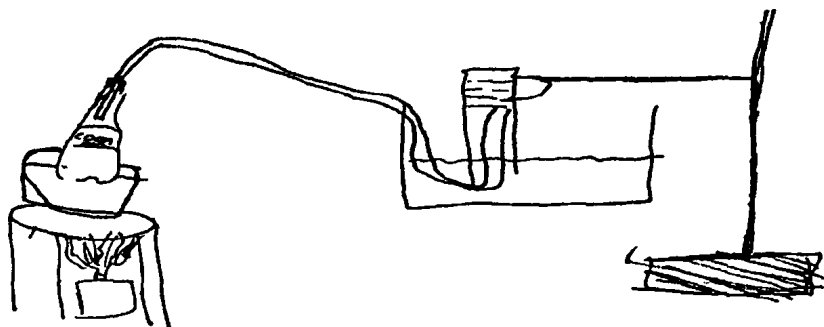


αφορά στο μπαλόνι, όταν σ' αυτό συλλεχθεί μια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, αυτή θα ασκεί πίεση στο διάλυμα και θα εμποδίζει την περαιτέρω συλλογή του αερίου.

Σας υπενθυμίζω ότι η διαλυτότητα αερίου σε υγρό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος και με τη μείωση της υπερκείμενης πίεσης στο διάλυμα. Πρέπει λοιπόν να σκεφτούμε έναν τρόπο, ώστε το διοξείδιο του άνθρακα που θα συλλέγουμε, η πίεσή του να μην επηρεάζει το εναπομένον στο μπουκάλι. Σ' όλα τα σχολικά βιβλία που είχατε από το δημοτικό μέχρι το λύκειο περιγράφεται με σχήματα και εικόνες ο τρόπος που συλλέγουμε ένα αέριο. Μια κοινή περίπτωση είναι η συλλογή υδρογόνου, που παράγεται κατά την αντίδραση υδροχλωρικού οξέος σε ψευδάργυρο.

### Φάση πραγματοποίησης του πειραματισμού

Τελικά, καταλήξαμε στην πειραματική διάταξη που περιγράφει παρακάτω το φύλο εργασίας που παρέδωσε η ομάδα. Ένα σχήμα της διάταξης που έγινε από φοιτητή της ομάδας παραθέτουμε.



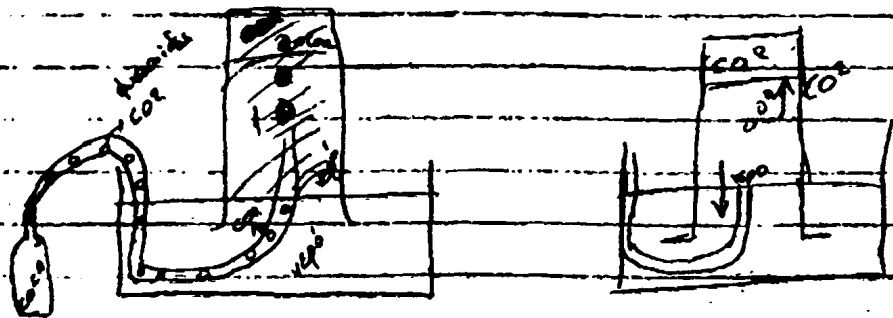
Εικόνα Π2-7. Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης από την ομάδα για την εύρεση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα σε μπουκάλι coca-cola.

Το τεχνικό μέρος για την κατακόρυφη τοποθέτηση κυλίνδρου γεμάτου με νερό πάνω σε μια λεκάνη, που περιέχει νερό κατά το 1/3 περίπου, έγινε από τον διδάσκοντα.

Στο πλαστικό πώμα, που προσαρμόστηκε στο στόμιο της πλαστικής φιάλης coca-cola, είχαμε περάσει, στεγανά, πλαστικό σωλήνα του οποίου το κάτω άκρο έφτανε λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα του μπουκαλιού. Σε όλη τη διαδικασία φροντίσαμε το μπουκάλι με την coca-cola να είναι σε χαμηλότερη θέση από τη βάση του ογκομετρικού κυλίνδρου, ώστε το διοξείδιο του άνθρακα που διαφεύγει να παρασέρνει μικρή ποσότητα διαλύματος.

Αρχικά, από το παγωμένο μπουκάλι coca-cola μια μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα εκτόπισε μια ποσότητα νερού από τον ογκομετρικό κύλινδρο. Στη συνέχεια εισάγαμε το μπουκάλι σε γυάλινο δοχείο με θερμό νερό (θερμοκρασίας γύρω στους 60 °C). Το νερό στο δοχείο το θερμαίναμε ήπια με λύχνο υγραερίου. Επιπλέον, πριν βγάλουμε το πώμα από το μπουκάλι της coca-cola, σημειώσαμε με ένα μαρκαδόρο τη στάθμη της στο μπουκάλι.

ΠΕΙΡΑΜΑ:



Αρχικά, έχουμε μια λεκάνη γεμάτη με νερό. Μετά βάζουμε το πρόβλημα σάπυδα ένα κύλινδρο (ογκομετρικό) που είναι κι αυτός γεμάτος με νερό. Θα ~~απορροφήσουμε~~ <sup>απορροφήσουμε</sup> την coca-cola και στο πύμα θα βυθίσουμε ένα σωληνάκι, το οποίο θα είναι

επιμήκιο με το σωληνάκι το νερό. Θα παρατηρήσουμε ότι οι φυσαλίδες το  $CO_2$  θα απελευθερωθεί με τη μορφή φυσαλίδων οι οποίες θα ανεβάναι προς τα πάνω στο σωληνάκι και το νερό θα αρχίσει να κινείται προς τα κάτω. Η διαφορά το κενό που θα δημιουργηθεί στο σωληνάκι θα είναι ίσο με τον όγκο του  $CO_2$ .  
\* ~~Μόλις~~ <sup>Μόλις</sup> ~~απορροφήσουμε~~ <sup>απορροφήσουμε</sup> να βγάλουν φυσαλίδες από την coca-cola τότε θα βάλουμε το μπουκάλι <sup>με coca-cola</sup> σε ζεστό νερό θα ξεκινήσουν να βγαίνουν φυσαλίδες αρκετές να πάρουμε όλο το δείκτη του κενού του νερού. Το θεωρούμε για να γίνει το αέριο έτσι μόνο.

**Φάση αξιολόγησης**

Ο όγκος του εκτοπιζόμενου νερού από τον κύλινδρο βρέθηκε ίσος με 445 ml. Αδειάσαμε την ποσότητα της coca-cola που έμεινε στο μπουκάλι και γεμίσαμε το μπουκάλι με νερό μέχρι το σημείο που είχαμε σημειώσει τη στάθμη της coca-cola, πριν την ανοίξουμε. Χύσαμε το νερό σε ογκομετρικό κύλινδρο και βρήκαμε τον ακριβή αρχικό όγκο του διαλύματος της coca-cola, ίσο με 480 ml. Η περιεκτικότητα της coca-cola σε διοξείδιο του άνθρακα βρέθηκε ίση με 94,7% κ.ό.



### Φάση ερμηνείας αποτελεσμάτων

**Διδάσκων:** Όταν βγάλαμε το καπάκι από το μπουκάλι της coca-cola και προσαρμόσαμε το πάμα με το σωλήνα, παρατηρήσαμε μια μικρή εκτόπιση ποσότητας νερού από τον κύλινδρο. Μετά από λίγο το νερό στον ογκομετρικό κύλινδρο σταμάτησε να εκτοπίζεται. Πώς εξηγείται την παρατήρηση αυτή;

**Φοιτήτρια:** Πάνω από τη coca-cola, πριν ανοίξουμε το μπουκάλι, είχε μαζευτεί διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό το διοξείδιο έφυγε στην αρχή.

**Διδάσκων:** Συμφωνώ εν μέρει με την απάντηση, διότι πιθανότητα έφυγε και ένα μικρό μέρος από διοξείδιο του άνθρακα που ήταν διαλυμένο μέσα στην coca-cola. Βγάζοντας το πάμα τι έγινε με την πίεση πάνω από το διάλυμα;

**Φοιτήτρια:** Η πίεση πάνω από το διάλυμα ελαττώθηκε και έτσι η διαλυτότητα, όπως είπαμε στην αρχή, μειώθηκε.

**Διδάσκων:** Όταν βγάλαμε τη φιάλη με την coca-cola στο δοχείο ζέσης με το θερμό νερό, παρατηρήσαμε καινούργιες φυσαλίδες και εκτοπισμό του νερού από τον ογκομετρικό κύλινδρο. Πώς εξηγείτε την παρατήρηση αυτή;

**Φοιτητής:** Αυξήθηκε η θερμοκρασία στο διάλυμα και έτσι έφυγε και το υπόλοιπο διοξείδιο του άνθρακα.

**Διδάσκων:** Γιατί, όταν αυξήθηκε η θερμοκρασία, έφυγε επιπλέον ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα;

**Φοιτητής:** Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του διαλύματος μικραίνει η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην coca-cola.

**Διδάσκων:** Αν κάποιος δύσπιστος ζητούσε να δείξετε ότι το αέριο που συλλέξατε ήταν πράγματι το διοξείδιο του άνθρακα, πώς θα τον πείθατε;

**Φοιτητής:** Το διοξείδιο του άνθρακα δίνει στα ποτά μια ελαφρά όξινη γεύση, τι άλλο αέριο να ήταν;

**Διδάσκων:** Στη χημεία για να ανιχνεύσουμε ένα αέριο και γενικά μια ουσία δεν στηριζόμαστε στις αισθήσεις μας.

**Φοιτήτρια:** Το διοξείδιο του άνθρακα το ανιχνεύουμε με ασβεστόνερο.

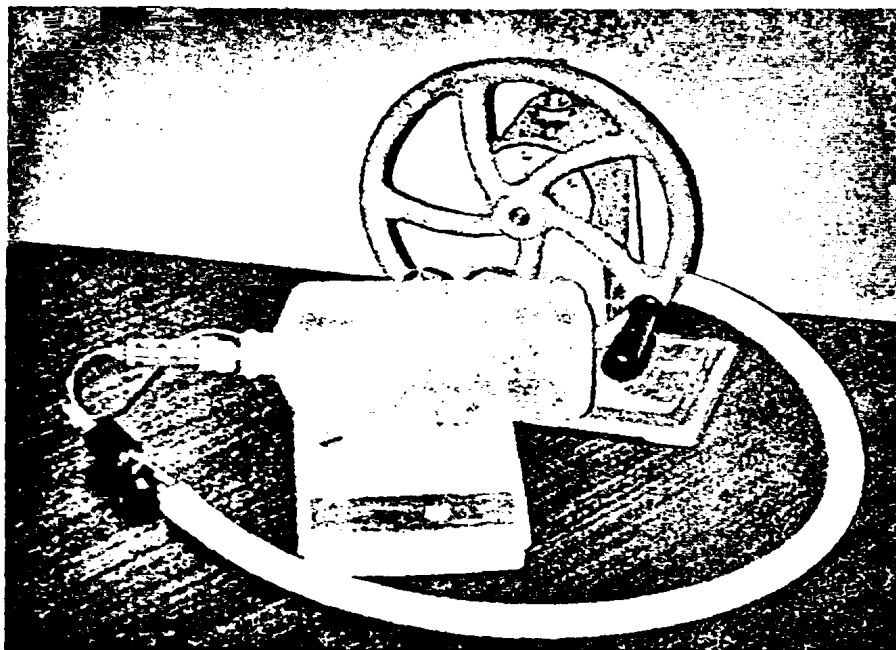
**Διδάσκων:** Πήρα ένα άλλο γεμάτο μπουκάλι coca-cola, προσάρμοσα το πάμα με τον πλαστικό σωλήνα και το άκρο του σωλήνα το εισήγαγα σε ένα γυάλινο δοχείο με ασβεστόνερο. Το διαυγές ασβεστόνερο θόλωσε.

### Φάση κοινωνικοποίησης

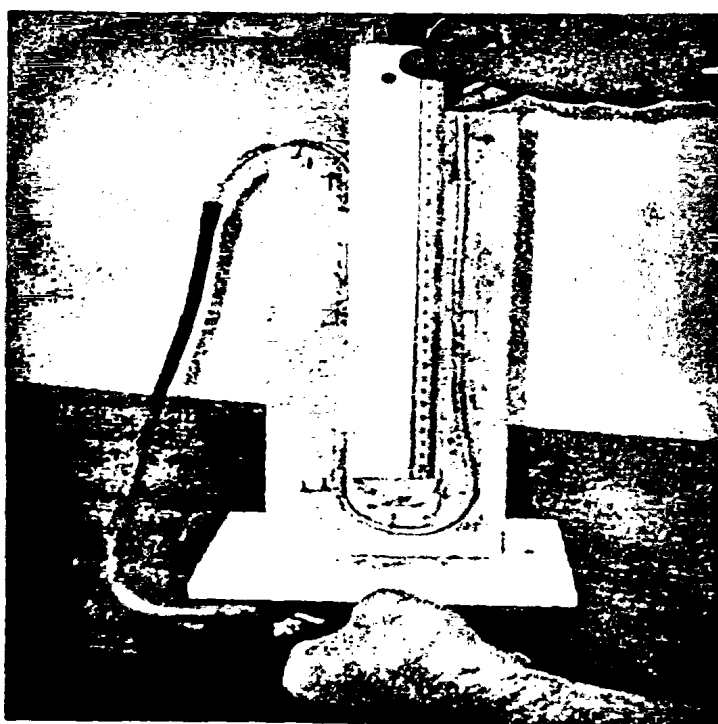
Η ομάδα παρουσίασε στις άλλες ομάδες το πρόβλημα που της τέθηκε, την πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε και την απάντηση που βρήκε.



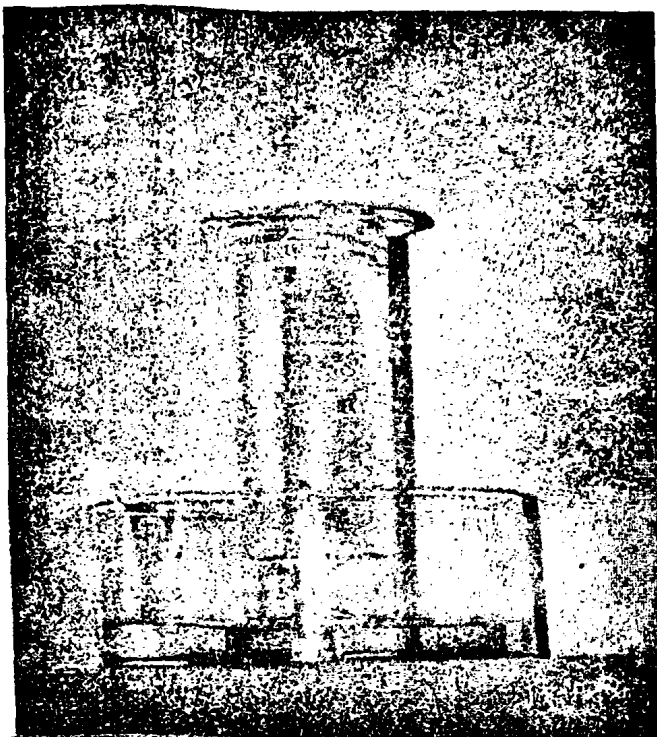




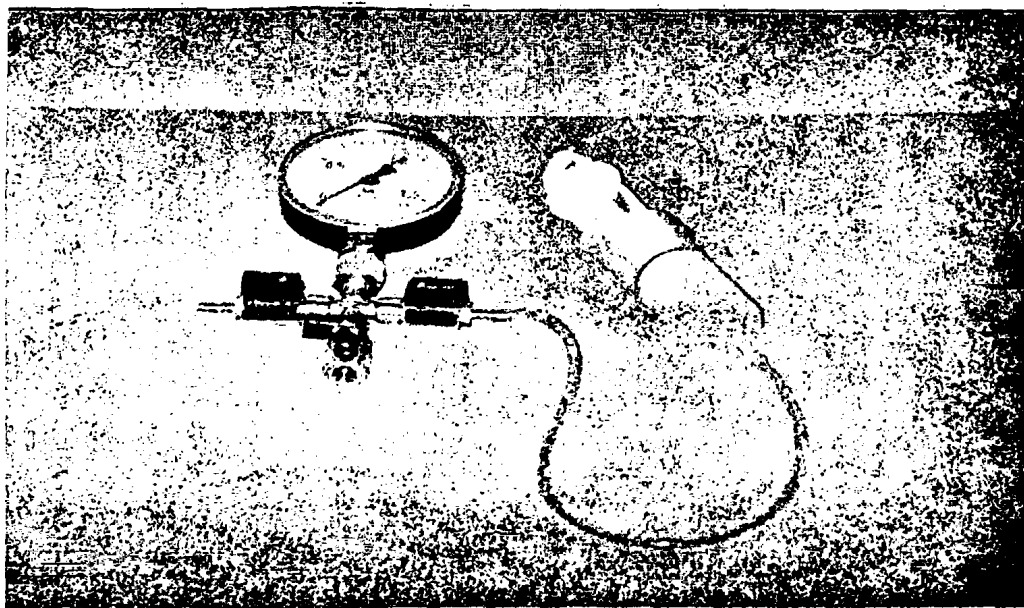
Εικόνα Π2-8. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της πυκνότητας του αέρα.



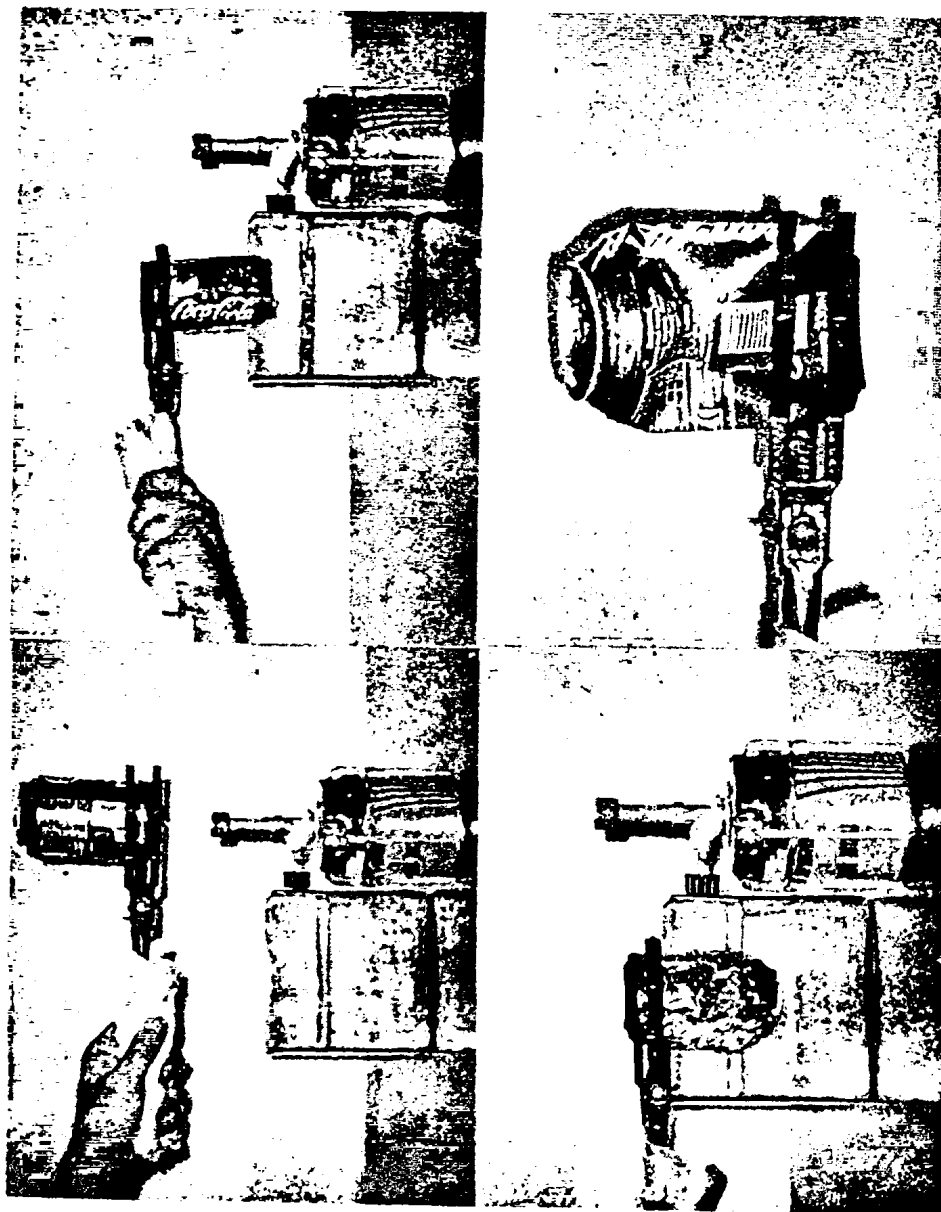
Εικόνα Π2-9. Αυτοσχέδια πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της πίεσης που ασκεί αέριο στην επιφάνεια υγρού (υδραργύρου).



α Π2-10. Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του φαιρικού αέρα σε οξυγόνο.



β Π2-11. Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της σχέσης πίεσης-πορισμένης ποσότητας αερίου.



Εικόνα Π2-12. Στιγμιότυπα κατά την εκτέλεση του πειράματος, σύνθλιξη αλουμινένιου κουτιού με τη βοήθεια της αμοσφαιρικής πίεσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αλεξόπουλος, Β., Θεριανός, Ο., Κώνστας, Κ. (1994). Ερευνά το Φυσικό Κόσμο – Φυσικά ΣΤ΄ τάξης, πρώτο και δεύτερο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
2. Αλεξόπουλος, Κ. (1962). Γενική Φυσική – Θερμότητα. Τόμος τέταρτος, Εκδ. Δευτέρα. Αθήνα.
3. Αντωνίου, Ν., Βαλαδάκης, Α., Δημητριάδης, Π., Παπαμιχαήλ, Κ., Πάπατσιμπα, Α. (2003). Φυσική – β΄ γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
4. Βασιλικιώτης, Γ. (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. Δεύτερη Έκδοση, Εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
5. Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., Τιμοθέου, Γ. (2001). Φυσική – Γενικής Παιδείας Α΄ Τάξης Ενιαίου Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
6. Βολιώτης, Ν. (1980 και 1989). Η κοινωνιομετρία στο σχολείο. Νέα Παιδεία, 12 (97-120) και 51.
7. Βοσνιάδου, Σ. (1998). Γνωστική Ψυχολογία: Ψυχολογικές μελέτες και δοκίμια. Μετάφρ. Χ. Κύρκος. Σειρά Ψυχολογία /13, Gutenberg, Αθήνα.
8. Βοσνιάδου, Σ., Brewer, W. (1988). Θεωρίες της αναδιοργάνωσης της γνώσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Σύγχρονη Εκπαίδευση, Μάρτιος-Απρίλιος.
9. Γεωργιάδου, Τ., Καφετζόπουλος, Κ., Πρόβης, Ν., Σπυρέλης, Ν., Χηνιάδης, Δ. (1997). Χημεία Β΄ Γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
10. Δανασσή- Αφεντάκη, Α. (1993). Η εξέλιξη της παιδαγωγικής και διδακτικής σκέψης. Αθήνα.
11. Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπερόπουλος, Σ., Σπηλιώτης, Μ. (1993). Ερευνά το Φυσικό Κόσμο – Φυσικά Ε΄ τάξης (Πρώτο και Δεύτερο μέρος). Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
12. Ειδικός Οδηγός Διδασκαλίας Φυσιογνωστικών Μαθημάτων (Unesco). Μετάφρ. Μ. Παπαϊωάννου. Εκδ. Σχολικός Εκδοτικός Κόσμος. Αθήνα.
13. Ζαβλανός, Μ. (1977). Τεστ και μετρήσεις (Μέθοδοι αξιολογήσεως επιδόσεως του μαθητή). Σ.Ε.Λ.Ε.Τ.Ε. Αθήνα.
14. Ζαβλανός, Μ. (1987). Διδακτική Φυσικών Επιστημών. Εκδ. Ιών, Αθήνα.
15. Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., Ράπτης, Σ. (1999). Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης. Β΄ Τάξη Ενιαίου Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
16. Καμπουράκης, Κ. (2001). Μελέτη της επίδρασης μιας πειραματικής δραστηριότητας μαθητών λυκείου στη λύση προβλήματος χημείας. Μ.Δ.Ε. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – Τμήμα Χημείας. Ιωάννινα.



17. Καμπουράκης, Κ., Τσαπαρλής, Γ. (2000). Θεωρία χημείας και πειράματα χημείας: Δύο χώροι που δεν επικοινωνούν; Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας, σ. 92-97. Νοέμβριος 2000, Πανεπιστήμιο Πατρών.
18. Καμπουράκης, Κ., Τσαπαρλής, Γ. (2001). Επίδραση μιας δραστηριότητας μαθητών λυκείου στη λύση προβλήματος σχετικού με την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων. 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής. Βιβλίο περιλήψεων, σ. 79. Νοέμβριος 2001, Χίος.
19. Καραγεώργος, Δ. (2002). Μεθοδολογία έρευνας στις επιστήμες της αγωγής. Εκδ. Σαββάλας, Αθήνα.
20. Καραπιτέρης, Λ. (1967). Περιγραφική Μετεωρολογία. Αθήνα.
21. Καριώτογλου, Π., Ψύλλος, Δ. (1991). Η εισαγωγή και η διαπραγμάτευση της έννοιας της πίεσης των ρευστών σε σχολικά εγχειρίδια και οι αντιλήψεις των μαθητών για την έννοια της πίεσης. Επιθεώρηση Φυσικής, τομ. Ζ', τεύχ. 20, 31-36.
22. Καριώτογλου, Ρ., Κορομπίλης, Κ., Κουμαράς, Π. (1996). Εξακολουθούν να είναι επίκαιρες οι ανακαλυπτικές μέθοδοι διδασκαλίας; Σύγχρονη Εκπαίδευση. 92, 52-61.
23. Κόκκοτας, Π. (1984). Αξιολόγηση μερικών μεθόδων διδασκαλίας των φυσικών. Λόγος και Πράξη, 23-24, 98-110.
24. Κονιδιτσιώτη, Β. (1985). Η σωματική διδακτική στρατηγική. Σχολείο και Ζωή, τευχ. Μαρτίου.
25. Κοσσυβάκη, Φ. (1991β). Η Διάσταση του χρόνου στη διδασκαλία. Επιστημονική Επετηρίδα του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ. Ε. Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
26. Κωσταρίδου-Ευκλείδη, Α. (1977). Ψυχολογία κινήτρων. Β' Έκδοση, Ελληνικά Γράμματα. Αθήνα.
27. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π., Κάλλης, Α. (2002). Χημεία Α' Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
28. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π., Κάλλης, Α. (2001). Χημεία Β' Λυκείου – Θετικής Κατεύθυνσης. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
29. Μανουσάκης, Γ., Κεφαλλονίτης, Ι., Χρηστίδης, Β., Χηριάδης, Δ. (2000). Χημεία Γ' Τάξης Ενιαίου Λυκείου – Θετικής Κατεύθυνσης. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
30. Μανωλκίδης, Κ., Μπέζας, Κ. (1978). Στοιχεία Ανόργανης Χημείας. Αθήνα.
31. Ματσαγγούρας, Η. (1985). Η Διδασκαλία στο ελληνικό σχολείο. Σύγχρονη Εκπαίδευση, τεύχ. 25. Αθήνα.
32. Ματσαγγούρας, Η. (1987). Ομαδοκεντρική διδασκαλία και μάθηση. Εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα.
33. Ματσαγγούρας, Η. (1988β). Ο χρόνος είναι και ...μάθηση. Σύγχρονη Εκπαίδευση, τεύχ. 37. Αθήνα.
34. Ματσαγγούρας, Η. (1987δ). Προσοχή. Συνάντηση, τεύχ. 15.
35. Ματσαγγούρας, Η. (1998). Οργάνωση και διεύθυνση της σχολικής τάξης – Εφαρμογές της σύγχρονης διδακτικής. Εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα.
36. Ματσαγγούρας, Η. (2000). Στρατηγικές διδασκαλίας – Η κριτική σκέψη στη διδακτική πράξη. Τόμος δεύτερος, Εκδ. πέμπτη. Εκδ. Gutenberg, Αθήνα.
37. Μαυρογιώργος, Γ. (1987). Εκπαίδευση και σχολικός χρόνος. Σύγχρονη Εκπαίδευση, τεύχος 37. Αθήνα.
38. Μπακιρτζής, Κ. (1996). Η δυναμική της αλληλεπίδρασης στην επικοινωνία. Εκδ. Gutenberg, Αθήνα.



39. Μπέλλας, Θ. (1985). Ψυχοκοινωνιολογία της αγωγής. Εκδ. Επικαιρότητα, Αθήνα.
40. Μπουρούτη, Ι. (1984). Πειράματα φυσικής. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
41. Παυλόπουλος, Β. (2004). Μοντέλα ανάλυσης διακύμανσης. Σημειώσεις για το μάθημα Πολυπαραγοντική Στατιστική Ανάλυση. Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής και Ψυχολογίας – Τομέας Ψυχολογίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
42. Παρασκευόπουλος, Ι. (1993). Στατιστική – Εφαρμοσμένη στις επιστήμες της συμπεριφοράς. Τόμος Β' - Επαγωγική Στατιστική. Αθήνα.
43. Πετρουλάκη, Ν. (1992). Προγράμματα, εκπαιδευτικοί στόχοι, μεθοδολογία. Εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα.
44. Πολυδωρόπουλος, Κ. (1974). Γενική Χημεία. Ιωάννινα.
45. Πολυδωρόπουλος, Κ. (1979). Εργαστηριακή Φυσικοχημεία. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Ιωάννινα.
46. Πόρποδας, Κ. (1993). Γνωστική Ψυχολογία (Η διαδικασία της μάθησης, τόμ. 1). Αθήνα.
47. Ρετινιώτης, Σ. (2004). Στατιστική – Από τη θεωρία στην πράξη με το SPSS 11.0. Εκδ. Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.
48. Σάββας, Σ. Ι., Καλκάνης, Γ. Θ. (1998). Κρίση στο μάθημα της φυσικής; Η εξέλιξη του ενδιαφέροντος των μαθητών και η αποτελεσματικότητα του μαθήματος. Ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και πρώτη ερευνητική προσέγγιση στην ελληνική πραγματικότητα. Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, σ. 288-293. Θεσσαλονίκη 29-31/5/1998, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Π.Τ.Δ.Ε).
49. Σπυροπούλου, Δ. (1994). Καιρικά φαινόμενα – πως τα αντιλαμβάνονται οι μαθητές. Φυσικός Κόσμος 144, 14-15. Εκδ. της Ε.Ε.Φ., Αθήνα.
50. Τανός, Χ. (1987). Προφορικός λόγος: Ο παραμελημένος της εκπαίδευσης. Γλώσσα, 13.
51. Τζάνη, Μ. (1988). Σχολική επιτυχία: Ζητήματα ταξικής προέλευσης και κουλτούρας. Εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα.
52. Τσαπαρλής, Γ. (1991). Θέματα διδακτικής φυσικής και χημείας. Εκδ. Μ. Π. Γρηγόρης, Αθήνα.
53. Τσαπαρλής, Γ. (1994). Στοιχειώδης φυσικοχημεία (Επιλογή θεμάτων σε εισαγωγικό επίπεδο). Β' Έκδοση, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – Τμήμα Χημείας, Ιωάννινα.
54. Τσαπαρλής, Γ. (2004). Η παγκοσμιοποίηση της έρευνας και της πράξης της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Χημείας (26-28/11/2004): Για τη Διδακτική των Φ. Ε. και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση. Τόμος Α', σ. 31-35. Αθήνα.
55. Τσαπαρλής, Γ., Καμπουράκης, Κ. (1999). Εισαγωγή στις φυσικές επιστήμες (Φυσική-Χημεία). Ιωάννινα. (Πειραματικό υλικό ως μέρος προτάσεως για νέο μάθημα στην α' τάξη γυμνασίου. Δαπάνη του προγράμματος Σ.Ε.Π.Π.Ε του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου. Φορέας υλοποίησης Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – Τμήμα Χημείας).
56. Τσελφές, Β. (1994). Η ταυτότητα του «σημασιακού χώρου»: Προϋπόθεση για την κατανόηση της εννοιολογικής αλλαγής. Σύγχρονη Εκπαίδευση, 78, 73-87.
57. Τσίπης, Κ. (1996). Χημεία. Καταστάσεις της ύλης II. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

58. Τσίπης, Κ., Βάρβογλης, Α., Δερπάνης, Δ., Παλαμιτζόγλου, Π., Παπαγεωργίου, Γ. (2000). Χημεία –Α΄ Ενιαίου Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.

59. Φράγκος, Χ. (1977). Ψυχοπαιδαγωγική. Εκδ. Παπαζήση, Αθήνα.

60. Χαλκιά, Κ. (1999). Το πείραμα στην καθημερινή σχολική πρακτική. Σύγχρονη Εκπαίδευση, 107, 81-90.

61. Χατζηλιάδης, Ν. (1998). Αρχές Χημείας. Εκδοτικός Όμιλος «Ιων»-Μακεδονικές Εκδόσεις.

62. Ψύλλος, Δ. (1998). Όψεις της έρευνας και ανάπτυξης στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Κεντρική ομιλία στο 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης - Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης). Πρακτικά, σελ. 21-29, Θεσσαλονίκη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Abercrombie, M. (1871). Aims and techniques of group teaching. Society for Research in Higher Education.
2. Abraham, M. R., Cracolice, M. S., Palmer Graves, A., Aldhamash, A. H., Kihega, J. G., Palma Gil, J. G., Varghese, V. J. (1997). The nature and state of general chemistry laboratory courses offered by colleges and university in United State. Journal of Chemical Education, vol. 74, No. 5, 591-594.
3. Adar, L. (1969). A theoretical framework for study of motivation in education. The Hebrew University, School of Education. Jerusalem.
4. Anderson, J. R. (1985). Cognitive psychology and its implications. N. York: Freeman & Co.
5. Anderson, J. Bower, G. (1973). Human associative memory. Washington, DC: Winston. (<http://act.r.psy.cmu.edu>).
6. Allen, J. B., Barker, L. N., Ramsden, J. H. (1986). Guided inquiry laboratory. Journal of Chemical Education, vol. 63, No. 6, 533-534.
7. Al-Shuaili, A. (2000). A study of interactive projected demonstration techniques for school science in Oman. Ph. D. thesis, University of Glasgow.
8. Anderson, B., Renstron, L. (1982). How Swedish pupils, aged 12-15 explains the "sugar in water" problem. The EKNA project, Institutionen for Praktisk Pedagogik, University of Gothenburg, Sweden.
9. Arons, A. B., Karplus, R. (1976). Implications of Accumulating Data on Level of Intellectual Development. American Journal Physics, 44, 396.
10. Arons, A. (1990). Οδηγός διδασκαλίας της φυσικής. Μετάφ. Α. Βαλαδάκης. Εκδ. Τροχαλία, Αθήνα.
11. Atkins, W. P. (1989). Φυσικοχημεία - Τόμος Ι. Απόδοση στα Ελληνικά: Σ. Αναστασιάδης, Γ. Ν. Παπαθεοδώρου, Σ. Φαράντος, Γ. Φυτάς. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Ηράκλειο.
12. Baddeley, A. (1982). Reading and working memory. Bulletin of the British Psychological Society, 35, November, 414-418.
13. Baddeley, A. (1983). Your memory: A user's guide. Harmondsworth: Penguin.
14. Banyard, P., Hayes, N. (1994). Σκέψη & λύση προβλημάτων (Thinking and problem solving. The British Psychological Society, Open Learning Units – Cognitive Processes) Μετάφρ. Κ. Σύρμαλη, Επιμέλεια, Α. Κωσταρίδου-Ευκλείδου. Εκδ. Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα.





15. Barrett, G., Thorton, C. (1976). Cognitive style differences between engineers and college students. Perceptual and motor skills.
16. Basca, B. B., Grotzer, T. A. (2001). Focusing on the nature of causality in a  
17. unit on pressure: How does it affect students understanding? Presented at the American Educational Research Association (AERA), Seattle, April 10-14.
18. Battimo, R. (1979). Why thermodynamics should not be taught to freshmen or who owns the problem? Journal of Chemical Education, 56, 520-522.
19. Benbasat & Dexter. (1982). Cited in Mykytyn, P. (p.952) "Group Embedded Figures Test: Individual differences, performance and learning effect." Educational and Psychology, 63, 1991, pp. 241-246.
20. Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? Journal of Chemical Education 63(1), 64-66.
21. Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silberstein, J. (1987). Students' visualisation of chemical reactions. Education in Chemistry 25, 89-92.
22. Bereiter, C. (1984). How to keep thinking skills from going the way of all frills. Educational Leadership, 42, 75-77.
23. Bereiter, C., Scardamalia, M. (1989). Intentional learning as a goal of instruction. In L. Resnick (ed.), Knowing, Learning and Instruction: Essay in honor Robert Glaser. Hilldale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates: 361-392.
24. Berry, A., Mulhall, R., Gunstone, R. F., Loughran, J. (1999). Helping students learn from laboratory work. Australian Science Teachers Journal, 45 (1), 27-31.
25. Bent, H. A. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. Journal of Chemistry Education, 61, 774-777.
26. Birk, J. P., Foster, J. (1993). The importance of lecture in general chemistry. Journal of Chemical Education, 70, 180-182.
27. Bloom, B. S., Engelhart, M., Furst, E., Hill, H., Krathwohl, D. R. & Masia, B. (1956). Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive Domain, McKay: N.Y.
28. Bloom, B. S., Krathwohl, D. R. (1964). Ταξινόμια διδακτικών στόχων-Γνωστικός τομέας. Τόμος Α'. Μετάφρ.: Α. Λαμπράκη-Πανάγου. Εκδ. Κώδικας: Θεσσαλονίκη.
29. Bloom, B. (1980). The new directions in educational research. Phi Delta Kappa, 61 (6).
30. Bodner, J. P. (1992). Refocusing the general chemistry curriculum. Why changing the curriculum may not be enough. Journal of Chemical Education, 69, 186-190.
31. Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. Journal of Chemical Education, 63, 873-878.
32. Bodner, G. M. & Herron, J. D. (1980). Impressions of the McMaster Conference on new directions in chemistry curriculum. Journal of Chemical Education, 57, 349-350.
33. BOEN hors série No. 1 du 13/02/97, No. 45 du 12/12/96, No. 6 du 12/08/99 -Programme du cycle central du collège.
34. Borgford, C. L., Summerlin, L. R. (1988). Chemical Activities -Teacher edition. American Chemical Society, Washington, D.C.



35. Borghi, L., DeAmbrosis, A., Massara, C. I., Grossi, M. G., Zoppi, D. (1988). Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. International Journal of Science Education, Vol. 10, No. 2, 179-188.

36. Bostock, S. (2002). Learning Styles. [http://www.keele.ac.uk/depts/cs/Stephen\\_Bostock/docs/LearningStyles.htm](http://www.keele.ac.uk/depts/cs/Stephen_Bostock/docs/LearningStyles.htm).

37. Boyer, R., Tiberghien, A. (1989). Coals in physics and chemistry as seen by teachers and high school students. International Journal of Science Education, 11(3), 297-308.

38. Brand, R. (1994). On making sense. Educational Leadership, 50(4).

39. Bransford, J. D., Franks, J. J., Vye, N. J. & Sherwood, R. (1989). New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In Vosniadou, S., Ortony, A. Similarity and analogical reasoning. New York: Cambridge University Press.

40. Brock, W. H. (1973). H.E. Armstrong and the teaching of Science 1880-1930. Cambridge University Press, London.

41. Brook, A., Driver, R. (1989). Progression in Science: The development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years. Leeds: University of Leeds, Children's Learning in Science Project.

42. Brook, A., Driver, R., Hind, D. (1989). Progression in science: The development of pupils understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years. Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.

43. Brophy, J., Everton, C. (1976). Learning from Teaching. Allyn and Bacon, Boston.

44. Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. La Pensée Sauvage, Grenoble.

45. Brown, K., Miklos, A., Carver, J. S., Hunter, W. J. F. (2004). A teaching plan for introducing gas properties. The chemical Educator, Vol. 9, No. X, 1-4.

46. Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, L. (1989). Situated cognition and the culture of learning. Educational Researcher, 18, 32-34.

47. Bruner, J. S. (1967). Toward a theory of instruction. Harvard University Press.

48. Bruner, J. S. (1973). Beyond the information given: Studies in the psychology of knowing. New York: Norton.

49. Bucat, R. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: Applied research in chemistry education. Chemical Education: Research and Practice, vol. 5, No. 3, 215-228. (<http://www.uoi.gr/cepr>).

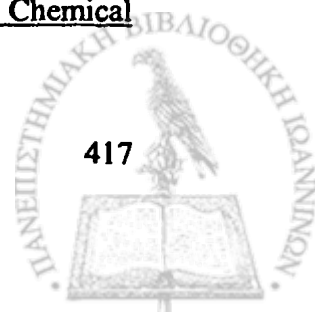
50. Buckley, J. G., Kempa, R. F. (1971). Practical work in sixth-form chemistry courses: School Science Review, 53 (182), 24.

51. Butts, B., Smith, R. (1987). HSC chemistry student's understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. Research in Science Education 17, 192-201

52. C. E. C. (1995 b). Socrates-Vademecum. Brussels.

53. C. E. C. (1995a). White paper on education and training. Brussels.

54. Cardellini, L. (2002). An interview with J. D. Herron. Journal of Chemical Education, Vol. 79, No. 1, 53-59.



55. Carey, S. (1985b). Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? In S. Chipman, J. Segal and R. Glaser (eds), *Thinking and Learning Skills*, Vol. 2 (Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum), 485-514.
56. Carey, S. (1986b). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41 (10), 1123-1130.
57. Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In Crey, S., Gelman, R. : *The epigenesis of mind. Essay on biology and cognition*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 257-291.
58. Carey, S., Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In Hirschfeld, L.A., & Gelman, S.A., *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture*. New York: Cambridge University Press.
59. Carter, C. S., Brickhouse, N. W. (1989). What makes chemistry difficult? Alternate perceptions. *Journal of Chemical Education*, 66, 223-225.
60. Case, R. (1974). Structures and strictures: Some functional limitations in the course of cognitive growth. *Cognitive Psychology*, 6, 544-573.
61. Cassells J. R. T. & Johnstone, A. H. (1983). The meaning of words and the teaching of chemistry. *Education in Chemistry*, 20, 10-11.
62. Cazden, C. (1988). *Classroom discourse. The language of teaching and learning*. Portsmouth: Heinemann.
63. Champagne, A. B., Bunce, D. M. (1991). In *The Psychology of Learning Science*. Glynn, S., Yeany, R., Britton, B., Eds. Lawrence Earlbaum Associates: Hillsdale, NJ, pp. 21-41.
64. Chi, M. T. H., Slotta, J. D., deLeeuw, N. (1993). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*. 4, 27-43.
65. Chiappetta, E. L. (1976). A review of piagetian studies relevant to science instruction at the secondary and college level. *Science Education*, 60, 253.
66. Chomsky, N. (1988). *Language and the problems of knowledge*. Cambridge, MA: MIT Press.
67. Clark, S., Seat, E., Weber, F. (2000). The performance of engineering students on the group embedded figures test. Presented in 30<sup>th</sup> ASEE/IEEE, *Frontiers in Education Conference*, October 18-21, Kansas City, MO.
68. Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149-170.
69. Cohen, L, Holliday, M. (1982). *Statistics for social scientists (An introductory text with computer programs in basic)*. Harper & Row Publishers, London.
70. Cooper, L. A., Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed) *Visual Information Processing*. N. York: Academic Press.
71. Costa, N., Marques, L., Kempa, R. F. (2000a). Science teachers' awareness of finding from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 31-36.
72. Costa, N., Marques, L., Kempa, R. F. (2000b). Science teachers' awareness of finding from educational research. *Research in Science and Technology Education*, 18, 37- 44.



73. D' Hainault, L. (1983). Des fins aux objectifs de l'éducation. Nathan /Labor, Paris / Bruxelles.

74. Damon, W. (1995). Social relations and children's thinking skill. In Kuhn, D., et al. *Developmental Perspectives on Teaching and Learning Thinking Skill*, Contributions to Human Development, No. 21.

75. Darley, B. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 83-15.

76. Darley, B. (1994). Proposition d'un cadre possible pour une transposition didactique de la démarche scientifique. Actes 16emes J.I.E.S., A. Giordan, J. L. Martinand & D. Raichvarg (eds) 249-254.

77. Davenport, D. (1985). Why teach the gas laws? *Journal of Chemical Education*, 62, 505-506.

78. DeBerg, K. C. (1992). Students thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: The semi-quantitative context. *International Journal of Science Education*. 14(3), 295-303.

79. DeBerg, K. C. (1995). Student understanding of the volume, mass, and pressure of air within a sealed syringe in different states of compression. *Journal of Research in Science Teaching*. 23(8), 871-884.

80. DeCorte, E., Greer, B. & Varschaffel, L. (1996). Mathematics learning and teaching. In Berliner, D. & Calfee, R. *Handbook of Educational Psychology*. New York: MacMillan.

81. DeJong, O., van Briel, J. (2001). Developing preservice teachers' content knowledge and PCK of models and modelling. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. St. Louis, Missouri.

82. DeCecco, J. (1968). *The psychology of learning and instruction*. New Jersey.

83. DeJong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the topics of redox reactions: Actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 1097-1110.

84. Demastes, S., Good, R., Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666.

85. Denham, C. (1980). *Time to learn*. National Institute of Education, Washington, D.C.

86. Deutch, C. E. (1995). *American Biology Teacher*, 57, 101-105.

87. Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.

88. DiSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman and P. B. Pufall (eds), *Constructivism in the Computer Age* (Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum), 49-70.

89. DiSessa, A. (1993a). Responses. *Cognition and Instruction*. 10, 261-280.

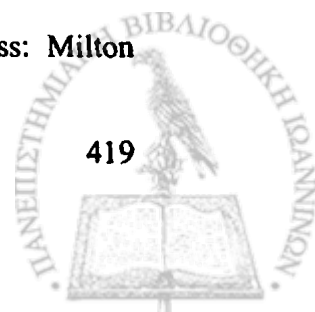
90. DiSessa, A. (1993b). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*. 10, 105-226.

91. Doise, W., Mugny, G. (1984). *The social development of the intellect*. Pergamon, New York.

92. Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction. *Journal of Chemical Education*, vol. 76, No. 4, 543-547.

93. Dow, W. M., Auld, J., Wilson, D. (1978). Pupils' concepts of gases, liquids and solids. Dundee College of Education.

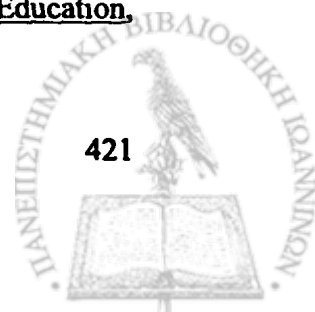
94. Driver, R. (1983). *The pupil as scientist?* Open University Press: Milton Keynes.



95. Driver, R., Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. Studies in Science Education, 13, 105 – 122.
96. Driver, R. (1985). Beyond appearances: The conservation of matter under physical and chemical transformation. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), *Children's ideas in science*, Open University Press, Milton Keynes.
97. Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, J., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. Educational Researcher, 23(7), 5-12.
98. Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., Wood-Robison, V. (1993). Οικοδομώντας τις έννοιες των φυσικών επιστημών –Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών. Επιμέλεια – πρόλογος Π. Κόκκοτας. Μετάφ. Μ. Χατζή. Εκδ. Τυπωθήτω. Αθήνα.
99. Driver, R. (1988). A constructivist approach to curriculum development. In P. J. Fensham (ed.), *Development and dilemmas in science education* (pp.133-149). London: Falmer.
100. Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A. (1985). Children's ideas and learning of science. In: Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A.: *Children's ideas in science*. Milton Keyes: Open University Press. (Μετάφραση στα ελληνικά, Θ. Κρητικός, Β. Σπηλιωτοπούλου-Παπαντωνίου, Α. Σταυρόπουλος. Εκδ. Ένωση Ελλήνων Φυσικών – Τροχαλία, 1993, Αθήνα).
101. Duggan, S., Gott, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. International Journal of Science Education, 17, 137-147.
102. Duggan-Haas, D. (2000). Ph.D. Dissertation. Michigan State University, East Lansing, MI.
103. Duit, R. (1991). In *The Psychology of Learning Science*. Glynn, S., Yeany, R., Britton, B., Eds. Lawrence Earlbaum Associates: Hillsdale, NJ, pp. 65-85.
104. Duit, R. (1994). Research on students' conceptions-developments and trends. In H. Pfundt & R. Duit (eds.) *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (3<sup>rd</sup> ed., pp. xxii-xxiii). Kiel, Germany: University of Kiel.
105. Dupont, M. (1992). Quelques problèmes poses par l'évaluation des raisonnements en science chez les élèves. Aster, 15, 121-144.
106. Duschl, R. (1990). *Restucting science education. The importance of theories and their development*. Teachers College Press. New York.
107. EngelClouth, E., Driver, R. (1985). What do children understand about pressure in fluids? Journal in Science and Technological Education, 3 (2), 133-143.
108. EngelClough, E., Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. Science Education. 70(4), 473-496.
109. Erlenmeyer-Kimling, L., Jarvik, L. F. (1963). Genetics and intelligence: A review, Science, Vol. 142.
110. Fensham, N., Fensham, P. (1987). Descriptions and frameworks of solutions and reactions in solutions. Research in Science Education 17, 139-148.
111. Fischetti, B., Emanuelson, K., Shames, A. (1998). Will the real gifted students place stand up? Roeper Review, 21(2), 161-162.



112. **Fischler, H., Siefert, S. (2001).** How to help teachers and students to deal with models in science teaching. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. St. Louis, Missouri.
113. **Fix, W. T., Renner, J. W. (1979).** Chemistry and the experiment in secondary schools. Journal of Chemical Education, 56, 737.
114. **Francisco, J. S., Nicoll, G., Trautmann, M. (1998).** Integrating multiple teaching methods into a general chemistry classroom. Journal of Chemical Education, Vol. 75, No. 2, 210-213.
115. **Frost, J. (1995).** Teaching Science. Eds by, J. Frost, A. Jennings, T. Turner, S. Turner and L. Beckett. The Woburn Press, London.
116. **Furio Mas, J. Barrenetxea, J. I., Reyes Martin, J. V. (1994).** La «résolution de problèmes comme recherche»: Une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. Aster, 19, 87-102.
117. **Gabel, D.L., Sherwood, R.D., Enochs, L. (1984).** Problem-solving skills of high school chemistry students. Journal of Research in Science Teaching, 21, 211-233.
118. **Gabel, D. L., Samuel, K.V. (1987).** Understanding the particulate nature of matter. Journal of Chemical Education 64 (8), 695-697.
119. **Gabel, D. L. (1999).** Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. Journal of Chemical Education, 76, 548-554.
120. **Gabel, D. L. (1993).** Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. Journal of Chemistry Education, 70(3), 193-194.
121. **Gagne, E. D. (1985).** The cognitive psychology of school learning. Boston: Little Brown & Co.
122. **Gardner, H. (1991).** The mind's new science. New York: Basic Books.
123. **Garnduff, J., Reid, N. (2001).** Enhancing Undergraduate Chemistry Laboratories: Pre- and post-laboratory exercises. The Royal Society of Chemistry, London.
124. **Garnett, P. J., Garnett, P. J. & Hackling, M. W. (1995).** Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. Studies in Science Education, 25, 69-95.
125. **Garnett, P. J. (1987).** Teaching for understanding: Exemplary practice in high school chemistry. In K. Tobin & B. J. Fraser (eds.), Exemplary practice in science and mathematics education, pp. 45-58. Perth: Science and Mathematics Education Centre, Curtin University.
126. **Garratt, C. J. (1997).** Virtual investigations: ways to accelerate experience. University Chemistry Education, 1, 19-27.
127. **Gaston, J. J. (2000).** The learning Experience: Impact on measures of instructional effectiveness. Presented at "Leadership 2000", the 16<sup>th</sup> Annual Community College and the Community College Leadership Program. San Diego, CA, July 17-20.
128. **Geddis, A. N. (1993).** Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. International Journal of Science Education, 15, 673-683.
129. **Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C., & Oesch, J. (1993).** Transforming content Knowledge : Learning to teach about isotopes. Science Education, 77, 575-591.



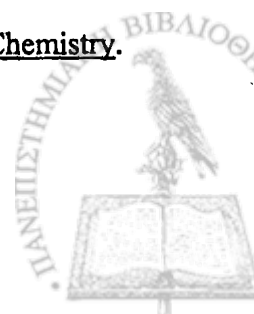
130. **Giins, I. S., Watters, J. J. (1995).** An analysis of scientific understandings of preservice elementary teacher education students. Journal of Research in Science Teaching, 32(2), 205-222.
131. **Glaser, R. (1962).** Psychology and instructional technology. In *Training Research and Education*. University of Pittsburg Press, Pittsburg.
132. **Goodlad, J. (1984).** A place called school. McGraw-Hill, N. York.
133. **Godier, A., Thomas, C., Moreau, M. (1978).** Φυσική Β' Γυμνασίου. Μετάφ. Γ. Ανδρεάδη. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
134. **Gott, R., Duggan, S. (1996).** Practical work: its role in the understanding of evidence in science. International Journal of Science Education, Vol. 18, No. 7, 791-806.
135. **Graham, H. (1986).** Chemistry Counts. Hodder and Stoughton, London Sydney, Auckland, Toronto.
136. **Gunstone, R. F. (1991).** Reconstructing science from practical experience. In *Practical Science*, ed. B. Woolnough, Open University Press, Milton Keynes.
137. **Halliday, D., Resnick, R. (1966).** Φυσική. Μέρος Ι. Μετά. Γ. Πνευματικός και Γ. Πεπονίδης. Εκδ. Γ. Α. Πνευματικού, Αθήνα.
138. **Happs, J. (1980).** Particles. LISP Working Paper 18, Science Education Research Unit, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
139. **Heinze-Fry, J. A., Novak, J. D. (1990).** Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in physics. Cognition and Instruction, 1, 177-216.
140. **Helm, H. & Novak, J. (1983).** Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics. Cornell University Department of Education, Ithaca.
141. **Hered, W., Nebergall, W. H. (1968).** Basic laboratory studies in college – chemistry. Third edition, Raytheon Education Company.
142. **Herron, J. D. (1978).** Piaget in high school instruction. Journal of Chemistry Education, 55, 115-170.
143. **Herron, J. D. (1984).** Using research in chemistry education to improve my teaching. Journal of Chemical Education, 61, 850-854.
144. **Herron, J. D. (1996).** The role of language in teaching chemistry. In J. D. Herron, *The chemistry classroom, formulas for successful teaching*, pp. 161-182. American Society of Chemistry, Washington DC.
145. **Hewitt, G. P. (1985).** Conceptual physics (5th edition). Μετάφρ. στα Ελληνικά (1992): Ελένη Σηφάκη, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
146. **Hewson, M. G. (1986).** The acquisition of scientific knowledge: analysis and representation of student conceptions concerning density. Science Education 70(2), 159-170.
147. **Hewson, M. G. (1988).** The ecological context of knowledge: Implications for learning science in developing countries. Journal of Curriculum Studies, 20(4), 317-326.
148. **Hodson, D. (1986).** The nature of scientific observation. School Science Review, 58 (242), 17-28.
149. **Hodson, D. (1996).** Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. Journal of Curriculum Studies, 82 (2), 115-135.



150. Hoffmann, L., Lehrke, M. (1986). Eine untersuchung über schulerinteressen an physik und technik. Zeitschrift für padagogik, Vol. 32, No. 2, 189-204.
151. Hoffmann, L. (1989). Die interessen von schulerinnen an physik und technik- mögliche ansatzpunkte für unterricht auf der sekundarstufe I. Die realschule, Vol. 97, 201-206.
152. Hoftein, A., Kempa, R. F. (1985). Motivating strategies in science education: attempt at an analysis. European Journal of Science Education, 7, 221-229.
153. Holding, B. (1987). Investigation of school children's understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of matter and development of atomistic ideas. Ph. D. thesis, University of Leeds.
154. Horton, P. B. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. Science Education, 77, 95-111.
155. Hurd de Hart, P. (1991). Issues in linking research to science teaching . Science Education, 75, 723-732.
156. Jackman, L. E., Moellenberg, W. P. (1987). Evaluation of three instructional methods for teaching general chemistry. Journal of Chemical Education, vol. 64, No. 9, 794-796.
157. Jencks, C. (1973). Inequality. Allen Lane, London.
158. Johnsen, S., Ryser, G. (1997). The validity of portfolios in predicting performances in a gifted program. Journal for the Education of the Gifted, 20(3), 253-267.
159. Johnston, C. D., Jenkins, J. J. (1971). Two more incidental tasks that differentially affect associative clustering in recall. Journal of Experimental Psychology, 89, 92-95.
160. Johnson, C. D., Ahlgren, A. (1976). Relationship between student attitudes towards schooling. Journal of Educational Psychology, 68(1).
161. Johnson, C. D. (1979). Educational psychology. Englewood, Gliffs: Prentice-Hall.
162. Johnson, C. D., Maruyana, G. (1981). Effects of cooperative, competitive and individualistic goal structures on achievement: A meta-analysis. Psychological Bulletin, 89.
163. Johnstone, A. H, Wood, C. A. (1977). Education of Chemistry, 14, 11.
164. Johnstone, A. H., El-Banna, H. (1989). Understanding learning difficulties- A predictive research model. Studies in Higher Education, 14 (2), 159-168.
165. Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. Journal of Computer Assisted Learning, 7, 701-703.
166. Johnstone, A. H., Al-Naeme, F. F. (1995). Filling a curriculum gap in chemistry. Int. J. Sci. Educ., 17, 2, 219-232.
167. Johnstone, A. H. (1997). Chemistry teaching – Science or alchemy? Journal of Chemical Education, 74, 262-268.
168. Johnstone, A. H., Al-Shuaili, A. (2001). Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. University Chemistry Education 5, 42-51.
169. Jonassen, D., Marra, R. (1994). Concept mapping and other formalism as mind tools for representing knowledge. Association for Learning Technology Journal, 2, 50-56.



170. Joshua, S., Dupin, J. J. (1989). Representation et modelisation: Le debat scientifique dans la classe et l' apprentissage de la physique. Berne, Peter Lang.
171. Joshua, S., Dupin, J. J. (1993). Introduction a la didactique des sciences et des mathématiques. PUF, Paris.
172. Joyce, B., Weil, M., Showers, B. (1992). Models of teaching. Allyn and Bacon, Boston.
173. Justi, R., & Gilbert, J. K. (2001). Teachers' views about models and modelling in science education. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. St. Louis, Missouri.
174. Kampourakis, C., Tsaparlis, G. (2001). Physical-science knowledge and patterns of achievement at the primary- secondary interface. Part 1& 2 Chemical Education: Research and Practice in Europe ([http:// www. uoi. gr, / conf \\_ sem/cerp](http://www.uoi.gr/conf_sem/cerp)). Vol. 2, No. 3, pp. 241-252 & 253-263.
175. Kampourakis, K., Tsaparlis, G. (2001). Can practical activities enhance problem-solving capacity in science? 3<sup>n</sup> ESERA (International Conference of the European Science Educational Research Association), July, 2001, Aristotle University of Thessaloniki, Crece Vol. 1, pp.182-184.
176. Kampourakis, C., Tsaparlis, G. (2003). A study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. Chemistry Education: Research and Practice ([http:// www. uoi. gr, / conf \\_ sem/cerp](http://www.uoi.gr/conf_sem/cerp)). vol. 4, No. 3, pp. 319-333.
177. Tsaparlis, G., Kampourakis, K. (2001). A preliminary study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. 6<sup>n</sup> ECRICE (European Conference on Research in Chemistry Education), September, 2001, Aveiro, Portugal, in book of abstracts, pp. 213-215.
178. Kariotoglou, P., Psillos, D., Vallasiades, O. (1990). Understanding pressure: Didactical transpositions and pupils' conceptions. Physic Education, 25.
179. Kariotoglou P., Psillos, D. (1999). Teaching fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution. International Journal of Science Education, 21(1), 17-38.
180. Karplus, R. & Peterson, R. (1970). Intellectual development beyond elementary school II: ratio, a survey. School and Mathematics, 70, 813-820.
181. Karplus, R. & Karplus, E. (1972). Intellectual development beyond elementary school III: ratio, a longitudinal study. School Science and Mathematics, 72, 735-742.
182. Karplus, E. & Karplus, R. & Wollman, W. (1974). Intellectual development beyond elementary school IV: ratio, the influence of cognitive style. School Science and Mathematics, 74, 476-482.
183. Karplus, R. (1977). Teaching and the development of reasoning. Journal Research Science Teaching, 14, 169.
184. Karplus, R., Lawson, A. E., Wollman, W., et. al. (1977). Science teaching and the development of reasoning. Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, California (Workshop materials in five parts: physics, chemistry, biology, earth science and general science).
185. Kempa, R. F., Ward, J. E. (1988). Observational thresholds in school chemistry. International Journal of Science Education, 10(3), 275.
186. Kempa, R. F. (1990). Nyholm lecture. London Society of Chemistry.



187. Kempa, R. F., Diaz, M. (1990). Motivational traits and preferences for instructional modes in science. International Journal of Science Education, 12, 195-203.
188. Kempa, R. F. (2001). Research and research utilization in chemical education. Chemical Education: Research and Practice in Europe, vol. 3, No. 3. [[http://www.uoi.gr/conf\\_sem/cerapie](http://www.uoi.gr/conf_sem/cerapie)].
189. Kerr, J. F. (1963). Practical work in school science: An account of an inquiry into the nature and purpose of practical work in school science teaching in England and Wales, Leicester University Press, Leicester.
190. Kingore, B. (1995). Introducing parents to portfolio assessment: a collaborative effort toward authentic assessment. Gifted Child Today Magazine. 18(4), 12-13.
191. Kirk, J., Miller, M. L. (1986). Reliability and validity in qualitative research. Beverly Hills, C. A.: Sage.
192. Kittel, C. (1976). Φυσική Στερεάς Κατάστασης. Απόδοση στα ελληνικά Χ. Παπαγεωργόπουλος. Εκδ. Γ. Πνευματικού. Αθήνα.
193. Kleinman, R. W., Griffin, H. C., & Kerner, N. K. (1987). Images in chemistry. Journal of Chemistry Education, 64(9), 766-770.
194. Kolb, D., Fry, R. (1975). Towards an applied theory of experiential learning. In C. Cooper «Theory of Group Processes», pp. 33-35. Wiley, London.
195. Krappmann, L. (1992). On the social embedding of learning in the classroom. In Oser, F., Dick, A. Effective band Responsible Teaching. San Francisco: Joseey-Bass.
196. Lagowski, J. J. (1979). Journal of Chemical Education, 56, 561.
197. Lagowski, J. J. (1990). Journal of Chemical Education, 67 (7), 541.
198. Lagowski, J. J. (1998). Chemical education: Past, present, and future. Journal of Chemical Education, 75, 425-436.
199. Laugier, A., Dumon, A. (2003). Résolution de problème et pratique expérimentale: analyse du comportement des élèves en début seconde.
200. Laugier, A. (1998). La représentation de la réaction chimique dans les niveaux macroscopique et microscopique. Contribution au repérage des obstacles épistémologiques. Un exemple en classe de seconde. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.
201. Lawless, C. (1994). Br Journal Education Technol, 25(3), 198-216.
202. Lawson, A. E., Renner, J. W. (1975). Piagetian theory and biology teaching. American Biology Teacher, 37(6), 336-343.
203. Lawson, A. E., Wollman, W. (1976). Encouraging the transition from concrete to formal cognitive functioning: an experiment. Journal of Research in Science Teaching, 13, 413-430.
204. Lawson, A. E., Lewis, C. M. J., Birk, J. P. (1999). Why do students "cook" data? Journal of College Science Teaching, 29, 191 -198.
205. Lazarowitz, R. Hertz, R.L., Baird, J. H., Bowlden, V. (1988). Academic achievement and on-task behavior of high school biology students instructed in a cooperative small investigative group. Science and Education, 72, 475-487.
206. Lazarowitz, R., Tamir, P. (1995). Research on using laboratory instruction in science. In Gabel, D. (Eds) Handbook of research on science teaching and learning. Macmillan N.Y., pp. 94-128.



207. Lee, V., Webberly, R., Litt, L. (1987). Νοημοσύνη και δημιουργικότητα. The Open University, Μετάφ. Γ. Μπαρουξής. Εκδ. Π. Κουτσούμπος, Αθήνα.
208. Leboutet-Barrell, L. (1976). Concepts of mechanics among young people. Physics Education 20, 462-465.
209. Lefour, J. M., Meheut, M. (1996). Les nouveaux programmes de chimie du secondaire. L'Actualité Chimique, Juillet-aout, 5-6.
210. Leicester, H. M. (1956). Ιστορία της χημείας. Μετάφ. Γ. Γεωργακόπουλος. Εκδ. Τροχαλία, Αθήνα.
211. Leneham, M. (1994). College Student Development, 35, 461-466.
212. Levene Test for Equality of Variance (2003). Engineering Statistics Handbook. [Http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm)
213. Linville, J., Rust, J., Kim, J. (1999). The information and picture completion dyad of the WISC-III as a screening testing for gifted referrals. Journal of Instructional Psychology. 26(2), 98-104.
214. Longden, K. A. (1984). Understanding of dissolving by 11-12 year-old children. Unpublished M.Sc, thesis, University of Oxford. (Συμπεράσματα από αυτή την μεταπτυχιακή διατριβή περιέχονται στο βιβλίο «Οικο-δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών», σ. 192, Εκδ. Τυπωθήτω. Αθήνα).
215. Lynch, P. P., Ndyetabura, V. L. (1983). Practical work in schools: an examination of teachers' stated aims and the influence of practical work according to students. Journal of Research in Science Teaching, 20 (7), 663-671.
216. Magnusson, S. & Krajcik, J. S. (1993). Teacher Knowledge and representation of content in instruction about heat energy and temperature. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Atlanta.
217. Marais, P. & Jordaan, F. (2000). Are we taking symbolic language for granted? Journal of Chemical Education, 77, 1355-1357.
218. Marzano, R. (1992b). The many faces of cooperative. In Davison, N., Worsham, T, Enhancing thinking through cooperative learning. New York: Teachers College Press.
219. Mas., C. J. F., Perez, J. H., Harris, H. (1987). Parallels between adolescents' conceptions of gases and the history of chemistry. Journal of Chemical Education, 64 (7), 616-618.
220. Mathews, M. (1994). Science teaching. The role of history and philosophy of science. Routledge London.
221. Matthews, M. (1993). Constructivism and science education: Some epistemological questions. Journal of Science Education and Technology, 2(1), 359-369.
222. Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992). Journal of Educational Psychology, 84, 444-452.
223. McClelland, J. (1987). Pressure points. Physics Education. 22, 107-109.
224. McCombs, B. (1988). Motivational skills training. In Weinstein, C., et al (eds), Learning and Study Strategies, Academic Press, San Diego.
225. McKinnon, J. W., Renner, J. W. (1971). Are Colleges concerned with intellectual development? American Journal Physics, 39, 1047.
226. Meheut, M., Saltiel, E., Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 year-old) conceptions of combustion. European Journal of Science Education 7(1), 83-93.



227. Mehut, M., Chomat, A. (1990). The bound of children's atomism: An attempt to make children build up a particulate model of matter. In Lijnse, P. L., Licht, P., Vos, W. de, Waarlo, A. J.: Relating macroscoping phenomena to microscoping particles: a central problem in secondary science education. Utrecht: CD-ss Press, pp. 266-282.

228. Mellar, H. G. (1987). The understanding of proportion in young adults: Investigating and teaching a format level skill through a logo micro world, Ph.D. thesis, University of London.

229. Mellar, H. G. (1991). Modelling student's thinking on a proportional reasoning task. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 22, 111-119.

230. Mellar, H. G. & Bliss, J. (1993). Expressing the student's concepts versus exploring the teacher's: issues in the design of micro worlds for teaching. Journal of Educational Computing Research, 9, 1, 89-113.

231. Meyer, L. (1987). Ομαδική διδασκαλία. Μεταφ. Α. Κουτσούκη, εκδ. Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.

232. Millar, R., Driver, R. (1987). Beyond processes. Studies in Science Education, 14 (9), 33-62.

233. Millar, R. (1989). Constructive criticisms. International Journal of Science Education, 11, 587-596.

234. Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : Une approche fondée sur la connaissance. Didaskalia, 9, 9-30.

235. Miller, S., Robinson, D., Driver, R. (1985). Secondary students' ideas about air and air pressure. In Bell, B., Watts, M. and Ellington, K. (eds), Learning, Doing and Understanding in Science, pp. 58-63. Proceeding of a Conference, 11-13 July, Woolley Hall, Near Wakefield. SSCR, London.

236. Miller, G. A. (1986). The magical number, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63, 81-97.

237. Montes, L. D., Rockley, M. G. (2002). Teacher perception in the selection of experiments. Journal of Chemical Education, vol. 79, No. 2, 244-247.

238. Moore, J. W., Collins, R. W. (1979). A tool, not a gimmick: An introduction to computer applications in chemical education. Journal of Chemical Education, 56, 140.

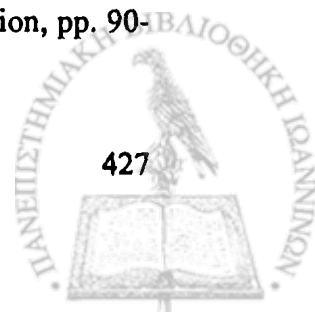
239. Moore, J. W., Gerhold, G., Bishop, R. D., Gelder, J. I., Pollnow, G. F., Owen, G. S. (1980). Computer-aided instruction with microcomputers II: Systems and applications, comparison and evaluation (CS). Journal of Chem Education, 57, 93.

240. Moore, J. W., Moore, E. A. (1984). Looking back and moving ahead in computer-related learning (CS). Journal of Chemical Education 61,699.

241. Moore, J. W., Moore, E. A., Lagowski, J. J. (1984). Powwow: The future of microcomputers in chemical education (CS). Journal of Chemical Education, 61, 1003.

242. Moyle, R. (1980). Weather. LISP working paper 21, Science Education Research Unit, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

243. Munby H. & Russell, T. (1992). Transforming chemistry research into chemistry teaching: The complexities of adopting new frames for experience. In T. Russell & H. Munby (eds.), Teachers and teaching: From classroom to reflection, pp. 90-108. London, New York, Philadelphia: The Flamer Press.



244. Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. Journal of Chemical Education, 69, 191-196.
245. Nakhleh, M. B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Journal of Chemical Education, 70, 52-55.
246. Nakhleh, M. B., Mitchell, R. C. (1993). Concept learning versus problem solving- There is a difference. Journal of Chemical Education, 70, 190-192.
247. National Research Council (1996). National Science Education Standards. National Academy Press: Washington, DC.
248. Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. Synthese, 80, 163-183.
249. Newman, B. & Johnstone, A. H. (1977). Laboratory study. University of Glasgow, Glasgow.
250. Newton, D. P., Newton, L. D. (2000). Do teachers support causal understanding through their discourse when teaching primary science? British Educational Research Journal. 26 (5), 599-613.
251. Niaz, M. (1989). Dimensional analysis: A neo-piagetian evaluation of M-demand of chemistry problems. Research in Science & Technology Education, 7, 153.
252. Nicholls, G., Prigogine, I. (1989). Exploring complexity. Freeman, New York.
253. Nicholls, B. (1999). Pre-laboratory support dedicated software. University Chemistry Education 3, 22.
254. Northway, M. L., Weld, L. (1974). Sociometric testing. University of Toronto Press. Canada.
255. Novak, I. D. (1988). Learning science and the science learning. Studies in Science Education 15, 77-101.
256. Novick, S., Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding. Education in Chemistry 28 (4), 273-281.
257. Novick, S., Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. Science Education 65 (2), 187-196.
258. Nussbaum, J., Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy, Instruct Science 11, 183-208.
259. Nussbaum, J., Novick, S. (1982). A study of conceptual change in the classroom. A paper presented at NARST annual meeting, Chicago, U.S.A.
260. Nussbaum, J. (1988). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's Ideas in Science, Open University Press, Milton Keynes, pp. 124-144.
261. Nurrenbern, S. (2001). Piaget's theory of intellectual development revisited. Journal of Chemistry Education, 78, 1107-1110.
262. Olney, D. J. (1997). On laboratory work. Journal of Chemical Education, vol. 74, No. 11, 1343-1345.
263. Oversby, J. (2000). Models in explanations of chemistry. In J.K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), Developing models in science education (pp. 227-251). Dordrecht, Netherlands: Kluwer.
264. Paivio, A. (1971). Imagery and verbal processes. Holt, Rinehart & Winston, N. Y.



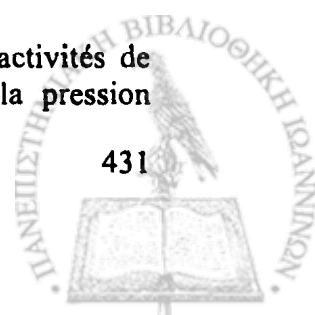
265. **Paivio, A. (1986).** Mental representations, New York: Oxford University Press.
266. **Pascual-Leone, J. (1970).** A mathematical model for the transition in Piagetian development stages. Acta Psychologica, 32, 301-345.
267. **Pavelich, M. J., Abraham, M. R. (1979).** An inquiry format laboratory program for general chemistry. Journal of Chemical Education, 56, 100.
268. **Perkins, D. (1992).** Smart schools: Better thinking and learning for every child. New York: The Free Press.
269. **Perret-Clermont, A. M. (1979).** La construction de l'intelligence dards l'interaction sociale. Berne, Peter Lang.
270. **Peterson, R., Treagust, D., Garnett, P. (1986).** Identification of secondary student's misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. Research in Science Education 16, 40-48.
271. **Pfund, H. (1981).** The atom – the final link in the division process or the first building block? Pre-instructional conceptions about the structure of substances. Chemica Didactica 7, 75-94.
272. **Piaget, J. (1929).** The child's conception of the world. Routledge and Kegan Paul: London.
273. **Piaget, J. (1930).** The child's conception of physical causality. Kegan P., Trench, Trubner & Co. Ltd.
274. **Piaget, J. (1947).** Η ψυχολογία της νοημοσύνης. Μετάφ. Ε. Βλάχου, Εκδ. Καστανιώτη (1988). Αθήνα.
275. **Piaget, J. (1950).** The Psychology of Intelligence. Routledge & Kegan Paul (Η παραπομπές αντιστοιχούν στην ελληνική μετάφραση (1988). Η Ψυχολογία της Νοημοσύνης. Εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα.)
276. **Piaget, J. (1965).** Judgment and Reasoning in the child. Routledge & Kegan P. Ltd.
277. **Piaget, J. (1965).** The child's conception of number. Routledge and Kegan P. Ltd.
278. **Piaget, J. (1966).** The growth of logical thinking. Routledge and Kegan P. Ltd.
279. **Piaget, J. (1966).** The origin of intelligence in the child. Routledge and Kegan P. Ltd.
280. **Piaget, J. (1967).** Play, dreams, imitation in childhood. Routledge & Kegan P. Ltd (Πρόκειται για τον αμερικάνικο τίτλο της μετάφρασης του έργου "La formation du symbole chez l'enfant", Delachaux et Niestle, Neuchatel, 1945).
281. **Piaget, J. (1973).** The child's conception of the world. Paladin, London.
282. **Piaget, J., Inhelder, B. (1985).** Growth of Logical Thinking. Basic Books, New York.
283. **Pickering, M. (1987).** What goes on in students' heads in lab. Journal of Chemical Education, 64, 521.
284. **Pirolli, P. L., Anderson, J. R. (1985).** The role of learning from examples in the acquisition of recursive programming skills. Canadian Journal of Psychology, 39 (2), 240-272.
285. **Pirolli, P. L. (1986).** A cognitive model and computer tutor for programming recursion. Human-Computer Interaction, 2, 319-355.



286. Plumsy, R. (1996). Transmuted Labs. Journal of Chemical Education, vol. 73, No. 5, 451-454.
287. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. Science Education 66, 211-227.
288. Prieto, J., Blanco, A., Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11-14 year-old students about the nature of solutions. International Journal of Science Education 11(4), 451-463.
289. Pushkin, D. B. (1997). Where do ideas from students come from? Applying Constructivism and Textbook problems to the laboratory experience. Journal of College Science Teaching 26, 238-242.
290. Raths, L. E., Wassermann, S. A., Jonas, A., Rothstein, A. (1986). Teaching of thinking: theories, strategies and activities for the classroom. Teacher College, Columbia University, New York.
291. Reed, S. K., Ernst, G. W. & Banerji, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. Cognitive Psychology, 6, 436-450.
292. Reed, S. K., Dempster, A. & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra problem. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 11 (1), 106-125.
293. Reif, F. (1973). Στατιστική Φυσική. Τόμος 5 (Statistical Physics – Berkeley Physics Course - vol.5, by McGraw-Hill Inc). Μετάφ. Γκιουλέα, Π., Μπαλά, Α., Στεφανή, Κ., Χρυσού, Ε. Εκδ. Κορφιάτης, Αθήνα (1978).
294. Reigosa, C., Jimenez-Aleixandre, M. P. (2001). Deciding how to observe and frame events in an open physics problem. Physics Education. 36 (2), 129-134.
295. Renkl, A. (1995). Learning for later teaching. Learning and Instruction, 5 (1).
296. Renner, J. W. Lawson, A. E. (1973). Promoting intellectual development through science teaching. Physics Teacher, 11(5), 165.
297. Richardson, V., Renner, J. W. (1970). A study of inquiry-discovery method of laboratory. Journal of Chemical Education 47, 77-79.
298. Richmond, P. G. (1970). Εισαγωγή στον Πιαζέ. Μετάφ. Α. Κάντας, Εκδ. Υποδομή, Αθήνα.
299. Robardet, G., Guillaud, J. C. (1995). *Eléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Publications de l'IUFM de Grenoble.
300. Rollnick, M., Rutherford, M. (1990). African primary school teachers – what do they hold on air and air pressure? International Journal of Science Education. 12(1), 101-113.
301. Rollnick, M., Rutherford, M. (1993). The use of a conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air. International Journal of Science Education, 15 (4), 363-381.
302. Roth, K. J. (1990). In *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*. Jones, B. F., Idol, L., Eds. Lawrence Earlbaum Associates: Hillsdale, NJ, pp. 157-175.
303. Roth, W. M. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. Journal of Research in Science Teaching, 31, 197-223.



304. Rowell, J. A., Dawson, C. J., Lyndon, H. (1990). Changing misconceptions: a challenge to science educators. International Journal of Science Education 12(2), 167-175.
305. Rubin, D. (1985). Teaching elementary language arts. Holt, Rinehart and Winston, New York.
306. Ruggiero, S., Cartelli, A., Dupre, F. and Vincentini-Missoni, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: mental representations by Italian middle school pupils. European Journal of Science Education 7(2), 181-194.
307. Rutherford, A. (2001). Introducing ANOVA and ANCOVA: A GLM approach. Sange, London.
308. Russel, J. W., Kozma, R. B., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N., Davis, J. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. Journal of Chemical Education, 74, 330-334.
309. Salkind, N. J. (2000). Statistics for people who (think they) hate statistics. Thousand Oaks, CA: Sage.
310. Sanger, M. J., Phelps, A. J. & Fienhold, J. (2000). Using a computer animation to improve studies' conceptual understanding of a can-crushing demonstration. Journal of Chemical Education, 77(1), 1517-1520.
311. Sanger, M. J., Brecheisen, D. M., Hynek, B. M. (2001). Can computer animations affect college biology students' conceptions about diffusion & osmosis? American Biology Teacher, 63, 104-109.
312. Samples, R. (1992). Cooperation. In Davison, N., Worsham, T. (eds), Enhancing thinking through cooperative. Teachers College Press, New York.
313. Scardamalia, M. (1977). Information processing capacity and the problem of horizontal decalage: A demonstration using combinational reasoning tasks. Child Psychology, 48, 28-37.
314. Scerri, E. R. (2003). Philosophical confusion in chemical education research. Journal of Chemical Education, 80 (5), 468-474.
315. Schmidt, H. J. (2000). In the maze of chemical nomenclature – How students name oxo salts. International Journal of Science Education, 22, 253-264.
316. Schneeberger, P. (1999). La pratique expérimentale dans la classe : Une étude de cas en première S. Actes du colloque de l'ARDIST « L'actualité de la recherche en didactique des sciences et des techniques » ENS Cachan, Paris, 173-177.
317. Schunk, D. (2000). Learning theories: An educational perspective (3<sup>rd</sup> ed.). Saddle River, N.J. : Prentice-Hall.
318. Shepardson, D. P., Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. Cognitive Psychology 3, 228-243.
319. Shepardson, D. P., Moje, E. B. (1994). The impact of a science demonstration on children's understanding of air pressure. Journal of Research in Science Teaching, 31(3), 243-258.
320. Serre, G. M. (1982). A study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (aged 11-13) when they interpret experiments about air pressure. European Journal of Science Education 4 (3), 299-309.
321. Sere, M. G., Chomat, A. (1983). Analyse de l'influence d'activités de classe sur les représentations des élèves. Exemple : L'enseignement de la pression





atmosphérique en sixième. Cinquièmes journées sur l'éducation scientifique, Chamonix, France. (Περιέχεται στο βιβλίο: Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες, των R. Driver, E. Guise & A. Tiberghien. Εκδ. Τροχαλία, Κεφ. 6).

322. Sere, M. G. (1983). Premiers pas et premiers obstacles a l'acquisition de la notion de pression. Working paper, LIRESPT, University of Paris, VII, Paris. (Περιέχεται στο βιβλίο: Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες, των R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien. Εκδ. Τροχαλία, Κεφ. 6).

323. Sere, M. G. (1985). The gaseous state. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's ideas in science, Open University Press, Milton Keynes.

324. Sere, M. (1986). Children's conception of the gaseous state, prior to

325. teaching. European Journal of Science Education 8(4), 314-425.

326. Sere, M. G., Leach, J., Niedderer, H., Psillos, D., Tiberghien, A., Vicentini, M. (1998). Improving science education: Issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe, Final Report.

327. Shayer, M. (1971). How to assess science courses. Education in Chemistry, 7, 182-186.

328. Sheskin, D. J. (1997). Handbook of parametric and nonparametric procedures. New York: CRC Press.

329. Short, B. J., Carver, J. S., Hunter, W. J. F., Young, J. R. (2001). Moments in constructivism. How does accepting failures allow us to examine our teaching? The chemical Educator, 6(2), 277-287.

330. Schulman, A. I. (1971). Recognition memory for targets from a scanned words list. British Journal of Psychology, 62, 335-346.

331. Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. Educational Researcher, 15, 4-14.

332. Smith, S. G., Sherwood, B. A. (1976). Educational uses of the PLATO computer. Science, 23, 192(4237), 344-352.

333. Smith, S. (1981). In personal computers in chemistry. Lykos, P., Eds. Wiley: New York, Chapter 14.

334. Smith, S. (1983). In computer applications in chemistry. Heller, S. R., Potenzzone, R., Eds., Elsevier: New York, pp. 103-110.

335. Smith, C., Carey, S., Wiser, M. (1984). A case study of the development of size, weight, and density. Cognition 21(3), 177-237.

336. Solomon, J. (1988). Studies in Science Education, 15, 103.

337. Spearman, C. (1939). Thurstone's work re-worked. Journal of Educational Psychology, Vol. 30, pp. 1-16.

338. Spencer, J. N. (1999). New directions in teaching chemistry: A philosophical and pedagogical basis. Journal of Chemical Education, vol. 76, No. 4, 566-569.

339. Stavy, R. (1987). Acquisition of conservation of matter. Paper presented at Second Conference on Misconceptions. Cornell University, Ithaca, N.Y.

340. Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. International Journal of Science Education, 10 (5), 552-560.

341. Stinchcombe, A. L. (1969). Environment: the cumulation of effects is yet to be understood. Harvard Educational Review, Vol. 39, pp. 511-522.



342. Summers, M., & Kruger, C. (1994). A longitudinal study of a constructivist approach to improving primary school teachers' subject matter knowledge in science. Teaching and Teacher Education, 10(5), 499-519.

343. Sutton, A. (1985). An introduction to assessment and evaluation processes and procedures. University College, Gardiff.

344. Sutton, C. (1998). New perspectives on language in science. In B. J. Fraser and k. g. Tobin (eds.), International Handbook of Science Education, pp. 27-38. Kluwer.

345. Swain, J. R. L. (1974). Practical objectives- a review. Education of Chemistry, 11 (5), 152-156.

346. Taylor, N., Coll, K. R. (2002). Pre-service primary teachers' mental models kinetic theory. Chemistry Education: Research and Practice (CERP), 3(3), 293-315. (<http://www.rsc.org/Education/CERP>).

347. Tennant, M. (1988). Psychology and adult learning. Routledge, London.

348. Thagard, P. (1992). Conceptual revolutions. Princeton: Princeton University Press.

349. Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L. (2001). The role of models and the development of science ideas in learning organic chemistry. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. St Louis, Missouri.

350. Tsaparlis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education. Journal of Chemical Education, 74, 922-925.

351. Tsaparlis, G. (2001). Theories in science education at the threshold of the third milleniu. Chemistry Education: Research and Practice, 1, 1-3.

352. Tsaparlis, G. (2003). Globalisation in chemistry education research and practice: Necessity or utopian? Chemistry Education: Research and Practice, 4 (1), 3-10.

353. Tudge, J., Rogoff, B. (1989). Peer influences on cognitive development. In Bruner, J., Bornstein, H. Interaction in Human Development. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

354. Turner, J. R., Thayer, J. (2001). Introduction to analysis of variance. Thousand Oaks, CA: Sage.

355. Tyler, R. (1998). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change. International Journal of Science Education, Vol. 20, No. 8, 929-958.

356. Tyler, R. (1992). Children's explanations of air pressure generated by small group activities. Research in Science Education, 22, 393-402.

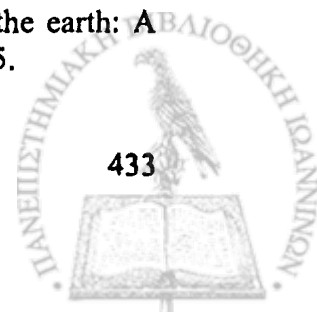
357. Vernon, P.E. (1961). The structure of human abilities. Methuen, London.

358. Vlassis, C. G. (1978). A laboratory manual for chemistry. Williams & Wilkins Co. Baltimore.

359. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. Learning and Instruction, 4, 45-69.

360. Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/ night cycle. Cognitive Science, 18, 123-183.

361. Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of Conceptual Change in Childhood. Cognitive Psychology, 24, 535-585.



362. Vygotski, L. S. (1934). Thought and language. Translated and edited by E. Hanfmann and G. Vakar. M.I.I. Press 1962. (Μετάφραση στα Ελληνικά από Α. Ρόδη, εκδ. Γνώση, 1993, Αθήνα).
363. Vygotski, L. S. (1978). Mind in society. The development of higher psychological process. Cambridge, MA: Harvard University Press.
364. Ward C. R., Herron, J. D. (1980). Helping students understand formal chemical concepts. Journal of Research in Science Teaching, vol. 17, No. 5, 387-400.
365. Wellington, J. (1998). Practical work in school science: which way now? Routledge, London.
366. Wells, G. (1996). The zone of proximal development and its implications for learning and teaching. Paper presented in Conference for Sociocultural Research. Genova, 1996.
367. Wertsch, J. (1991). Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action. Harvard University Press, Cambridge, MA.
368. Willemsen, E. W. (1995). So what is the problem? Difficulties at the gate. New Direction Teaching Learning, 61, 15-22.
369. Williamson, V. M., Abraham, M. R. (1995). Journal of Research in Science Teaching, 32, 521-534.
370. Wilson, S. M., Shulman, L. S. & Richert, A. E. (1987). 150 Different ways of knowing: Representations of Knowledge in teaching. In J. Calderhead (eds.), Exploring teacher's thinking, pp. 104-124. London: Cassell.
371. Wiser, M. & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In Gentner, D., Stevens, A. L. Mental Models. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
372. Witkin, H. A., Oltman, P., Raskin, E., & Karp, S. (1971). Manual: Embedded figures test, children's embedded figures test. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press, Inc.
373. Witkin, H. A. (1974). Psychological differentiation—Studies of development. New York, Wiley.
374. Witkin, H. A., Moore, C., Goodenough, D. & Cox, P. (1977). Field-dependent and field-independent cognitive style and their educational implications. Review of Educational Research 47, (1) 1-64.
375. Witkin, H. A. (1978). Cognitive styles in personal and cultural adaptation. Worcester, Clark University Press.
376. Wright, J. C. (1996). Authentic environment in analytical chemistry using cooperative methods and open-ended laboratories in large lecture classes. Journal of Chemical Education, 73 (9), 827-832.
377. Young, B. (1979). Teaching primary science. Longman Group, Harlow.



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**Προέρευνα για τη Διδακτορική Διατριβή**

Βελτιστοποίηση πειραματικών δραστηριοτήτων στη χημεία με στόχο τη θετική τους επίπτωση στην κατανόηση εννοιών και στη λύση προβλημάτων – Έμφαση στην αέρια κατάσταση

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Μ. ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ**  
**ΦΥΣΙΚΟΣ – Μ.Δ.Ε. (Διδακτική Φυσικών Επιστημών)**

**Προέρευνα I:** Ιδέες των μαθητών (12-15 ετών) σε σχέση με θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα – κοιτάζοντας πίσω στην ιστορία της επιστήμης

**Προέρευνα II:** Ιδέες των μαθητών (12-15 ετών) σε σχέση με θεμελιώδεις ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης – κοιτάζοντας πίσω στην ιστορία της επιστήμης

**Προέρευνα III:** Εκτίμηση της εννοιολογικής κατανόησης μαθητών (α' λυκείου) της αέριας κατάστασης - έμφαση στην ατμοσφαιρική πίεση με τη χρήση πειραμάτων επίδειξης

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006



## ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ Ι

### ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ (12-15 ΕΤΩΝ) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ- ΚΟΙΤΑΖΟΝΤΑΣ ΠΙΣΩ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

#### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

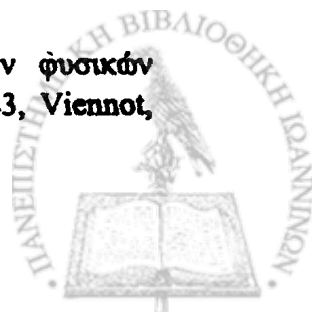
Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τεστ που έγιναν σε τρεις διαφορετικές ηλικιακές ομάδες μαθητών, που καλύπτουν τη βαθμίδα της υποχρεωτικής εκπαίδευσης. Συγκεκριμένα σε μαθητές που αποφοίτησαν από το δημοτικό σχολείο και βρίσκονταν στην αρχή της α' γυμνασίου, σε μαθητές στην αρχή της β' γυμνασίου και σε μαθητές στην αρχή της α' λυκείου. Το τεστ συνίστατο από οκτώ ανοιχτές ερωτήσεις σύντομης ανάπτυξης, που αφορούν οι περισσότερες κατανόηση και εφαρμογή γνώσεων που σχετίζονται με βασικές φυσικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα (οι πέντε πρώτες) και την ατμοσφαιρική πίεση (οι τρεις τελευταίες). Οι ερωτήσεις περιέχονταν στα βιβλία του μαθητή της ε' και στ' τάξης του δημοτικού σχολείου.

Η έρευνα διαπιστώνει ότι η πλειονότητα των αποφοίτων του δημοτικού σχολείου αλλά και των αποφοίτων της υποχρεωτικής εκπαίδευσης έχει περιορισμένο επίπεδο γνώσεων σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες που σχετίζονται με την πιο κοινή μορφή αέριας κατάστασης, τον ατμοσφαιρικό αέρα. Μέρος της δυσκολίας είναι το εύρος των εναλλακτικών ιδεών που οι μαθητές κατέχουν σε σχέση με την αέρια κατάσταση και την έννοια της πίεσης. Οι ιδέες αυτές καταγράφονται και ιδιαίτερα επισημαίνονται όσες παρουσιάζονται με την μεγαλύτερη συχνότητα. Επιπλέον επισημαίνονται ομοιότητες μεταξύ των ιδεών που κατέχουν οι μαθητές με εκείνες των επιστημόνων σε προηγούμενες επιστημονικές περιόδους.

**Λέξεις κλειδιά:** σύσταση ατμοσφαιρικού αέρα, ο αέρας έχει βάρος, ύπαρξη υδρατμών στις συνθήκες συνθήκες, υγροποίηση υδρατμών, διακρίσωση αέρας σε σπογγώδη σώματα.

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Pfund & Duit 1997, Driver 1983, Guesne 1984, Osborne, 1983, Viennot,



1979, McDermott 1984, Sere 1986, Nussbaum & Novick 1982) που αφορά τις ιδέες των παιδιών για φαινόμενα που εξετάζει η επιστήμη και έχει θεμελιωθεί η πεποίθηση ότι:

- Οι μαθητές προσέρχονται στις σχολικές τάξεις με προϋπάρχοντες τρόπους εξήγησης για αρκετά φαινόμενα που πρόκειται να διδαχθούν.
- Οι προϋπάρχουσες έννοιες σχηματίζουν μοντέλα με κάποια δομή.
- Αυτές οι έννοιες μπορεί να είναι πολύ ανθεκτικές και διατηρούνται στο χρόνο. Η επίδραση της συμβατικής διδασκαλίας για μεγάλα ποσοστά μαθητών δεν μετατοπίζει αποτελεσματικά τις προϋπάρχουσες έννοιες τους προς τις επιστημονικά αποδεκτές.
- Συχνά αυτές οι έννοιες μοιάζουν με επιστημονικές απόψεις που είχαν οι επιστήμονες σε προηγούμενες επιστημονικές περιόδους.

Στην παρούσα εργασία διερευνούμε κυρίως το βαθμό κατανόησης των μαθητών, ηλικίας 12-15 ετών, βασικών ιδιοτήτων του ατμοσφαιρικού αέρα και της ατμοσφαιρικής πίεσης, με τη μέθοδο του ερωτηματολογίου.

Η ταξινόμηση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών απέδωσε στοιχεία που συνθέτουν το εννοιολογικό τους πεδίο σε σχέση με τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, την υλική του υπόσταση, τη διαπίστωση ύπαρξης υδρατμών στις συνήθεις συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας καθώς και την υγροποίησή τους. Επίσης η μελέτη απέδωσε στοιχεία για το πώς οι μαθητές κατανοούν τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος από την επιφάνεια της Γης, την αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση που ασκείται από τον περιεχόμενο αέρα στο εσωτερικό κλειστών δοχείων και τον τρόπο που δρα η ατμοσφαιρική πίεση σε μια λεπτή επιφάνεια που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Περνώντας στις επιμέρους ερωτήσεις, ένας στους τρεις περίπου μαθητές (33,0%) από το σύνολο του δείγματος των μαθητών που απάντησαν, αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, και μόνο το 3,9% δίνει τη σωστή τους αναλογία. Επιπλέον το 80,1% δεν αναφέρουν κανένα συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα σε μικρή αναλογία. Λιγότεροι από δύο στους δέκα μαθητές (17,7%) σκέπτονται τον αέρα ως υλικό σώμα που έχει βάρος. Η ύπαρξη υδρατμών στις συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας αιτιολογείται από το 44,1% των μαθητών που απάντησαν, εκ των οποίων το 28,8% την βεβαιώνει με παραδείγματα. Η υγροποίηση ή συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα αναγνωρίζεται και εφαρμόζεται για την εξήγηση του θαμνώματος των τζαμιών το χειμώνα από το 8,8%. Εν μέρει ικανοποιητικό είναι το ποσοστό των μαθητών (37,4%) που προτείνουν απλά πειράματα για τη διαπίστωση της ύπαρξης αέρα σε σπογγώδη σώματα.

Αιτιολογήσεις εν μέρει αποδεκτές για τη μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε σχέση με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης δίνονται από το 40,3%. Η εξισορρόπηση της πίεσης που ασκεί ο αέρας μέσα σε κλειστό δοχείο (μπαλόνι) με την εξωτερική ατμοσφαιρική εξηγείται από το 18,9%. Τέλος η εφαρμογή του τρόπου που ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση στις επιφάνειες ενός λεπτού φύλλου που βρίσκεται στον αέρα κατανοείται μόνο από το 17,9%.

Η μελέτη επιπλέον σημειώνει ποσοτικές και ποιοτικές μεταβολές των εννοιών των μαθητών με το χρόνο διδασκαλίας, από την αποφοίτηση του δημοτικού σχολείου μέχρι



την αποφοίτηση του γυμνασίου. Εντοπίζονται εννοιολογικά μοντέλα που κατέχουν οι μαθητές και επισημαίνονται «εμπόδια» που πρέπει να ξεπεραστούν για να επιτύχουν μια επιστημονική έννοια της πίεσης και βασικές ιδιότητες της αέριας κατάστασης.

Επειδή η αναφορά στον όρο «γνώση» και «κατανόηση (understanding) στην παρούσα εργασία είναι συχνή, θα επιχειρήσουμε μια σύντομη σκιαγράφηση της σημασίας των όρων στο πλαίσιο της θεωρίας της μάθησης. Η μάθηση της δηλωτικής γνώσης, κατά τους γνωσιακούς ψυχοπαιδαγωγούς ακολουθεί τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση το άτομο προσπαθεί να κατανοήσει τα νέα στοιχεία και για το λόγο αυτό επιχειρεί να τα συσχετίσει με την προϋπάρχουσα γνώση (Marzano, 1992, σ. 36), ο βαθμός στο οποίο το κατορθώνει καθορίζει και το βαθμό κατανόησης (Gage & Berliner, 1988). Η ομαδοποίηση περιπτώσεων ή γεγονότων κάτω από μια γενική αρχή λειτουργεί ως βάση για περαιτέρω μάθηση. Στη δεύτερη φάση το άτομο δημιουργεί με βάση τα «παλιά» και «νέα» γνωστικά στοιχεία εσωτερικά σχήματα που οργανώνουν, γενικεύουν και ανακεφαλαιώνουν τη δηλωτική γνώση (Van Bijk & Kintsch, 1983). Τέλος, στην τρίτη φάση το άτομο αναζητεί τρόπους διατήρησης της νέας μάθησης στη μνήμη. Με τις διαδικασίες συσχέτισης και αναδιοργάνωσης των γνωστικών σχημάτων, ολοκληρώνεται η διαδικασία κατανόησης, που επιτρέπει στο άτομο να αντλαμβάνεται μια ακολουθία λογικών σχέσεων και να θεωρεί τα στοιχεία ή τα γεγονότα από το όλο προς τα μέρη και αντίστροφα.

Η κατανόηση είναι η δεύτερη βαθμίδα στη γνωστική ταξινόμια του Bloom και αποτελεί μαζί με τη γνώση, το μαθησιακό χώρο στον οποίο κυρίως εστιάζεται η σχολική εργασία. Στο επίπεδο της κατανόησης ο μαθητής βρίσκεται όταν είναι σε θέση να αντλαμβάνεται το περιεχόμενο που έχει απομνημονεύσει. (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 209-210 και Krathwohl, Bloom κ.ά. 1964).

Μια άλλη προσέγγιση του νοήματος της κατανόησης, που φωτίζει περισσότερο τη σημασία της κατανόησης στο πλαίσιο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, γίνεται από τον Bigge, ο οποίος διακρίνει δύο επίπεδα, την ερμηνευτική ή επεξηγηματική (explanatory understanding) και τη λειτουργική ή διερευνητική κατανόηση (exploratory understanding ή functional understanding).

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης έχουμε ανάσυρση (reach out) και συγκέντρωση (gathering) επιμέρους στοιχείων από μια γνωστική ενότητα καθώς και ομαδοποίησή τους σε σχέση με μια γενική αρχή ή ιδέα. Καθώς τα διάφορα επί μέρους στοιχεία συναθροίζονται και αλληλοσυμπληρώνονται, αλληλοαναδεικνύονται και γίνονται κατανοητά. Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης, μπορούμε να πούμε ότι ένα άτομο κατανοεί κάποιο αντικείμενο, κάποια διαδικασία, κάποια ιδέα ή κάποιο γεγονός, αν βλέπει το πώς αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκπλήρωση κάποιου σκοπού ή στόχου. Στην πειραματική απόκτηση εμπειριών το άτομο δοκιμάζει στην αρχή μια ορισμένη σειρά ενεργειών, μετά μια άλλη, διατηρώντας μόνο εκείνα τα στοιχεία που λειτουργούν αποδοτικότερα. Στην συνέχεια μέσα από την προσποριζόμενη εμπειρία, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του περιβάλλοντος του ατόμου διαμορφώνουν προοδευτικά διάφορες «ενδεικτικές ποιότητες», π.χ. τα κατακόρυφα μαύρα σύννεφα «δείχνουν» βροχή.



Για να επιτευχθεί ο σκοπός της λειτουργικής κατανόησης θα πρέπει ο εκπαιδευτικός να εξασφαλίσει και στο περιεχόμενο και στη διαδικασία ορισμένες προϋποθέσεις. Σε ό,τι αφορά το περιεχόμενο, πρέπει να τονίζονται οι σχετικές έννοιες, οι γενικεύσεις και οι δυνατές σχέσεις (Bigge, 1982, σ. 426-432).

Τέσσερις από τις οκτώ ερωτήσεις που εξετάζουμε είναι ερωτήσεις εφαρμογής. Η εφαρμογή ως γνωστική ικανότητα βρίσκεται μια βαθμίδα υψηλότερα από την κατανόηση κατά την ταξινόμια των γνωστικών στόχων του Bloom. Αυτή αναφέρεται στην ικανότητα ενός ατόμου να χρησιμοποιεί αφηρημένες έννοιες, αρχές και θεωρίες σε καινούργιες ή σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Η ικανότητα του μαθητή να εφαρμόζει τη γνώση σε πραγματικές καταστάσεις αποτελεί σπουδαίο μέρος της μάθησης, αφού το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεων που παρέχει το σχολείο, πρέπει να προορίζεται για να αντιμετωπίσουν αργότερα οι μαθητές πρακτικά προβλήματα.

Ενώ στην κατανόηση δίνεται η αφαίρεση ή η γενίκευση και ο μαθητής προβαίνει στην ερμηνεία της ή την επέκταση σε παρόμοιες καταστάσεις, στην εφαρμογή ο μαθητής πρέπει να κάνει την κατάλληλη γενίκευση και στη συνέχεια να προβεί στην εφαρμογή της για να απαντήσει σε ένα πρόβλημα. Η εφαρμογή είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί αρκετή εξάσκηση που δεν προϋποθέτει μόνο την κατανόηση, αλλά και την ικανότητα μεταφοράς μιας γνώσης από ένα τομέα σε έναν άλλο και διευκολύνεται όπου υπάρχουν οι προϋποθέσεις που υποβοηθούν στη μεταβίβαση της μάθησης (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 210, Ζαβλανός, 1987, σ. 18).

Επανερχόμενοι στο θέμα της εργασίας μας θέλουμε να σημειώσουμε ότι η αέρια κατάσταση φαίνεται να είναι ένα ελκυστικό πεδίο για διδασκαλία, παρουσιάζει όμως ιδιαίτερη δυσκολία για τους μαθητές. Τα ευρήματα καταδεικνύουν την ποικιλία και τη συνθετότητα των εννοιών που κατέχουν οι μαθητές στην πρώτη βαθμίδα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και τη σταθερότητα και την έκταση τους στο χρόνο. Τα παραπάνω υπογραμμίζουν για μια ακόμη φορά τη δυσκολία της εννοιολογικής αλλαγής προς εκείνες τις έννοιες που είναι αποδεκτές από την σύγχρονη επιστημονική αντίληψη.

### **Ιδέες των μαθητών σε σχέση με βασικές ιδιότητες των αερίων και την αέρια κατάσταση**

Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις των παιδιών για τα αέρια (Brook & Driver, 1989, Sere, 1985 & 1986, Mas, Perez & Harris, 1987, Piaget, 1929, Stavy, 1988, Borghi, κ.ά. 1988). Τα ευρήματα από τις έρευνες αυτές μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω σημεία.

- Αρχικά τα παιδιά δεν αναγνωρίζουν στον αέρα και στα άλλα αέρια μια υλική υπόσταση. Τα μικρότερα παιδιά αν και δέχονται την ύπαρξη του αέρα, θεωρούν ότι έχει προσωρινό χαρακτήρα, όμοιο με αυτό των «σκέψεων».
- Στη σκέψη των παιδιών ο αέρας και το αέριο προκαλούν αντίθετα συναισθήματα. Ο αέρας είναι «καλός», χρήσιμος στη ζωή και στην αναπνοή, ενώ το αέριο είναι «κακό», γιατί μπορεί να είναι δηλητηριώδες, επικίνδυνο και εύφλεκτο.
- Αργότερα οι μαθητές αποκτούν μια συναίσθηση του υλικού χαρακτήρα των





αερίων. Ωστόσο ένα σημαντικό ποσοστό θεωρούν ότι ο αέρας και τα αέρια δεν έχουν μάζα ή βάρος.

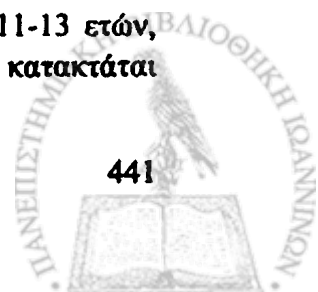
Η Leboutet-Bartell (1976) υποστηρίζει ότι η τελευταία αντίληψη στηρίζεται στην κοινή εμπειρία των παιδιών ότι τα αέρια τείνουν να ανεβαίνουν προς τα πάνω. Παιδιά, ηλικίας 9-13 ετών, τείνουν να προβλέπουν ότι τα αέρια έχουν την ιδιότητα του «αρνητικού βάρους» και γι' αυτό το λόγο όσο περισσότερο αέριο προστίθεται σ' ένα δοχείο τόσο πιο ελαφρύ γίνεται αυτό (Brook & Driver, 1989, Stavy, 1988).

Η Stavy (1988) ερεύνησε με Ισραηλινούς μαθητές, ηλικίας 9-15 ετών, τις αντιλήψεις τους για την υλική φύση των αερίων και κατέγραψε τις ιδέες τους, πριν και μετά τη διδασκαλία. Από τους μαθητές εξητείτο να προβλέψουν τι θα συνέβαινε στο βάρος μιας φιάλης διοξειδίου του άνθρακα, πριν και μετά τη χρήση της για την παραγωγή αεριούχου νερού, καθώς και να προβλέψουν τι θα συνέβαινε στο βάρος ενός ποτηριού με αεριούχο νερό, όταν φύγουν οι φυσαλίδες από αυτό. Μαθητές, ηλικίας 10-12 ετών, έδωσαν λιγότερο αποδεκτές απαντήσεις σε σχέση με μικρότερους και μεγαλύτερους μαθητές. Τα παιδιά σ' αυτή την ηλικιακή περιοχή φαίνεται να πιστεύουν σε μεγάλο ποσοστό ότι, επειδή το «αέριο είναι ελαφρύ», το βάρος του αεριούχου νερού είτε θα αυξηθεί είτε θα μείνει το ίδιο, αν και βλέπουν τις φυσαλίδες να φεύγουν από αυτό.

Οι Brook και Driver (1989) κατέγραψαν ότι παιδιά, ηλικίας 5 ετών, δε διαφοροποιούσαν το βάρος από τον όγκο αερίου και χρησιμοποιούσαν το εμφανές μέγεθος του δοχείου για να εκτιμήσουν το βάρος του περιεχόμενου σ' αυτό αέρα. Από την ηλικία των 12 ετών, τα παιδιά αρχίζουν να μη συγχέουν το βάρος των αερίων με τον όγκο τους. Στην ηλικία των 16 ετών λίγα παιδιά εξακολουθούν να διατηρούν αυτή τη σύγχυση. Στην ηλικία των 8 ετών η ιδέα του βάρους του αέρα συνδέθηκε με την εικόνα της πτώσης των αντικειμένων και ο αέρας έμοιαζε μάλλον «να αιωρείται τριγύρω» παρά να ασκεί πίεση. Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν ότι περίπου τα τρία τέταρτα των οκτάχρονων και τα μισά των δωδεκάχρονων του δείγματός τους θεωρούσαν ότι ο αέρας έχει «αρνητικό βάρος» ή καθόλου βάρος. Η ιδέα ότι ο αέρας έχει «θετικό βάρος» είχε κατακτηθεί μόνο από το ένα τέταρτο των δεκαεξάχρονων του δείγματος.

Η Carey (1985) βρήκε ότι μόνο το 36% των παιδιών ηλικίας 10-11 ετών σκέπτονται τον αέρα ως υλικό σώμα με την έννοια ότι καταλαμβάνει χώρο. Οι Brook και Driver (1989) υποστηρίζουν ότι αυτό επιτυγχάνεται από την πλειονότητα των παιδιών μετά την ηλικία των 8 ετών, και αφού προηγηθεί η αυξημένη χρήση της έννοιας «ανταγωνισμός για το χώρο». Η Carey (1991) ισχυρίζεται ότι τα παιδιά αναπαριστούν ένα υλικό σώμα με αρκετά διαφορετικό τρόπο από έναν ενήλικα. Οι αναπαραστάσεις τους έχουν πολύ μεγάλη ποιοτική διαφορά. Οι εννοιολογικές αλλαγές που αυτή περιγράφει σε σχέση με τον τρόπο που τα παιδιά σκέφτονται τις αέριες ουσίες, για ηλικίες πέρα από το δημοτικό σχολείο, εμπλέκουν όχι μόνο ένα πλούτο στην κατανόηση ιδιοτήτων του αέρα, αλλά μια αλλαγή στην οντολογική τους αντίληψη για τη φύση της υλικής ουσίας.

Η Sere (1985) αναφέρει ότι, παρόλο που μερικοί μαθητές, ηλικίας 11-13 ετών, νομίζουν ότι ο αέρας έχει «ελαφρότητα», η έννοια ότι ο αέρας έχει μάζα κατακτάται εύκολα από μαθητές 13 ετών μετά τη διδασκαλία.



Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία του Ruggiero κ.ά. (1985), που διερεύνησαν με δωδεκάχρονους και δεκατριάχρονους μαθητές τη σχέση μεταξύ αέρα και βαρύτητας. Βρήκαν ότι, για ένα ποσοστό μαθητών, ο αέρας και η βαρύτητα είναι έννοιες αδιαχώριστες: «τα πράγματα δεν πέφτουν στο διάστημα, γιατί δεν υπάρχει ατμόσφαιρα και, όταν απουσιάζει ο αέρας, το βάρος μηδενίζεται».

Η Sere (1985) σε μελέτη της με Γάλλους μαθητές ηλικίας 11-13 ετών, αναφέρει ότι οι μαθητές στην ηλικία των 11 ετών έχουν κατακτήσει την ιδέα της ύπαρξης του αέρα σε ανοιχτά δοχεία. Μεγάλο ποσοστό παιδιών αναφέρθηκε στην ικανότητα του αέρα να μπαινοβγαίνει στα δοχεία. Ωστόσο, βρήκε ότι μερικά παιδιά δεν ήταν σίγουρα αν ένα σφραγισμένο δοχείο περιέχει αέρα και κάποιοι μαθητές αναγνώριζαν την ύπαρξη του αέρα μόνο όταν αυτός εκινείτο.

Σε έρευνα του Miller κ.ά. (1985) μεταξύ μαθητών 11-15 ετών, για τις ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα, βρέθηκε με ανοιχτού τύπου ερωτήσεις, ότι οι περισσότεροι από τους μισούς εντεκάχρονους μαθητές του δείγματος χρησιμοποιούσαν αυθόρμητες ιδέες για να εξηγήσουν φαινόμενα που σχετιζόνταν με τον ατμοσφαιρικό αέρα, όπως π.χ. «το να ρουφάς με καλαμάκι». Μέχρι την ηλικία των 15 ετών, τα τρία τέταρτα των παραπάνω μαθητών έδωσαν εξηγήσεις που συμπεριλάμβαναν μόνο την έννοια του αέρα.

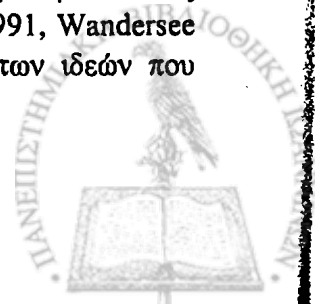
Μέχρις ότου τα παιδιά οικοδομήσουν την ιδέα ότι τα αέρια έχουν βάρος, είναι απίθανο να δεχτούν τη διατήρηση της μάζας, όταν περιγράφουν χημικές μεταβολές στις οποίες τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα είναι αέρια (Mas, Perez & Harris, 1987).

Πολλές έρευνες έχουν γίνει για τις ιδέες των παιδιών και των δασκάλων για τη σωματιδιακή δομή της αέριας κατάστασης (Dow κ.ά, 1978, Novick και Nussbaum 1978, 1981, Driver, 1983, Gabel & Samuel, 1987, Happs. 1980, Nussbaum, 1985). Οι Novick και Nussbaum μελέτησαν τις αντιλήψεις για την αέρια κατάσταση μαθητών 13 και 14 ετών που ήδη είχαν διδαχθεί σωματιδιακή δομή της ύλης. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι μόνο το 60% του δείγματος υπέδειξε ότι τα αέρια αποτελούνται από σωματίδια, το 46% ανέφερε ότι μεταξύ των σωματιδίων υπάρχει κενός χώρος και το 50% θεωρεί ότι η κατανομή των σωματιδίων στο χώρο οφείλεται σ' ένα είδος εσωτερικής κίνησης. Οι ίδιοι ερευνητές σε παρόμοιες μελέτες τους με μεγαλύτερους μαθητές προτείνουν την εφαρμογή μιας διδακτικής στρατηγικής βασισμένης στη γνωστική σύγκρουση για τη διδασκαλία της σωματιδιακής δομής (Novick & Nussbaum, 1981, Nussbaum & Novick, 1982).

Ο Ben-Zvi κ.ά. (1987) ερεύνησαν τον τρόπο που δεκαπεντάχρονοι οπτικοποιούν το σύμβολο  $O_2$  (g). Βρήκαν ότι μόνο το 10% το απεικόνιζε σαν πολλά διασκορπισμένα μόρια οξυγόνου.

### **Η ιστορία της επιστήμης και η διδασκαλία των φυσικών επιστημών δύο χώροι που τέμνονται**

Ένας χώρος της διδακτικής των φυσικών επιστημών που συνδέεται έμμεσα με την ιστορία και φιλοσοφία των επιστημών είναι οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Ένας αριθμός μελετητών (Matthews, 1989, 1992 & 1994, Sequeira & Leite, 1991, Wandersee 1985), έχουν υποδηλώσει ότι υπάρχουν χτυπητές ομοιότητες μεταξύ των ιδεών που



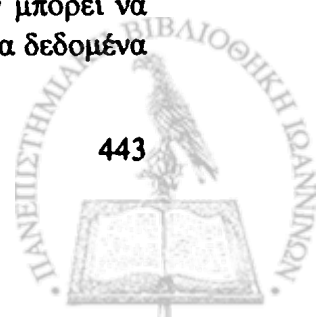
κατέχουν τα παιδιά στις μέρες μας για τα φυσικά φαινόμενα και των επιστημόνων σε προηγούμενες επιστημονικές περιόδους. Έχει δε προταθεί ότι αυτές οι ομοιότητες μπορούν να είναι ένα κατάλληλο μέσο για να βοηθήσει τους σπουδαστές να μετακινηθούν βαθμιαία από τις αρχικές τους ιδέες, με τις οποίες αυτοί προσέρχονται στην αίθουσα διδασκαλίας, προς περισσότερο επιστημονικά αποδεκτές.

Ένα ισχυρό επιχείρημα για να υποστηρίξουμε ότι οι σύγχρονοι μαθητές και οι «πρόδρομοι επιστήμονες» κατέχουν παρόμοιες έννοιες ή εννοιολογικές δομές προήλθε από τη μελέτη των εναλλακτικών ιδεών στο χώρο της δύναμης και κίνησης (DiSessa, 1982, McDermott, 1984, Viennot, 1979, White, 1983, Nersessian & Resnick, 1989). Η ακολουθία των εννοιών ή των εννοιολογικών δομών μέσα από τις οποίες οι σπουδαστές περνούν στη διάρκεια της πρώτης και δεύτερης δεκαετίας της ζωής τους βρίσκεται σε παραλληλία με την ιστορική εξέλιξη των εννοιών αυτών από περίπου το 500 π.Χ. έως το 1400 μ.Χ. (Gauld, 1991). Μια εμπειριστατωμένη μελέτη σχετικά με τη δύναμη και την κίνηση διεξήχθη από τους Piaget και Garcia, οι οποίοι εντόπισαν την παραλληλία των εννοιολογικών δομών που κατείχαν οι μαθητές με εκείνες του Αριστοτέλη καθώς και με την έννοια της ώθησης που κατείχαν επιστήμονες του μεσαίωνα, όπως ο Buridan και ο Oresme (Piaget & Garcia, 1989, p. 30 – 87, Μπρενγκιέ, 1978, σελ. 125 – 138).

Σ' αυτόν τον ερευνητικό χώρο, που συνδέει τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών με την ιστορία τους, υπάρχει ένας αριθμός παρατηρήσεων, οι οποίες απαιτούν μια λεπτομερή εξέταση πριν μια τέτοια διαδικασία αρχίσει να επηρεάζει την πρακτική στην αίθουσα διδασκαλίας με ένα ουσιαστικό τρόπο. Κατ' αρχήν υπάρχει η γενική παρατήρηση ότι οι ομοιότητες πράγματι υπάρχουν, ο βαθμός όμως των ομοιοτήτων δεν είναι καθαρός. Δεύτερον υπάρχουν προτάσεις σχετικά με την προέλευση αυτών των ομοιοτήτων (McCloskey & Kargon, 1988, p. 49-67) και τέλος υπάρχουν προτάσεις οι οποίες σχετίζονται με τις επιπτώσεις που έχουν οι ομοιότητες αυτές στη διδασκαλία της επιστήμης.

Η χρησιμοποίηση των ομοιοτήτων θα πρέπει πάντοτε να λαμβάνει σοβαρά υπόψη, ότι οι γνωστικές λειτουργίες των παιδιών και των επιστημόνων σε προηγούμενες ιστορικές περιόδους παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Η εξέλιξη των ιδεών σε ένα παιδί ακολουθεί ουσιαστικά διαφορετική διαδικασία σε σχέση με τη συνειδητή δομική θεωρία του επιστήμονα, των προηγούμενων περιόδων, ο οποίος ήταν ενήμερος των δεδομένων, τα οποία απαιτούσαν εξήγηση, των ιδεών των άλλων επιστημόνων και των συναφών προβλημάτων που εμπλέκονται στο θέμα που μελετά.

Μια άλλη διαφορά είναι ότι οι ιδέες των παιδιών αναπτύσσονται ατομικά, ενώ οι επιστημονικές, για να είναι τέτοιες, πρέπει να αναπτυχθούν με ανταλλαγή απόψεων και σε αντιπαράθεση με τις απόψεις των άλλων επιστημόνων που εργάζονται στο ίδιο ή σε παρόμοιο πεδίο. Οι ιδέες των παιδιών αρχίζουν πάντοτε να αναπτύσσονται από το ίδιο σημείο εκκίνησης, την καθημερινή εμπειρία, ενώ εκείνες των επιστημόνων θα αρχίσουν από τη σύγχρονη επιστημονική γνώση και έτσι θα έχουν την τάση να είναι σωρευτικές. Επιπλέον κάποια σημαντικά εμπειρικά δεδομένα των πρώιμων επιστημόνων μπορεί να μην είναι σημαντικά ή προσिता στους σύγχρονους σπουδαστές. Για παράδειγμα δεδομένα



παρατηρήσεων σχετικά με την κίνηση των πλανητών δεν είναι κάτι το οποίο εύκολα συνδέεται με την καθημερινή εμπειρία των μαθητών σήμερα.

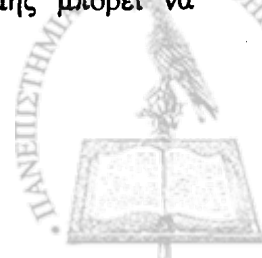
Το κοινωνικό-πολιτιστικό πλαίσιο, στο οποίο αναπτύχθηκαν οι απόψεις των «πρώιμων επιστημόνων» είναι εντελώς διαφορετικό από εκείνο στο οποίο αναπτύσσονται τα παιδιά του σήμερα όπου οι προσλαμβάνουσες παραστάσεις τους δεν προέρχονται αποκλειστικά από το φυσικό περιβάλλον αλλά και από το σύγχρονο τεχνικό και τεχνολογικό. «Επιπλέον όχι μόνον διαφορές στις έννοιες καθ' εαυτές πρέπει να αναμένονται αλλά και οι λεπτομέρειες στον τρόπο που αλλάζουν οι έννοιες και οι εννοιολογικές δομές θα πρέπει να είναι επίσης διαφορετικές» (Gauld, 1988).

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή του ιστορικού υλικού της επιστήμης μπορεί να είναι χρησιμοποίηση του για να διδαχθεί η «επιστημονική μέθοδος». Η πρώτη συστηματική εφαρμογή της ιστορίας της επιστήμης στη διδακτική της φυσικής άρχισε να διαμορφώνεται τη δεκαετία του '50 στις Η.Π.Α. Ο Conant με μερικούς από τους συναδέλφους του στο Harvard ανέπτυξαν το 1957 μια δίτομη συλλογή οκτώ ιστορικών περιπτώσεων με τίτλο "*Harvard Case Histories in Experimental Science*", στη βάση της ιδέας ότι μελετώντας την εργασία των μεγάλων επιστημόνων μπορούμε να παρουσιάσουμε την «τακτική και τη στρατηγική της επιστήμης». «Επιλεγμένες γόνιμες περιπτώσεις από την πρόσφατη περίοδο της επιστήμης που απαιτούν ένα σχετικά μικρό αριθμό γεγονότων πάνω στα οποία μπορείς να στηριχθείς ή τεχνικών προϋποθέσεων μπορούν να είναι τα καλύτερα παραδείγματα διανοητικής ψηλάφησης που εμπλέκουν το σπουδαστή στην επιστημονική ερευνητική διαδικασία» (Conant, 1947 & 1957).

Στο ίδιο πλαίσιο εργάστηκε και ο Giunta, που χρησιμοποίησε επιλεγμένο υλικό από τις ανακοινώσεις και διαλέξεις των W. Ramsay και J. Strutt (μετέπειτα Lord Rayleigh) σχετικά με την ανακάλυψη του αργού και των άλλων ευγενών αερίων για να διδάξει σε σπουδαστές «επιστημονική μέθοδο», εφαρμόζοντας την ιδέα του Conant (Giunta, 1998).

Μια αξιοσημείωτη απόπειρα στο πλαίσιο εισαγωγής της ιστορίας της επιστήμης ως παιδαγωγικό και διδακτικό εργαλείο είναι ένα από τα προγράμματα διδασκαλίας της φυσικής σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, που αναθεώρησαν την παραδοσιακή διδασκαλία στις Η.Π.Α., τη δεκαετία του '60 και επηρέασαν τα μεταγενέστερα προγράμματα σ' ολόκληρο τον κόσμο. Το «*Harvard Project Physics Course – H.P.P.*», με συγγραφείς τους G. Holton, S. Brush, F. Watson & J. Rutherford. Το πρόγραμμα αυτό υποστηρίζει ένα κοινωνικό-πολιτιστικό προσανατολισμό της επιστήμης, όσο και μια πρώτη αιχμή προς την κατεύθυνση της ερευνητικής πειραματικής μεθοδολογίας. Το πρόγραμμα H.P.P οικοδομήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να «αγγίζει» τόσο τους μαθητές με καλό μαθηματικό υπόβαθρο και ενδιαφέρον για τις επιστήμες και την τεχνολογία, όσο και αυτούς με ιδιαίτερη κλίση προς τις ανθρωπιστικές επιστήμες. Το 1967 σε συμπόσιο που έγινε για την αξιολόγησή του προγράμματος, αναφέρθηκαν αρκετά ενθαρρυντικά συμπεράσματα κυρίως όσον αφορά στην αλλαγή στάσης των μαθητών απέναντι στη φυσική (Physics Teacher 5, No 2, 1967).

Πρόσφατα, αρκετοί ερευνητές στην διδακτική των φυσικών επιστημών έχουν προσφέρει αξιόλογες προτάσεις για το πώς η ιστορία της επιστήμης μπορεί να



χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία (Nussbaum, 1990, Sequeira & Leite, 1991). Οι Lin & Cheng, ενσωμάτωσε στο διδακτικό υλικό της γ' γυμνασίου, δύο προτάσεις από την ιστορία της χημείας, μια από την περίπτωση της ατμοσφαιρικής πίεσης και μια από την ατομική θεωρία. Διαπίστωσε ότι οι μαθητές του ανέπτυξαν καλύτερη κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με τις παραπάνω έννοιες και βελτίωσαν την ικανότητά τους να λύνουν εννοιολογικά προβλήματα. (Lin & Cheng, 1998). Ο Song κ.ά. έδειξαν ότι υπάρχουν αξιοσημείωτες ομοιότητες, καθώς και διαφορές μεταξύ των εννοιών που κατέχουν σπουδαστές και των απόψεων επιστημόνων προηγούμενων ιστορικών περιόδων, όπως του Αριστοτέλη, Buridan, Galileo, και Newton, σχετικά με την έννοια της αδράνειας. Προτείνουν ότι οι ιδέες των σπουδαστών που είναι κοντά στις απόψεις των επιστημόνων σε προηγηθείσες ιστορικές περιόδους θα μπορούσαν να είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης για μια γόνιμη συζήτηση στην διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής των ιδεών που σχετίζονται με την έννοια της αδράνειας (Song κ.ά., 1997).

Η Seroglou κ.ά. χρησιμοποίησαν ιστορικά δεδομένα από τη μελέτη των περιοχών του ηλεκτρισμού και μαγνητισμού για την καταγραφή των σχετικών εναλλακτικών ιδεών μαθητών και φοιτητών. Η έρευνα τους αρχικά εστιάστηκε σε επιμέρους περιοχές που οι επιστήμονες των προηγούμενων ιστορικών περιόδων είχαν διαφορετικές μέχρι και αντιτιθέμενες απόψεις και θεωρίες. Στις επιμέρους αυτές περιοχές αναμένονται, κατά τους παραπάνω ερευνητές, να εμφανιστούν και οι εναλλακτικές ιδέες των σπουδαστών. Στη συνέχεια με αφετηρία τα πειράματα των Garbano, Gilbert και Faraday, που βοήθησαν την τότε επιστημονική κοινότητα να ξεπεράσουν τις εναλλακτικές τους θεωρίες και οδήγησαν στην επιστημονική θεωρία που είναι σήμερα αποδεκτή, σχεδιάστηκε το διδακτικό υλικό. Οι παραπάνω ερευνητές διαπίστωσαν ότι «έργα εμπνευσμένα από ιστορικά πειράματα, που βοήθησαν να αλλάξουν οι απόψεις των επιστημόνων, βοηθούν και τους μαθητές να ξεπεράσουν τις εναλλακτικές τους απόψεις και διευκολύνουν την εννοιολογική αλλαγή» (Seroglou, κ.ά., 1998, 1999).

Για τη σύζευξη της ιστορίας της επιστήμης με τη διδακτική από την πλευρά των ιστορικών της επιστήμης έχουν αναφερθεί μια σειρά από επιφυλάξεις. Τη δεκαετία του '70 υπήρξε έντονος προβληματισμός κατά πόσο η ιστορία της φυσικής είχε επιτυχώς ενσωματωθεί στα διδακτικά εγχειρίδια των φυσικών επιστημών. Οι ιστορικοί της επιστήμης όσο και οι φυσικοί εξέφραζαν επιφυλάξεις. Ο ιστορικός της επιστήμης M. Klein, υποστήριξε ότι «μόνη ιστορία, η οποία είναι δυνατή κατά τη διδασκαλία της φυσικής είναι η ψευδο-ιστορία. Οι διδάσκοντες φυσική επιλέγουν και χρησιμοποιούν υλικό από την ιστορία με γνώμονα τη διεύρυνση των παιδαγωγικών τους επιδιώξεων και αυτό γίνεται σε βάρος της ιστορίας και πολλές φορές σε αντι-ιστορική βάση» (Brush & King, 1972). Επίσης ο Whitaker, εξέτασε πώς η ιστορία μεταπλάθεται από τους συγγραφείς των σχολικών εγχειριδίων όχι μόνο για τους παιδαγωγικούς τους σκοπούς αλλά και για την εξυπηρέτηση της «επιστημονικής τους ιδεολογίας». «Οι συγγραφείς των διδακτικών εγχειριδίων ξαναγράφουν την ιστορία, ώστε να ταιριάζει με τη φυσική τους» (Whitaker, 1979). Το 1977 ο Kuhn στο βιβλίο του «The essential tension», αναφέρει ότι «οι μαθητές των φυσικών επιστημών δεν ενθαρρύνονται να ανατρέχουν στους κλασσικούς συγγραφείς του πεδίου τους, όπου μπορούν να ανακαλύψουν άλλους τρόπους για τη



θεώρηση των προβλημάτων που συζητούνται στα εγχειρίδια τους» (Kuhn, 1977, pp. 21-30).

Παρά τις παραπάνω επιφυλάξεις, η ιδέα να αξιοποιηθεί η ιστορία και η φιλοσοφία των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία έχει βαθιές ρίζες, ανιχνεύεται για πρώτη φορά από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όταν ο E. Mach (1836–1916) υποστήριξε ότι «για να κατανοήσουμε μια έννοια είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε την ιστορική της εξέλιξη» (Mach, 1883, p. 316).

Το 1917 η British Association for the Advancement of Science (BAAS), υποστήριξε ότι η ιστορία της επιστήμης μπορεί να συμβάλει στο να σπάσουν οι διαχωριστικές γραμμές ανάμεσα στις ανθρωπιστικές σπουδές και τις φυσικές επιστήμες στα αναλυτικά προγράμματα. Η ίδια Βρετανική Ένωση, το 1983 αντανακλώντας τις απόψεις της κοινωνιολογίας για την επιστημονική γνώση στο χώρο της εκπαίδευσης, πρότεινε τη διδασκαλία της φυσικής σε ένα κοινωνικό πλαίσιο (*Science in the social context*). Σήμερα σε πολλά σχολεία και πανεπιστήμια, είναι διαδεδομένα αναλυτικά προγράμματα «Επιστήμης, Τεχνολογίας και Κοινωνίας» (*Science, Technology and Society – STS*). Τα προγράμματα αυτά αφ' ενός υλοποιούν τη συμβολή της ιστορίας και της φιλοσοφίας των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία, αφ' ετέρου αναδεικνύουν την «επιστήμη ως κουλτούρα» (*science as culture*), προσδιορίζοντας ότι στόχος της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών είναι να απευθύνεται σε όλους τους πολίτες (*science for all*). Η αντίληψη των αναλυτικών προγραμμάτων STS, φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος. Πολλά προγράμματα για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών σχεδιάζονται σήμερα σε ένα τέτοιο πλαίσιο, όπως το *Science for all Americans, American Project 2061*, *National Science Curriculum for England and Wales*, κ.ά.

## ΜΕΘΟΔΟΣ

Το τεστ συνίστατο από οκτώ ανοιχτές ερωτήσεις σύντομης ανάπτυξης που περιέχονται είτε αυτούσιες είτε προκύπτουν άμεσα από την παρουσίαση των εννοιών στα βιβλία του μαθητή της Ε' και ΣΤ' τάξης του δημοτικού σχολείου, «Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο». Οι ερωτήσεις συμπεριλαμβάνονταν σε ένα ευρύτερο τεστ που είχε δομηθεί σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους προκειμένου να καλυφθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της ύλης που διδάχθηκαν οι μαθητές στις δύο τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου (Tsaparlis, κ.ά. 1997, Kamprourakis, κ.ά., 2001). Σε κάθε τετράδα μαθητών δόθηκε για συμπλήρωση και ένας διαφορετικός τύπος τεστ για να αποφευχθεί η αλληλεπίδραση τους. Η πλειονότητα των ερωτήσεων του ευρύτερου τεστ ζητούσαν ανάκληση γνώσεων και ένας μόνο μικρός αριθμός απαιτούσαν κατανόηση και εφαρμογή. Από το σύνολο των ερωτήσεων στα τέσσερα διαφορετικά τεστ επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη όσες ερωτήσεις αναφέρονταν στον ατμοσφαιρικό αέρα και στην ατμοσφαιρική πίεση. Τρεις ερωτήσεις είναι κατανόησης, τέσσερις εφαρμογής και μια ανάκλησης γνώσης (βλ., Παράρτημα: Οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές).

Οι μαθητές που πήραν μέρος στην έρευνα προέρχονταν από εννέα γυμνάσια (πέντε ήταν σε αστική περιοχή και τα υπόλοιπα σε ημιαστική) και από οκτώ γενικά λύκεια



(τέσσερα από αστική περιοχή και τέσσερα από ημιαστική). Επειδή οι οκτώ ερωτήσεις ήταν διασκορπισμένες στους τέσσερις τύπους του ευρύτερου τεστ και λόγω του τρόπου που μοιράζονταν τα τεστ στους μαθητές, ο αριθμός των μαθητών που απάντησε σε κάθε μια από τις ερωτήσεις ανά τάξη είναι διαφορετικός. Συγκεκριμένα στο σύνολο των ερωτήσεων, το δείγμα μας αποτέλεσαν μαθητές ( $147 < N < 182$ ) που αποφοίτησαν από το δημοτικό σχολείο, και βρίσκονταν στην αρχή της α' γυμνασίου, μαθητές ( $147 < N < 175$ ) στην αρχή της β' γυμνασίου και μαθητές ( $90 < N < 155$ ) στην αρχή της α' λυκείου.

Ας σημειωθεί ότι η γυμνασιακή φυσική και χημεία σε μεγάλο βαθμό επαναλαμβάνει, σε πιο προχωρημένο επίπεδο, την ύλη που διδάσκεται στις δύο τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου, ακολουθώντας τις κλασσικές γνωστικές ενότητες (π.χ. στο μάθημα της χημείας οι ενότητες είναι: μίγματα – διαχωρισμός μιγμάτων, ατμοσφαιρικός αέρας, νερό, μόρια και άτομα, χημικές ενώσεις, χημικές αντιδράσεις, κ.ά. Στο μάθημα της φυσικής οι ενότητες είναι: κινηματική, δυναμική, θερμότητα, πίεση ρευστών, στατικός ηλεκτρισμός, συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, ηλεκτρομαγνητισμός, κ.ά.)

Οι απαντήσεις των μαθητών σε κάθε ερώτηση κατ'αρχήν διαβάστηκαν προσεχτικά, από τον γράφοντα και έγινε μια πρώτη απόπειρα ομαδοποίησης τους. Ως βάση για την ομαδοποίηση ελήφθησαν κοινές αναφορές των απαντήσεων σε χαρακτηριστικά αντικειμένων ή στο άμεσο περιβάλλον που η ερώτηση αναφέρεται. Επιπλέον για την ομαδοποίηση ελήφθη υπόψη η αναφορά μιας ή περισσότερων εννοιών σχετικών με την ερώτηση καθώς και ο βαθμός συσχέτισης των εννοιών που καθορίζει το επίπεδο μιας αποδεκτής απάντησης.

Σε αρκετές περιπτώσεις τι ακριβώς εννοούσαν οι μαθητές στις απαντήσεις τους δεν είναι σαφές. Έτσι ένας αριθμός απαντήσεων μπορούσε να εμπίπτει σε περισσότερες από μια ομάδες. Αυτές οι περιπτώσεις σημειώθηκαν και αφέθηκαν να συζητηθούν. Στη συνέχεια οι ερωτήσεις μοιράστηκαν σε τρεις ανεξάρτητους έμπειρους εκπαιδευτικούς [Σ. Γερογιάννης (ερώτηση 1,2), Β. Ζηκοβέλης (ερώτηση 3,4 και 5) και Α. Μπάκολης (ερώτηση 6,7 και 8)] και ζητήθηκε να ομαδοποιήσουν τις απαντήσεις των μαθητών. Για τις περιπτώσεις που υπήρξε ταύτιση των ομαδοποιήσεων με εκείνη του γράφοντα, και αυτό συνέβη στην πλειονότητα των απαντήσεων, η ομαδοποίηση απλώς επιβεβαιώθηκε. Στις περιπτώσεις που υπήρχαν διαφορετικές εκτιμήσεις αναπτύχθηκε μια επιχειρηματολογία μεταξύ του γράφοντα και του καθένα εκπαιδευτικού και η απάντηση τοποθετήθηκε σε μια ομάδα ανάλογα με την επιχειρηματολογία που εμφανίστηκε ως πιο ισχυρή.

Απαντήσεις για τις οποίες δεν προέκυπτε κάποιο νόημα ή εξακολουθούσε να υπάρχει ισχυρή διαφωνία μεταξύ των δύο εκπαιδευτικών καταχωρήθηκαν στην κατηγορία, αταξινόμητες. Η κατηγορία αυτή συναντάτε σε όλες τις σχετικές έρευνες και αναφέρεται και ως κατηγορία μη κωδικοποιημένη. Μπορεί να σχετίζεται με την δυσκολία των μαθητών να διατυπώσουν με τρόπο κατανοητό τη σκέψη τους, αλλά μπορεί και να αντανακλά τη σύγχυση που έχουν σε σχέση με τις έννοιες που πραγματεύονται οι ερωτήσεις. Ο συνδυασμός και των δύο παραπάνω παραγόντων μάλλον είναι η πιθανότερη αιτία.



Τέλος για να ελεγχθεί η αξιοπιστία ομαδοποίησης των απαντήσεων, όπως αυτές διαμορφώθηκαν από την παραπάνω διαδικασία, δόθηκαν για ομαδοποίηση οι απαντήσεις των ερωτήσεων με περιττό αύξοντα αριθμό σε μια επιπλέον ανεξάρτητη εκπαιδευτικό (Κ. Γεωργούση). Από τη σύγκριση των δύο ομαδοποιήσεων προέκυψε ότι η διάταξη των ομαδοποιήσεων, για κάθε ερώτηση και για κάθε σχολική τάξη, με βάση το ποσοστό των μαθητών που συγκέντρωνε η κάθε ομάδα απαντήσεων διατηρήθηκε σε υψηλό ποσοστό. Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν δεν άλλαζαν τον εννοιολογικό πυρήνα κάθε ομάδας απαντήσεων.

Επιπλέον με εφαρμογή του συντελεστή συσχέτισης Pearson ( $r$ ) μεταξύ του αριθμού των μαθητών για κάθε τύπο απάντησης ανά ερώτηση και ανά τάξη μεταξύ των δύο ομαδοποιήσεων βρέθηκε ισχυρή θετική συνάφεια. Οι τιμές του συντελεστή συνάφειας Pearson ( $r$ ) κυμαίνονταν από +0,7 έως και +1,0. Για μεγέθη δειγμάτων  $N > 43$  (αριθμός μαθητών που έδωσαν αιτιολογημένες απαντήσεις), με  $d.f. > 41$ , τέτοιες τιμές είναι στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο 1% ( $r = 0,393$ ,  $p < 0,01$ ).

Με την παραπάνω διαδικασία οι απαντήσεις που δόθηκαν από τους μαθητές δόμησαν ομαδοποιημένες απαντήσεις-εξηγήσεις, που στηρίζονται σε κοινά εννοιολογικά χαρακτηριστικά για τα τρία διαφορετικά ηλικιακά επίπεδα. Το χαρακτηριστικό μιας τέτοιας μελέτης που περιλαμβάνει ανάλυση των ίδιων δεδομένων από ομάδες μαθητών διαφορετικών ηλικιών σκοπεύει να φωτίσει τη διαφορετική γνώση και κατανόηση που είναι προσιτές για τα παιδιά αυτά και επιπλέον να διερευνήσει πια στοιχεία κατά περίπτωση μπορούν να δρουν ως εννοιολογικά εμπόδια και ποια ως ευκαιρίες για να δομήσουν αποδεκτές εξηγήσεις.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

### Ομάδα Α - Ερώτηση 1

Η πρώτη ερώτηση, που είναι ερώτηση ανάκλησης γνώσης, ζητούσε με μορφή συμπλήρωσης κενών να γράψουν οι μαθητές τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, την αναλογία τους καθώς και να αναφέρουν αέρια που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας σε μικρές αναλογίες.

Μαζί με την οικοδόμηση ιδεών για τα υγρά διαλύματα οι μαθητές αναμένεται να αναπτύξουν ιδέες για τα αέρια διαλύματα, έχοντας ως παράδειγμα τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η Meheut κ.ά. (1985) σε έρευνα τους αναφέρουν ότι τα μικρά παιδιά συχνά έχουν την ιδέα ότι ένα αέριο μίγμα είναι μια ουσία. Στην δική μας έρευνα φαίνεται οι μαθητές του δείγματος να θεωρούν τον αέρα ως μίγμα, δεν έχουν όμως μια σωστή γνώση των συστατικών του.

Οι μαθητές που απάντησαν στην ερώτηση στο σύνολο του δείγματος είναι το 76,5%, το ποσοστό δε των μαθητών που απαντούν στην ερώτηση αυξάνεται με την ηλικία των μαθητών. Στο σύνολο των μαθητών που απαντούν ένας στους τρεις περίπου (33,0%) αναφέρει ως κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα το οξυγόνο και το άζωτο (πίνακας 1Α) και εξ' αυτών μόνο ένας στους πέντε (19,9%) αναφέρουν ένα τουλάχιστον συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα με μικρή αναλογία. Ως συστατικό σε μικρή





αναλογίας που αναφέρεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και ακολουθεί το υδρογόνο (πίνακας 1Γ). Επίσης από το σύνολο των μαθητών του δείγματος που αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα μόνο το 3,9%, δηλαδή 12 μαθητές, αναφέρουν σωστά την αναλογία τους (πίνακας 1B).

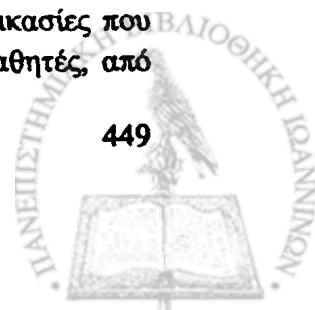
**ΠΙΝΑΚΑΣ 1Α.** Κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα κατά τους μαθητές του δείγματος, ποσοστά μαθητών ανά τάξη.

Κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα	Α΄ Γυμν. N=158	Β΄ Γυμν, N=152	Α΄ Λυκ. N=90
Ποσοστό % των μαθητών που απάντησαν	62,6	76,9	100,0
Άζωτο, Οξυγόνο	32,3	31,6	35,5
Οξυγόνο, Διοξείδιο του άνθρακα / Διοξείδιο	34,3	41,0	37,7
Οξυγόνο, Υδρογόνο	11,1	14,5	12,2
Οξυγόνο	8,1	5,9	10,0
Οξυγόνο, Άνθρακα / Υδρογόνο, Άνθρακα / Άζωτο, Υδρογόνο / Άζωτο, Διοξείδιο του άνθρακα	6,1	4,3	4,4
Άνεμος, ατμούς, ηλεκτρόνια, πρωτόνια, νετρόνια, άτομα, μόρια, ατμόσφαιρα, σωματίδια	8,1	2,6	0,0

Η επικρατέστερη απάντηση είναι ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας συνίσταται κυρίως από οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα ή απλώς από διοξείδιο (34,3%, 41,0% και 37,7% για την α΄, β΄ γυμνασίου και α΄ λυκείου, αντίστοιχα). Ακολουθούν ως «κύρια συστατικά» το οξυγόνο και το υδρογόνο, μόνο το υδρογόνο και πολύ μικρότερα ποσοστά μαθητών αναφέρουν το οξυγόνο και τον άνθρακα, το υδρογόνο και τον άνθρακα, το άζωτο και το υδρογόνο, το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα.

Αν και τα ποσοστά των μαθητών που απαντούν σωστά με την ηλικία παρουσιάζουν βελτίωση, η έλλειψη γνώσης ότι το άζωτο είναι κύριο συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα και η δήλωση ότι το διοξείδιο του άνθρακα υπάρχει σε μεγάλη αναλογία μπορούν να θεωρηθούν ως τα κυριότερα ευρήματα από την ανάλυση της ερώτησης αυτής. Ως συνέπεια του ευρήματος αυτού μπορούν να θεωρηθούν τα μικρά ποσοστά των μαθητών που αναφέρουν σωστά συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα σε μικρή αναλογία καθώς και τα ποσοστά που αναφέρουν την αναλογία των κύριων συστατικών.

Τα παραπάνω ευρήματα φαίνεται να συμφωνούν με εκείνα του Wandersee (1983) που βρήκε ότι υπάρχει μια αυξητική τάση με την ηλικία των παιδιών να αναφέρονται στο διοξείδιο του άνθρακα ή στο οξυγόνο, και να μη θεωρούν τον αέρα ως μίγμα αερίων. Ωστόσο, αυτοί που χρησιμοποιούν τα ονόματα των παραπάνω αερίων δεν υπερβαίνουν το 58% του συνόλου. Η Driver κ.ά. (1984) επίσης διαπίστωσαν ότι οι διαδικασίες που εμπλέκουν το οξυγόνο είναι πιο κατανοητές για τους δεκαπεντάχρονους μαθητές, από



εκείνες που εμπλέκουν το διοξείδιο του άνθρακα.

Ξανακοιτάζοντας τα μαθήματα των σχολικών βιβλίων που αναφέρονται στην σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, διαπιστώσαμε ότι το βιβλίο του δημοτικού σχολείου «Ερευνώ το Φυσικό κόσμο, Φυσικά Ε΄ τάξης, πρώτο μέρος» (Δασκαλάκης κ.ά., 1993) στο μάθημα, «Συστατικά του αέρα» (σελ. 21), περιγράφει κατ' αρχήν πώς διαπιστώνουμε την ύπαρξη υδρατμών (παρουσιάζοντας μια εικόνα ενός παιδιού που κοιτάζει ένα θαμπωμένο κρύο τζάμι) και διοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα (περιγράφει το πείραμα σχηματισμού γαλακτόχρωμης λεπτής κρούστας στην επιφάνεια ασβεστόνερου που έχει αφεθεί ακάλυπτο στον ατμοσφαιρικό αέρα). Στη συνέχεια περιγράφει ένα πείραμα παρασκευής οξυγόνου από την αντίδραση υπερμαγγανικού καλίου και οξυζενέ και συμπεραίνει ότι το αέριο που παράγεται είναι απαραίτητο για την καύση, άρα ο αέρας περιέχει οξυγόνο. Τέλος αναφέρει ότι: «ο χημικός Lavoisier βρήκε ότι, ο ατμοσφαιρικός αέρας στα κατώτερα στρώματα περιέχει σε μεγάλη αναλογία, εκτός από το οξυγόνο και ένα άλλο αέριο που λέγεται άζωτο». Επίσης το βιβλίο χημείας της β΄ γυμνασίου (Φράσσαρη, Δρούκα-Λιαπάτη, 1990), που οι μαθητές του δείγματος μας διδάχτηκαν τον ατμοσφαιρικό αέρα (Ατμοσφαιρικός αέρας, σελ. 23), ακολουθεί την ίδια ακριβώς σειρά, όπως το βιβλίο του δημοτικού σχολείου, και αναφέρει ότι: «Ο αέρας περιέχει οξυγόνο και άζωτο, αυτό εξακριβώθηκε εδώ και διακόσια χρόνια περίπου με τα περίφημα πειράματα καύσεως του Γάλλου χημικού Lavoisier. Έτσι λοιπόν βρέθηκε ότι το 1/5 (περίπου) του όγκου του αέρα είναι οξυγόνο και τα 4/5 (περίπου) άζωτο». Το βιβλίο της β΄ γυμνασίου (Γεωργιάδου κ.ά., 1997) που τώρα πλέον χρησιμοποιείται ως διδακτικό, στο μάθημα «Ατμοσφαιρικός αέρας» (σελ. 88), αναφέρει: «Η κατ' όγκο σύσταση στα εκατό % του καθαρού και ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας δίνεται στο διπλανό πίνακα. Παρατηρούμε ότι το άζωτο και το οξυγόνο αποτελούν το 99% του όγκου του αέρα. Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από αργό, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια. Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν υδρατμοί, η ποσότητα των οποίων εξαρτάται από τον τόπο και το κλίμα. Στους υδρατμούς οφείλεται η υγρασία του αέρα».

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1B.** Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που ανέφεραν ως κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα το οξυγόνο και το άζωτο και την κατ'όγκο αναλογία τους (Σ, σωστή, Λ, λάθος απάντηση).

Α΄ Γυμν. (N=158)		Β΄ Γυμν. (N=152)		Α΄ Λυκ. (N=90)	
Ποσοστό % μαθητών που απάντησαν					
15,8		15,8		22,2	
Σ	Λ	Σ	Λ	Σ	Λ
3,0	22,2	3,4	17,1	5,5	16,7



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1Γ.** Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που ανέφεραν ως κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα το οξυγόνο και το άζωτο και ένα συστατικό του σε μικρή αναλογία.

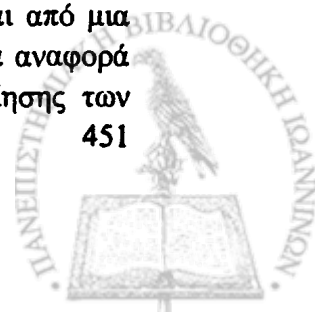
	A' Γυμν. N=158	B' Γυμν. N=152	A' Λυκ. N=90
Ποσοστό % των μαθητών που απάντησαν	62,6	76,9	100,0
<b>Κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα</b> <b>Άζωτο, Οξυγόνο</b>	<b>32,3</b>	<b>31,6</b>	<b>35,5</b>
<b>Συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα σε μικρές αναλογίες</b> (αναφέρουν ένα από τα παρακάτω)			
Ποσοστό % των μαθητών που απάντησαν	16,2	24,8	17,8
Διοξείδιο του άνθρακα	8,1	12,8	8,9
Υδρογόνο	3,0	0,8	3,3
Άνθρακα	2,0	0,0	2,2
Καυσαέρια	2,0	0,0	2,2
Υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα	0,0	2,6	0,0
Αναφέρουν ευγενή αέρια / όζον / νέφος / θείο / σκόνη / υδρατμούς / άλατα / συνδυασμούς των παραπάνω	1,0	8,5	1,1

Από τα παραπάνω σε μεγάλο βαθμό γίνεται κατανοητό γιατί οι μαθητές αναφέρουν το διοξείδιο του άνθρακα ως κύριο συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα και παραλείπουν το άζωτο, αφού τα σχολικά βιβλία δίνουν έμφαση στο πρώτο και απλώς αναφέρουν το δεύτερο.

Ένας άλλος πιθανός παράγοντας που το άζωτο απουσιάζει ως συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα από τη σκέψη των μαθητών είναι οι συχνές αναφορές των μέσων μαζικής ενημέρωσης στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα κυρίως των μεγάλων πόλεων. Έτσι δίνεται η εντύπωση ότι τα οξείδια του άνθρακα συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό στη σύσταση της ατμόσφαιρας.

Στα σχολικά βιβλία, συμπεριλαμβανομένης και της λυκειακής βαθμίδας, δεν γίνεται αναφορά στον «κύκλο του αζώτου στη φύση» και στον αναντικατάστατο ρόλο που παίζει για το σχηματισμό των πρωτεϊνών των ζωικών και φυτικών κυττάρων. Σπάνια γίνεται αναφορά στο τι θα συνέβαινε σε μια ατμόσφαιρα με απουσία ή με μικρή περιεκτικότητα σε άζωτο. «Το άζωτο του αέρος είναι απαραίτητον διά την αναπνοήν, τόσον όσον χρειάζεται και το οξυγόνο, διότι δι' αυτού αραιούται το οξυγόνο όσον χρειάζεται για να μη είναι επικίνδυνον. Άνευ του οξυγόνου του αέρος τα ζώα αποθνήσκουν αμέσως εξ ασφυξίας, αλλά και αντιθέτως εντός καθαρού οξυγόνου τα φαινόμενα της αναπνοής και της ζωικής καύσεως γίνονται τόσον έντονα, ώστε τα ζώα δηλητηριάζονται και εντός ολίγον αποθνήσκουν (Πολυδωρόπουλος, 1974, σ. 78).

Επιπλέον οι προτάσεις των παραπάνω σχολικών βιβλίων κυριαρχούνται από μια ονοματοδοσία και περιέχουν «συμπιεσμένες» πληροφορίες. Δεν κάνουν καμιά αναφορά ότι το πρόβλημα κατανόησης του αέρα ως αέριο μίγμα και της ταυτοποίησης των

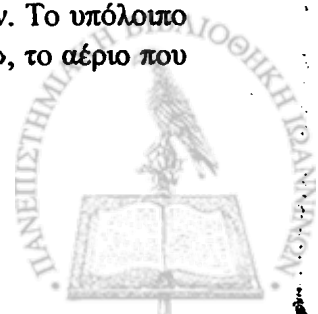


συστατικών του υπήρξε το κεντρικό ζήτημα για την καθιέρωση της χημείας ως σύγχρονης επιστήμης και απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα για το μεγαλύτερο μέρος του 17<sup>ου</sup> αιώνα. Για τα σχολικά βιβλία η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα μάλλον θεωρείται ως δεδομένη και απλώς αναφέρεται. Οι δηλώσεις εμφανίζονται περισσότερο ως μια περιγραφή παρά ως ερμηνεία. Η οικοδόμηση λειτουργικής γνώσης (operational, procedural), που σημαίνει πως κατανοώ την προέλευση της δηλωτικής γνώσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση, πώς γνωρίζουμε ότι τα κύρια συστατικά είναι το οξυγόνο και το άζωτο, τι σημαίνουν οι όροι «οξυγόνο» και «άζωτο», πως διακρίνουμε τις δύο αυτές ουσίες, πώς γνωρίζουμε την αναλογία των κύριων συστατικών, είναι η ελλείπουσα συνιστώσα της διδακτικής πρακτικής στα σχολεία μας.

Τα ονόματα των στοιχείων και των ενώσεων που αποτελούν τον ατμοσφαιρικό αέρα εμφανίζονται στα σχολικά βιβλία ως δεδομένα και δεν γίνεται καμιά αναφορά ότι αυτά υπήρξαν αντικείμενα γόνιμης διαμάχης και προϊόντα ερμηνευτικής προσπάθειας. Ο Sutton επισημαίνει «ότι μεταχειριζόμαστε τις λέξεις εξ' ολοκλήρου ως ετικέτες για τα πράγματα παρά ως όργανα ερμηνείας. Μ' αυτό τον τρόπο οι ιδέες των Φυσικών Επιστημών μετατρέπονται σε αυθαίρετες πληροφορίες προς αποστήθιση και φαίνεται ότι δεν είναι έναυσμα προβληματισμού. Αν οι μαθητές εκτίθενται συνεχώς σε λέξεις ετικέτες, δεν είναι πιθανόν να αποκτήσουν αίσθηση της επιστημονικής γλώσσας ως όργανο ερμηνείας και θα έχουν μικρό κίνητρο να τη χρησιμοποιήσουν μόνοι τους για να διακρίνουν και να ταξινομούν ιδέες». (Sutton, 1992, σ. 147).

Βέβαια, ο δρόμος από την αναγνώριση ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι μίγμα αερίων μέχρι την αναγνώριση των διαφόρων συστατικών του δεν υπήρξε εύκολος. Ανατρέχοντας στην ιστορία της χημείας αξίζει να σημειώσουμε ότι πρώτος ο J. Van Helmont (1579-1644), θερμαίνοντας σε κλειστό δοχείο 28 χιλιόγραμμα κάρβουνο, διαπίστωσε ότι το βάρος δεν άλλαξε, ακόμη και όταν είχαν απομείνει από το κάρβουνο μόνο 0,5 χιλιόγραμμα στάχτης. Έβγαλε το συμπέρασμα ότι τα υπόλοιπα 27,5 χιλιόγραμμα είχαν μετατραπεί σε «άγριο πνεύμα», που δεν μπορούσε να ξεφύγει. «Το πνεύμα αυτό, άγνωστο ως τώρα, το οποίο δεν μπορεί να κλειστεί σ' ένα δοχείο ούτε να αναχθεί σε ορατή μορφή, ονομάζω, gas....(Lapp, 1965, σ. 55).

Ο Priestley το 1774, περίπου 150 χρόνια αργότερα, απέδειξε, ότι μόνο ένα μέρος του ατμοσφαιρικού αέρα, μόνο το «κατ'εξοχήν αναπνεύσιμο μέρος» απορροφιόταν από τα μέταλλα κατά την διαπύρωση τους και αυτό είναι το 1/5 του αέρα (Hankins, 1989, σ. 148-157). Ο Lavoisier πίστευε ότι το οξυγόνο υπήρχε στην σύσταση όλων των οξέων και το 1779, πρότεινε το όνομα οξυγόνο (οξυγονική αρχή, principe oxygine), από τις ελληνικές λέξεις που σημαίνουν «γέννηση οξέος» (Mckie, 1952, pp. 132-139). Το 1790 ο Chapel, ονόμασε το υπόλοιπο μέρος του αέρα, το «ασφυκτικό αέριο» (mofette), νιτρογόνο, αυτό που δημιουργεί το νίτρο, το νιτρικό κάλιο και δείχνει την παρουσία του αζώτου στην ένωση αυτή, εξ' αυτού και ο αγγλοσαξονικός όρος nitrogen. Είχε όμως προηγηθεί η δημοσίευση του Lavoisier στο περιοδικό *Memories* της Ακαδημίας Επιστημών, όπου επιβεβαίωνε το εύρημα του Priestley ότι μόνο το «καθαρότερο μέρος» του αέρα χρησιμοποιείται στην αναπνοή και τη διαπύρωση των μετάλλων. Το υπόλοιπο το ονόμασε «άζωτο», από την ελληνική λέξη «ζωή» και το στερητικό «α», το αέριο που



δεν συντηρεί την ζωή. Σήμερα στα γαλλικά το άζωτο γράφεται «azote» (Leicester, 1956, σ. 187).

Η συναρπαστική περιπέτεια της ανακάλυψης των συστατικών του αέρα, έφτασε στο τέλος της, το 1898, όταν οι Ramsay και Rayleigh πέτυχαν να απομονώσουν σημαντικά ποσά αργού, με κλασματική απόσταξη του υγρού αέρα, γεγονός που τους επέτρεψε την ανακάλυψη των στοιχείων κρυπτόν και ξένον. Το ήλιο διαπίστωσε ο Ramsay φασματοσκοπικά στο ορυκτό κλεβίτη και τέλος ο λόρδος Rutherford το 1900 απομόνωσε το ραδόνιο από το θόριο.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι οι όποιες «διαυγείς», «ζωντανές» παρουσιάσεις, και τα παραδοσιακά ποσοτικά προβλήματα που τις ακολουθούν, είναι απαραίτητο να συμπληρώνονται με όσο το δυνατόν απλούστερα πειράματα και ερωτήσεις που να απασχολούν τη σκέψη του μαθητή με συλλογισμούς ποιοτικού και φαινομενολογικού χαρακτήρα (Argons, 1990, σ. 96). Στην περίπτωση δε της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα πολλά σχετικά ιστορικά πειράματα, όπως το πείραμα του Mayow, που ένα κερί καίει σε κλειστό δοχείο πάνω από νερό, το πείραμα του Priestley με τη θέρμανση οξειδίου του υδραργύρου σε ένα κλειστό κώδωνα που μέσα σ' αυτόν τοποθέτησε και ένα αναμμένο κερί, θα μπορούσαν να δώσουν μια δυναμική διάσταση στην διδακτική πρακτική.

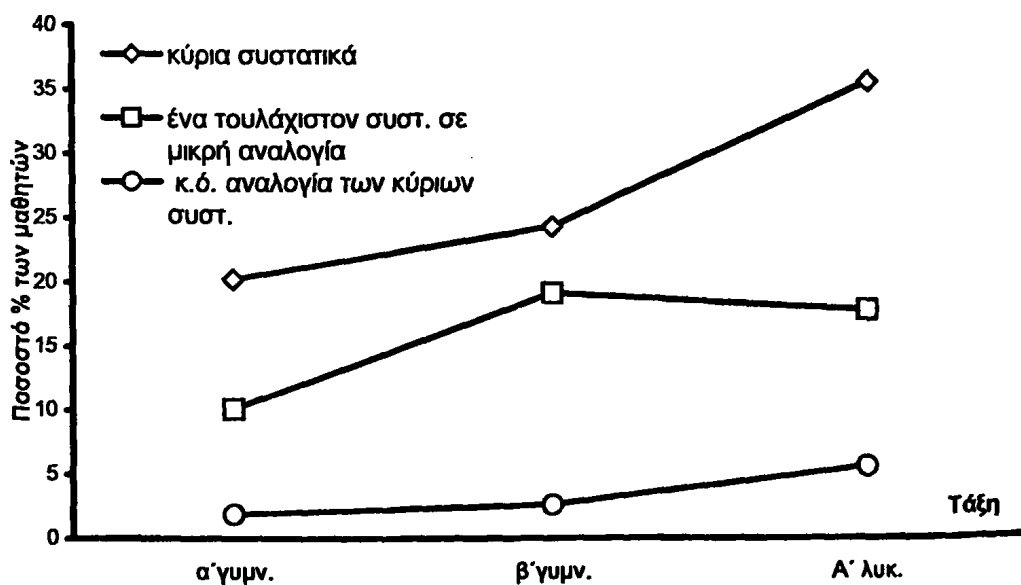
Παραπέρα μια μη λειτουργική γνώση των συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα και των αναλογιών τους είναι βέβαιο ότι δρα ως γνωστικό εμπόδιο για την κατανόηση σημαντικών φαινομένων που συνδέονται με την καύση, τα αέρια μίγματα, την αναπνοή των ζώων και των φυτών και παραπέρα με τον κύκλο του αζώτου στη φύση και με την ατμοσφαιρική πίεση.

Μελέτες με μαθητές 11 και 12 ετών για το ρόλο του αέρα στην καύση έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι γνωρίζουν ότι ο αέρας (ή το οξυγόνο) είναι απαραίτητος στην καύση, όμως δεν κατανοούν τον ρόλο του σ' αυτή τη διαδικασία (Meheut, 1985, Driver, 1985). Οι Gellert (1962) και Nagy (1953) αναφέρουν ότι, παρόλο που τα μικρά παιδιά αναγνωρίζουν ότι ο αέρας είναι απαραίτητος για τη ζωή, έχουν όμως περιορισμένη γνώση του τι συμβαίνει με τον εισπνεόμενο αέρα. Μαθητές γυμνασίου σε πολύ μικρά ποσοστά συσχετίζουν τον εισπνεόμενο αέρα ή το οξυγόνο με τη διαδικασία της θρέψης. Οι Atpaudin και Mintzes (1985) σε μια μελέτη με μαθητές διαφόρων ηλικιών, διαπίστωσαν ότι το 1/3 του δείγματος τους πίστευαν ότι ο αέρας απλά εισέρχεται στους πνεύμονες χωρίς να τον συνδέουν με την καρδιά ή το αναπνευστικό σύστημα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1Α.** Συγκεντρωτικός πίνακας με τα ποσοστά % των μαθητών ανά τάξη που ανέφεραν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, την κατ'όγκο αναλογία τους και ένα τουλάχιστον συστατικό του σε μικρή αναλογία.

	Α' Γυμν. N=158	Β' Γυμν, N=152	Α' Λυκ. N=90
Απαντούν (ποσοστό %)	62,6	76,9	100,0
<b>Ποσοστό % των μαθητών που απάντησαν σωστά</b>			
Αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα	32,3	31,6	35,5
Αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα και ένα τουλάχιστον συστατικό του σε μικρή αναλογία	16,2	124,8	17,8
Αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά και την αναλογία των κύριων συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα	3,0	3,4	5,65

**Διάγραμμα 1.** Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που αναφέρουν σωστά τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, ένα συστατικό του σε μικρή αναλογία και την αναλογία των κύριων συστατικών.



**Ομάδα Β - Ερώτηση 2**

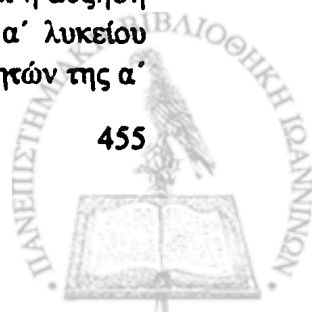
Η δεύτερη ερώτηση αναφέρεται στην κατανόηση της υλικής υπόστασης του αέρα και ζητάει να συγκρίνουν ως προς το βάρος τους δύο όμοια μπαλόνια, ένα φουσκωμένο και ένα ξεφουσκωτό και να αιτιολογήσουν την απάντησή τους (βλ., Παράρτημα: Οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές). Η ερώτηση όπως διατυπώθηκε είναι μια παραλλαγή εικονογραφημένου πειράματος που περιγράφεται στο βιβλίο του μαθητή της Ε΄ τάξης δημοτικού, στην ενότητα «Εξέταση μερικών υλικών σωμάτων», στο μάθημα «Ο ατμοσφαιρικός αέρας». Οι μαθητές είχαν διδαχθεί βασικές φυσικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα, όπως: ο αέρας πιάνει χώρο, ο αέρας έχει βάρος, ο αέρας είναι συμπιεστός και έχει ελαστικότητα. Επιπλέον στο παραπάνω μάθημα παρουσιάζεται και μια σύντομη περιγραφή της διαστομάτωσης της γήινης ατμόσφαιρας (Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο, μέρος πρώτο, σ. 17-20).

Στο γυμνάσιο και στο λύκειο δεν γίνεται πλέον αναφορά στις φυσικές ιδιότητες του αέρα, απλώς, στο μάθημα χημείας της α΄ λυκείου «Γνωρίσματα της ύλης (μάζα, όγκος, πυκνότητα) – Μονάδες μέτρησης» (Λιοδάκης, κ.ά., 2002), αναφέρεται η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και υπάρχουν κάποια σχετικά ποσοτικά προβλήματα.

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών του δείγματός μας προκύπτει ότι η θεμελιώδης φυσική έννοια, ο αέρας έχει βάρος, δεν έχει συνειδητοποιηθεί από ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών. Σε προηγούμενη δε έρευνα μας είχαμε επισημάνει ότι κατά τη λύση ενός προβλήματος που είχε τεθεί σε μαθητές α΄ και β΄ λυκείου και αναφέρονταν στην ποσότητα αερίου σε μια φιάλη, να σημαντικό ποσοστό μαθητών δεν είχαν κατανοήσει ότι, όταν η ποσότητα ενός αερίου σε δοχείο, συγκεκριμένα η αμμωνία, ελαττώνεται, το εναπομένον αέριο εξακολουθεί να καταλαμβάνει όλο τον όγκο του δοχείου (Καμπουράκης, 2001, Δ.Μ.Ε, στη Χημεία, σ. 99 & 157, Kampourakis & Tsapralis, 2003).

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών, όπως φαίνεται στον πίνακα 2Α, προκύπτει ότι στην ερώτηση απάντησαν λίγο περισσότεροι από τους μισούς μαθητές (55,9%) που πήραν μέρος στην έρευνα. Τα ποσοστά δε των μαθητών που απαντούν στην ερώτηση δεν διαφοροποιούνται σημαντικά με την ηλικία. Η επικρατέστερη αντίληψη στο σύνολο του δείγματος είναι, ότι: βαρύτερο είναι το ξεφουσκωτό μπαλόνι. Το 44,2% των μαθητών που απάντησαν «αιτιολογούν» τον παραπάνω ισχυρισμό και επιπλέον ένα 17,7% απλώς το δηλώνει. Τα ποσοστά των μαθητών που στηρίζουν την άποψη αυτή δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των μαθητών της α΄ και β΄ γυμνασίου (ποσοστά 48,3% και 47,2% αντίστοιχα), εμφανίζεται όμως σημαντική ελάττωση στο ποσοστό των μαθητών της α΄ λυκείου (28,6%).

Ακολουθεί η ομάδα των μαθητών που αιτιολογούν ότι: βαρύτερο είναι το φουσκωμένο (25,1%) και ένα ποσοστό 5,1% απλώς το δηλώνει. Από τους μαθητές που αιτιολογούν ότι βαρύτερο είναι το φουσκωμένο μπαλόνι μόνο το 17,3% δίνουν αποδεκτή αιτιολόγηση, αναφέροντας ότι «ο αέρας έχει βάρος και στο βάρος του μπαλονιού προστίθεται και το βάρος του περιεχόμενου σ' αυτό αέρα». Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση του ποσοστού των αποδεκτών απαντήσεων με την ηλικία, οι μαθητές της α΄ λυκείου δίνουν αποδεκτές απαντήσεις κατά ποσοστό 10,2% αυξημένο έναντι των μαθητών της α΄



γυμνασίου. Τέλος στην τρίτη ομάδα των απαντήσεων, ποσοστό 20,3%, του δείγματος μας «αιτιολογεί» ότι τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος και ένα 6,8% απλώς το δηλώνει. Εδώ τα ποσοστά των μαθητών της α' γυμνασίου και α' λυκείου δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση, μια μείωση παρουσιάζει το ποσοστό των μαθητών της β' γυμνασίου (βλ. Διάγραμμα 2Α).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2Α.** Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 2.

	Α' Γυμν. (N=161)	Β' Γυμν. (N=162)	Α' Λυκ. (N=90)
	Ποσοστό %		
Απαντούν	56,5	56,2	54,4
Αιτιολογούν σωστά ότι βαρύτερο είναι το φουσκωμένο μπαλόνι	14,3	17,6	24,5
Αναφέρουν ότι βαρύτερο είναι το φουσκωμένο μπαλόνι - αιτιολογήσεις μη αποδεκτές	7,7	6,6	10,2
Αιτιολογούν ότι βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο!	48,3	47,3	30,5
Αιτιολογούν ότι τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος!	22,0	17,6	22,4
Αταξινόμητες	7,7	10,9	12,3

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το εννοιολογικό πλέγμα των ιδεών που οι μαθητές ανακαλούν για να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις τους (πίνακας 2B). Στην ομάδα A2 των απαντήσεων, αποδίδουν το βάρος του αέρα σε μια ιδιότητα του, όπως ο αέρας στο μπαλόνι έχει όγκο, είναι συμπιεσμένος, έχει μάζα, κ.ά.

Στην ομάδα B1, που οι μαθητές αιτιολογούν ότι βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο μπαλόνι, η επικρατέστερη άποψη (ποσοστό 20,8%, για τους μαθητές των τριών τάξεων), είναι ότι, «ο αέρας κάνει τα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ελαφρότερα» Μια τέτοια πεποίθηση δεν θα πρέπει να μας εκπλήσσει, η ιδέα της «ελαφρότητας» δεν είναι ξένη στην ιστορία της επιστήμης.

Οι Αρχαίοι Έλληνες εξηγούσαν τα φαινόμενα αποδίδοντας στα σώματα τελεολογικές ιδιότητες. Ο Αριστοτέλης αναφέρει: «επειδή από τη φύση είναι καθορισμένο τα βαριά να πηγαίνουν προς τα κάτω και τα ελαφριά να μένουν στην επιφάνεια, γι' αυτό οι πέτρες και τα θεμέλια είναι κάτω, επάνω επάνω όμως είναι τα ξύλα, γιατί είναι ελαφρότατα» [Αριστοτέλους, Φυσική Ακρόαση (Τα Φυσικά), 200a]. Οι όροι «βαρύτητα», «ελαφρότητα» περιγράφουν την τάση των σωμάτων να αναζητούν το κέντρο της Γης και να ανυψώνονται προς τις ουράνιες περιοχές αντίστοιχα.

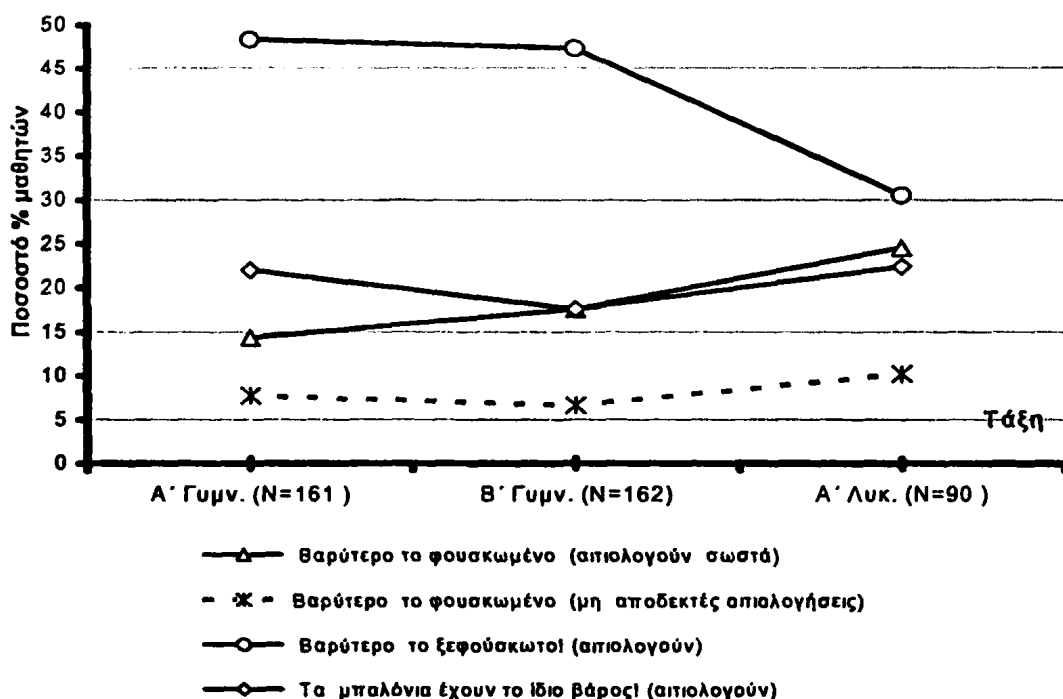
Ο Sir T. L. Heath, στο σημαντικό έργο του «Ιστορία των Ελληνικών Μαθηματικών» (A History of Greek Mathematics) αναφέρει ότι ο μαθηματικός





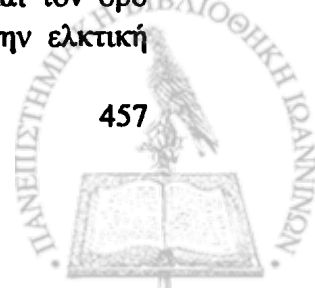
Πτολεμαίος (Κλαύδιος Πτολεμαίος, 2<sup>ος</sup> μ. Χ. αιώνας), στο έργο του «Περί ροπών», υποστηρίζει: «αντίθετα από τον Αριστοτέλη, ότι ο αέρας ή το νερό στη δική τους «θέση» δεν έχουν βάρος, και, πως όταν είναι στη δική τους «θέση», είτε παραμένουν ακίνητα ή απλώς περιστρέφονται, με την τάση να ανεβαίνουν ή να πέφτουν. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην «επιθυμία» των πραγμάτων που δεν βρίσκονται στις θέσεις τους να κινηθούν προς αυτές. Ο Πτολεμαίος έφτασε μέχρι το σημείο να υποστηρίζει ότι μια φιάλη γεμάτη με αέρα όχι μόνο δεν ήταν πιο βαριά από την ίδια κενή φιάλη (όπως υποστήριζε ο Αριστοτέλης), αλλά ήταν στην πραγματικότητα πιο ελαφριά, όταν ήταν διογκωμένη από ό,τι όταν ήταν κενή» (Heath, 1921, σ. 350).

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2Α.** Ποσοστό % των απαντήσεων ανά τύπο απάντησης και ανά τάξη, στην ερώτηση: Βαρύτερο είναι ένα φουσκωμένο ή ένα ξεφούσκωτο μπαλόνι;



Στη συνέχεια ο Πτολεμαίος, ισχυριζόμενος ότι ο αέρας που περιβάλλεται από αέρα δεν έχει βάρος, επεξέτεινε τη συλλογιστική του στο νερό και υποστήριξε ότι το νερό που περιβάλλεται από νερό δεν έχει βάρος, και ότι ο δύτες, όσο βαθιά και αν καταδυθεί, δεν συνθλίβεται από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων νερού. Αυτό οφείλεται στο ότι το νερό καθαυτό είναι ισοβαρές –ισοβαρές αυτό καθ'αυτό (οι πληροφορίες αυτές, όπως αναφέρει ο Heath, σ. 361, αντλούνται από το έργο του Σμπλίκιου, Υπόμνημα εις το Περί Ουρανού, σ. 710.14, Heiberg, Πτολεμαίος, τομ. ii, σ. 263).

Η επιστήμη του 17<sup>ου</sup> αιώνα κατήργησε τις τελεολογικές απόψεις και τον όρο «ελαφρότητα», χρησιμοποίησε δε τον όρο «βαρύτητα» για να δηλώσει την ελκτική αλληλεπίδραση μεταξύ δύο μαζών.



Η θεωρία του φλογιστόν, που εισήχθη από τους Becher (1635-1682) και Stahl (1660-1734) και έπαιξε σημαντικό ρόλο στη θεμελίωση της σύγχρονης Χημείας δεν ήταν απαλλαγμένη από τον όρο «ελαφρότητα», στην προσπάθειά της να ερμηνεύσει το πρόβλημα της καύσης. Στα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα οι χημικοί δεν μπορούσαν να αγνοούν την αύξηση του βάρους των μετάλλων κατά τη διαπύρωση. Η σωστή εξήγηση της αύξησης δεν ήταν δυνατόν να βρεθεί όσο δεν γινόταν κατανοητός ο ρόλος που έπαιξε ο αέρας. Μια από τις επινοήσεις ήταν να θεωρήσουν ότι το φλογιστόν που περιείχαν οι ουσίες είχε αρνητικό βάρος και αυτή ακριβώς η ιδιότητά του προκαλούσε την αύξηση του βάρους της τέφρας, όταν το φλογιστόν χανόταν κατά την καύση. Στην τελευταία περίοδο χρήσης της θεωρίας του φλογιστόν, γινόταν η υπόθεση ότι καθώς χάνεται το φλογιστόν κατά την καύση, απορροφάται μια άλλη ουσία με μεγαλύτερο βάρος (Leicester, 1956, σ. 167, White, 1932, p. 51).

Απαντήσεις των μαθητών με μικρότερα ποσοστά, που δικαιολογούν ότι βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο μπαλόνι, αναφέρονται στη διαφορετική συμπεριφορά του φουσκωμένου μπαλονιού μέσα στον αέρα σε σχέση με το ξεφούσκωτο. Το φουσκωμένο μπαλόνι, «το παρασέρνει, το σηκώνει ο αέρας, ανεβαίνει προς τα πάνω κ.ά.» (περίπτωση Β2). Στην περίπτωση Β3, οι μαθητές εστιάζουν την προσοχή τους στο ότι η μάζα του ξεφούσκωτου είναι συγκεντρωμένη και ότι η έλξη της Γης σ' αυτό είναι μεγαλύτερη. Στην Β4, συσχετίζουν τον περιεχόμενο αέρα στο μπαλόνι με αλλαγές στις ιδιότητες του μπαλονιού ως πλαστικό. Ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας «τεντώνει το πλαστικό και το κάνει ελαφρότερο, κάνει τη μάζα του να μην είναι ενιαία κ.ά.». Στην περίπτωση Β5, αναφέρεται ρητά ότι ο περιεχόμενος αέρας στο μπαλόνι δεν έχει βάρος. Η αντίληψη ότι ο αέρας δεν έχει βάρος χρησιμοποιείται από κάποιους μαθητές για να δικαιολογήσουν ότι βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο μπαλόνι και από κάποιους άλλους ότι τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος. Είναι πολύ πιθανόν η έλλειψη βάρους να ταυτίζεται με την «ελαφρότητα» για κάποιους μαθητές. Τέλος στην περίπτωση Β6, συσχετίζουν την πίεση που ασκεί ο περιεχόμενος αέρας στο μπαλόνι με το βάρος του και υποστηρίζουν ότι η πίεση που ασκεί ο αέρας εξουδετερώνει το βάρος, έτσι το κάνει ελαφρότερο από το ξεφούσκωτο!

Στην τρίτη ομάδα απαντήσεων, που τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος, γίνεται πλέον σαφές γιατί ο αέρας γ' αυτούς τους μαθητές δεν έχει βάρος, «ο αέρας δεν ζυγίζεται», «δεν μπορούμε να τον μετρήσουμε σε κιλά, ούτε σε γραμμάρια». Στην περίπτωση Γ2 ο περιεχόμενος αέρας δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη. Τα μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος αφού έχουν το ίδιο μέγεθος και είναι φτιαγμένα από το ίδιο υλικό.

Προφανώς η έλλειψη πειραματικής εμπειρίας να παίζει εδώ σημαντικό ρόλο. Από την εμπειρία μας, ως εκπαιδευτικοί θεωρούμε απίθανο να έχει ζητηθεί από μαθητές γυμνασίου να μετρήσουν τη μάζα αερίου, στην καλύτερη περίπτωση να έχουν εκτελέσει κάποιες ζυγίσεις στερεών και υγρών σωμάτων. Η σχολική πρακτική, σπάνια συμπεριλαμβάνει ζύγιση κάποιας αέριας ποσότητας. Επιπλέον σε όλες τις περιπτώσεις απαντήσεων η σκέψη του μαθητή επικεντρώνεται σε ένα χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης κατάστασης που περιγράφει η ερώτηση. Αναφέρονται σε μια ιδιότητα του αέρα που η παρουσία ή η απουσία της στο μπαλόνι θεωρείται ως το αίτιο που το κάνει



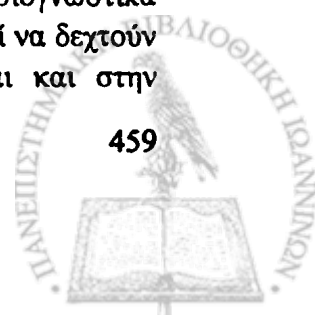
ελαφρότερο ή βαρύτερο. Η έλλειψη κατανόησης ότι ο αέρας έχει βάρος και επιπλέον ότι το βάρος, όπως και η μάζα, είναι προσθετικά μεγέθη (το βάρος του φουσκωμένου μπαλονιού ισούται με το βάρος του μπαλονιού και το βάρος του περιεχόμενου αέρα) βρίσκονται στη βάση της αδυναμίας των μαθητών να δώσουν σωστή απάντηση.

Η υλικότητα του αέρα και γενικά των αερίων δεν υπήρξε εύκολη υπόθεση για τους επιστήμονες παλαιότερων εποχών. Άλλωστε για πολλές θεμελιώδεις έννοιες που χρησιμοποιούμε σήμερα, όπως η θερμότητα, η ενέργεια και παλαιότερα ο αιθέρας υπήρξε δυσκολία σε προηγούμενες εποχές να γίνει αποδεκτό ότι δεν έχουν υλική υπόσταση. Ο Stahl (1600-1734), παρά το γεγονός που είχε τότε παρατηρηθεί ότι, όταν μια οργανική ουσία καίγεται, τα φαινόμενα προϊόντα ζυγίζουν λιγότερο από την αρχική ουσία, ενώ η διαπύρωση ανόργανων ουσιών, που αναγνωριζόταν ως η ίδια διαδικασία, αυξάνει το βάρος των προϊόντων, πίστευε ότι το φλογιστόν που περιείχαν οι ουσίες είναι αβαρές (White, 1932, p. 56, Leicester 1993, σ. 164). Το φλογιστόν δεν ήταν ουσία. Κατά βάθος για τους επιστήμονες της περιόδου αυτής ήταν το αντίθετο της ουσίας: δεν είχε μάζα, προφανώς και βάρος. Η ιδέα του αβαρούς ρευστού δεν είχε τίποτα το παράδοξο, και ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός και η θερμότητα με αναμφισβήτητη ύπαρξη, είχαν τέτοια φύση.

Επανερχόμενοι στη δική μας έρευνα και στα μικρά ποσοστά των μαθητών που έχουν κατανοήσει την κύρια ιδιότητα υλικής υπόστασης του αέρα, το βάρος, πρέπει να πούμε ότι τα ποσοστά βρίσκονται σε συμφωνία με εκείνα έρευνας του Α. Κασσέτα (1998) σε σχολεία της Αθήνας. Στην έρευνα αυτή ζητήθηκε από μαθητές γυμνασίων και λυκείων (N=410) να επιλέξουν ανάμεσα σε διάφορες εναλλακτικές απαντήσεις τη σωστή απάντηση για την ποσότητα του αέρα σε μια σχολική αίθουσα. Το 73, 8% των μαθητών γυμνασίου απάντησε ότι ο αέρας ζυγίζει 0 g και το 12,15%, 1 g. Από τους μαθητές λυκείου το 58,9% απάντησε ότι ζυγίζει 0 g και το 13,5%, 1k g.

Η Stavy (1987), σε μια μελέτη της χρησιμοποίησε δύο σφραγισμένους όμοιους σωλήνες που περιείχαν ίδιες ποσότητες ακετόνης. Στη συνέχεια θέρμανε τον ένα απ' αυτούς μέχρις ότου εξατμίστηκε όλη η ακετόνη και ζήτησε από τους μαθητές να εκτιμήσουν τα σχετικά βάρη των δύο δειγμάτων. Στην ηλικία των 9 ετών, το ποσοστό του δείγματος που απάντησε ότι το βάρος διατηρείται ήταν 5%. Αυτό το ποσοστό αυξήθηκε σταθερά στο 80% στην ηλικία των 14 ετών. Γενικά, οι μικρότεροι μαθητές πρότειναν ότι η ακετόνη σε αέρια κατάσταση δεν έχει βάρος ή η μάζα της χάνεται επειδή η υλική ουσία φαίνεται να εξαφανίζεται. Οι μεγαλύτεροι πρότειναν ότι το υγρό είναι βαρύτερο από την ακετόνη σε αέρια κατάσταση, γενικεύοντας την ιδέα ότι ένα αέριο είναι ελαφρύτερο από την αντίστοιχη ποσότητα του υλικού σε υγρή κατάσταση.

Από τα παραπάνω φαίνεται γιατί ένα ποσοστό μαθητών «σκοντάφτεν», όταν λύνει ποσοτικά προβλήματα, που περιλαμβάνουν σώματα σε αέρια κατάσταση, παρόλο που παραθέτει στα γραπτά του μαθηματικές σχέσεις και χημικές αντιδράσεις. Η μη κατανόηση ότι ο αέρας και τα αέρια γενικά έχουν βάρος δημιουργεί περαιτέρω δυσκολίες στην κατανόηση σύνθετων διαδικασιών, που παρουσιάζονται στα φυσιολογικά μαθήματα. Έτσι στο πλαίσιο της φωτοσύνθεσης, οι μαθητές είναι διστακτικοί να δεχτούν ότι η ανάπτυξη των φυτών και η αύξηση της μάζας τους οφείλονται και στην



ενσωμάτωση μάζας αερίων (Stavy 1987). Οι Arnold και Simpson (1980) βρήκαν ότι οι εντεκάχρονοι είτε πίστευαν ότι τα φυτά δε χρησιμοποιούν τον αέρα είτε ότι τα φυτά και τα ζώα χρησιμοποιούν τον αέρα με «αντίθετους τρόπους».

### Ερώτηση 3

Με την ερώτηση 3 ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν ένα πείραμα με το οποίο μπορούμε να διαπιστώσουμε αν μέσα σε ένα σφουγγάρι ή σε μια φρυγανιά υπάρχει αέρας. Η ερώτηση ελήφθη από το βιβλίο του μαθητή «Ερευνά το φυσικό κόσμο (πρώτο μέρος)» της Ε' τάξης του δημοτικού σχολείου και βρίσκεται στο τέλος του μαθήματος «Ο ατμοσφαιρικός αέρας», σ. 20.

Το ποσοστό των μαθητών που απαντούν στην ερώτηση είναι χαμηλό. Στο σύνολο του δείγματος (N= 414) απαντάει στην ερώτηση ποσοστό 37,7%. Οι μαθητές της β' γυμνασίου απαντούν σε μεγαλύτερο ποσοστό (47,9%) και ακολουθούν οι μαθητές της α' λυκείου (34,4%) και α' γυμνασίου (30,6%). Όλες δε οι περιπτώσεις πειραμάτων που προτείνονται παρουσιάζουν ενδιαφέρον και δείχνουν ότι οι μαθητές έχουν διαθέσιμη μια ποικιλία από έννοιες και εμπειρίες που μπορούν να ανακαλούν.

Περίπου οι μισοί από τους μαθητές (47,1%) (βλέπε πίνακα 3Α) προτείνουν να βυθίσουμε το σφουγγάρι ή τη φρυγανιά σε μια λεκάνη με νερό. Αν παρατηρήσουμε να «βγαίνουν» φυσαλίδες από τα σώματα αυτά, αυτό σημαίνει ότι στις κυψελίδες τους υπάρχει αέρας. Το πείραμα αυτό δείχνει ότι οι μαθητές έχουν τη γνώση ότι το νερό εκτοπίζει τον αέρα που περιέχεται στις κυψελίδες των σωμάτων και ότι η παρουσία του αέρα στο νερό γίνεται αντιληπτή με τη μορφή φυσαλίδων. Στη χημική πρακτική η γνώση αυτή έχει συστηματοποιηθεί για τη συλλογή αερίων, η οποία γίνεται μέσα σε ανεστραμμένους σωλήνες, κλειστούς στο άνω τους άκρο τους, που περιέχουν νερό. Ο εισερχόμενος αέρας ή το αέριο δηλώνεται με την παρουσία φυσαλίδων και ο όγκος του μετρείται από τον όγκο του νερού που εκτοπίζει.

Αναζητώντας τις απαρχές των μεθόδων διαπίστωσης της ύπαρξης και της υλικότητας του αέρα, θεωρούμε ότι παρουσιάζει ενδιαφέρον να αναφέρουμε ένα από τα λίγα πειράματα που έχουν φτάσει σ' εμάς από την Κλασσική Ελληνική εποχή: το πείραμα του Εμπεδοκλή (494-434 π.Χ.). Ο Εμπεδοκλής χρησιμοποίησε, μια κλεψύδρα νερού που είχε σχήμα κωνικό με μια μικρή τρύπα στη βάση και στην κορυφή της. Όταν η κλεψύδρα έμπαινε στο νερό με τη βάση της, χρειαζόταν ορισμένο χρόνο για να βυθιστεί και έτσι χρησίμευε για τη μέτρηση του χρόνου. Ο Εμπεδοκλής έφραξε με το δάχτυλό του την τρύπα της κορυφής και διαπίστωσε πως όταν βυθίστηκε πλήρως ο κώνος, το νερό δεν τον είχε γεμίσει πλήρως. Όταν απομάκρυνε το δάχτυλο του, ο αέρας «όρμησε» έξω από το άνοιγμα. (Leicester, 1956, σ. 43, Burnet, 1914, p.72).

Το πείραμα αυτό είναι αξιοπρόσεκτο για δύο κυρίως λόγους: πρώτον αποδεικνύεται με προσφυγή σε φυσικά μέσα και όχι σε διανοητικά επιχειρήματα ότι ο αέρας είναι υλικό σώμα και δεύτερο δείχνει πως ήδη είχε αρχίσει να γίνεται η προσφυγή στην άμεση παρατήρηση. Βέβαια δεν είναι ένα πείραμα με την έννοια ότι σχεδιάστηκε για να ελέγξει μια θεωρία ή να υποστηρίξει ένα μέρος ευρύτερης μελέτης, μάλλον ήταν



ένα μέσο για να επιβεβαιωθεί μια ιδέα που είχε προηγουμένως συλληφθεί με μια διαδικασία συλλογισμών.

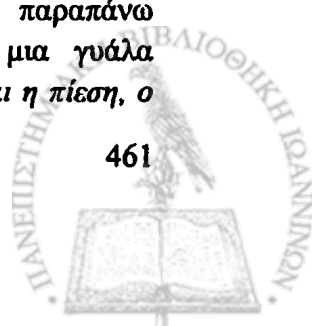
Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει η σωζόμενη γραπτή μαρτυρία για τη διαπίστωση της ύπαρξης του αέρα σε ανοιχτά δοχεία, του Ήρωνος του Αλεξανδρέως (περίπου το 100 π.Χ.) στο έργο του «Τα Πνευματικά» (Pneumatics).

Ο Ήρων είχε σαφή ιδέα για τη φύση των αερίων και διατύπωσε αρκετές ιδέες που σήμερα εμπεριέχονται στην κινητική θεωρία. Στο απόσπασμα που παραθέτομε φαίνεται καθαρά ότι ο Ήρων προσφεύγοντας στο πείραμα αποδεικνύει την υλική υπόσταση του αέρα αλλά και τη δυνατότητα δημιουργίας κενού, γεγονός που τον καθιστά πρωτοπόρο στην κατανόηση της αέριας κατάστασης. Γράφει ο Έλληνας μηχανικός: «*Τα αγγεία που φαίνονται στους περισσότερους ανθρώπους άδεια, δεν είναι άδεια, όπως υποθέτουν, αλλά γεμάτα αέρα. Ο αέρας, όπως συμφωνούν όσοι έχουν καταπιαστεί με τα φυσικά, αποτελείται από σωματίδια πολύ μικρά και ελαφρά και κατά το πλείστον αόρατα. Αν, λοιπόν ρίξουμε νερό σε ένα φαινομενικά άδειο δοχείο, ο αέρας θα αφήσει το αγγείο ανάλογα με την ποσότητα του νερού που περιέχεται σ' αυτό. Άρα πρέπει να υποθεθεί ότι ο αέρας είναι ύλη. Όταν ο αέρας τίθεται σε κίνηση γίνεται άνεμος. Αν τρυπηθεί η βάση του αγγείου και μπαίνει νερό, βάλουμε δε το χέρι μας πάνω από την τρύπα, θα αισθανθούμε τον άνεμο που ορμά από το δοχείο και αυτό δεν είναι τίποτε άλλο από τον αέρα που οδηγείται έξω, από το νερό.(...) Όσοι, λοιπόν, ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχει απολύτως κενό μπορούν να βρίσκουν πολλά επιχειρήματα επί του θέματος, και ίσως δείχνουν να μιλούν με πολλή αληθοφάνεια, αν και δεν προσφέρουν καμιά απτή απόδειξη. Αν, όμως, αποδεικνυόταν με προσφυγή σε αισθητά φαινόμενα πως υπάρχει ένα τέτοιο πράγμα όπως το συνεχές κενό, αλλά κατασκευασμένο τεχνητά πως υπάρχει επίσης και φυσικό κενό, αλλά διασκορπισμένο σε πολύ μικρά μέρη και ότι με συμπίεση τα σώματα γεμίζουν αυτά τα σκόρπια κενά, τότε όσοι ισχυρίζονται με αληθοφανή επιχειρήματα ότι δεν υπάρχει κενό, δε θα εδράζονται πλέον γερά».* (Hero of Alexandria, translated by Woodcroft, Taylor, Walton και Maberly, 1851, pp. 6-7, Leicester, 1993, σ. 59).

Το επόμενο πείραμα που προτείνεται από τους μαθητές σε μεγαλύτερο ποσοστό (13,5%, στο σύνολο των μαθητών που απαντούν), για τη διαπίστωση της ύπαρξης του αέρα (πίνακας 3B, περίπτωση Β) στηρίζεται στη γνώση ότι ο αέρας έχει την ιδιότητα της συμπεστότητας. Η αναφορά της συμπεστότητας γίνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τους μαθητές της α' λυκείου (18,7%) και ακολουθούν οι μαθητές της α' γυμνασίου (15,4%). Οι μαθητές της β' γυμνασίου προτείνουν το πείραμα αυτό σε πολύ μικρότερο ποσοστό (9,9%).

Η κατανόηση της συμπεστότητας των αερίων σε μικροσκοπικό επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα καλό σημείο για την έναρξη της διαδικασίας που οδηγεί στην αντίληψη ότι μεταξύ των μορίων των αερίων υπάρχει κενός χώρος και παραπέρα σε μια πρωτογενή, αλλά προς τη σωστή κατεύθυνση αναπαράσταση της μικροσκοπικής δομής των αερίων.

Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς, αμέσως μετά από το απόσπασμα που παραπάνω αναφέρθηκε, παραθέτει ένα πείραμα με το φύσημα αέρα μέσα σε μια γυάλα αποδεικνύοντας ότι ο αέρας μπορεί να συμπεστεί. «*Μόλις πάψει να ασκείται η πίεση, ο*



αέρας πετάγεται έξω. Τα σωματίδια που μένουν μέσα δεν αυξάνουν σε μέγεθος, άρα πρέπει να υπάρχουν κενά μεταξύ τους».

Ας σημειωθεί ότι η συμπιεστότητα του αέρα υπήρξε μια από τις αφετηριακές ιδέες στην ιστορική ανάπτυξη της κατανόησης της αέριας κατάστασης. Ο R. Boyle είχε οδηγηθεί από πειράματα στην άποψη ότι ο αέρας είναι «ελαστικό ρευστό» που εκτείνεται όταν δεν συμπιέζεται. Εξ αιτίας της ελαστικότητάς του ο αέρας ασκεί πίεση, και η πίεση του αέρα μάλλον, παρά απλώς το βάρος του, δημιουργεί τη στήλη του υδραργύρου στο βαρόμετρο. Ο Boyle αποκαλούσε την ελαστικότητα του αέρα «ικανότητα εκτίναξης του αέρα» και, σαν καλός μηχανοκρατικός, φαντάστηκε πως κάθε σωματίδιο του αέρα είναι ένα μικρό ελατήριο που μπορεί να συμπεστεί από κάποια εξωτερική δύναμη. Η δημοσίευση των συμπερασμάτων από μια σειρά πειραμάτων του στο έργο «*Νέα φυσικομηχανικά πειράματα, σχετικά με το ελαστικόν του αέρος και τα αποτελέσματά του*» (1600) προκάλεσε την αντιπαράθεση του Ιησούιτη πατρός Λίνου. Απορρίπτοντας την υπόθεση της ελαστικότητας, ο Λίνος επισήμανε τη συνέπεια της ιδέας του Boyle, ότι ο αέρας θα έπρεπε να μπορεί να συμπιέζεται αφού μπορεί να εκτείνεται. Η πρόκληση αυτή έγινε η αφορμή να ξεκινήσει τις έρευνες ο Boyle που κατέληξαν στη διατύπωση του ομώνυμου νόμου για τα αέρια (Westfall, 1977, σ. 68-69).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3Α.** Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	Α΄ Γυμν.	Β΄ Γυμν.	Α΄ Λυκ.
	N=170	N=148	N=96
Ποσοστό %			
Απαντούν	30,6	47,9	33,3
Αν τα βάλουμε σε νερό θα βγουν φυσαλίδες	44,2	43,7	60,6
Τα σώματα που περιέχουν αέρα συμπιέζονται	15,4	9,9	18,7
Απορροφούν νερό / όταν τα πιέσουμε το νερό βγαίνει με την βοήθεια του αέρα	11,5	16,9	6,1
Ο αέρας που έχουν τα κάνει βαρύτερα / Αν τους ρίξουμε νερό, το νερό αντικαθιστά τον αέρα και τα κάνει βαρύτερα	9,6	11,3	0,0
Ο αέρας που περιέχουν επηρεάζει τις φυσικές τους ιδιότητες (Η φρυγανιά σπάει και το σφουγγάρι είναι φουσκωμένο επειδή έχουν αέρα)	7,7	5,6	6,1
Ο όγκος των σωμάτων που έχουν τρύπες μικραίνει όταν αφαιρεθεί απ' αυτά ο αέρας. Τα σώματα που έχουν τρύπες επιπλέουν	9,6	2,8	3,0
Αταξινόμητες	1,9	7,0	6,1

Ο Nussbaum (1998) στο πλαίσιο μιας εποικοδομητικής διδασκαλίας για τη σωματιδιακή θεωρία των αερίων, προτείνει ότι οι εκπαιδευτικοί μπορούν να κερδίσουν βαθιά γνώση από μια πρακτική διδασκαλίας που χρησιμοποιεί στοιχεία από την ιστορία



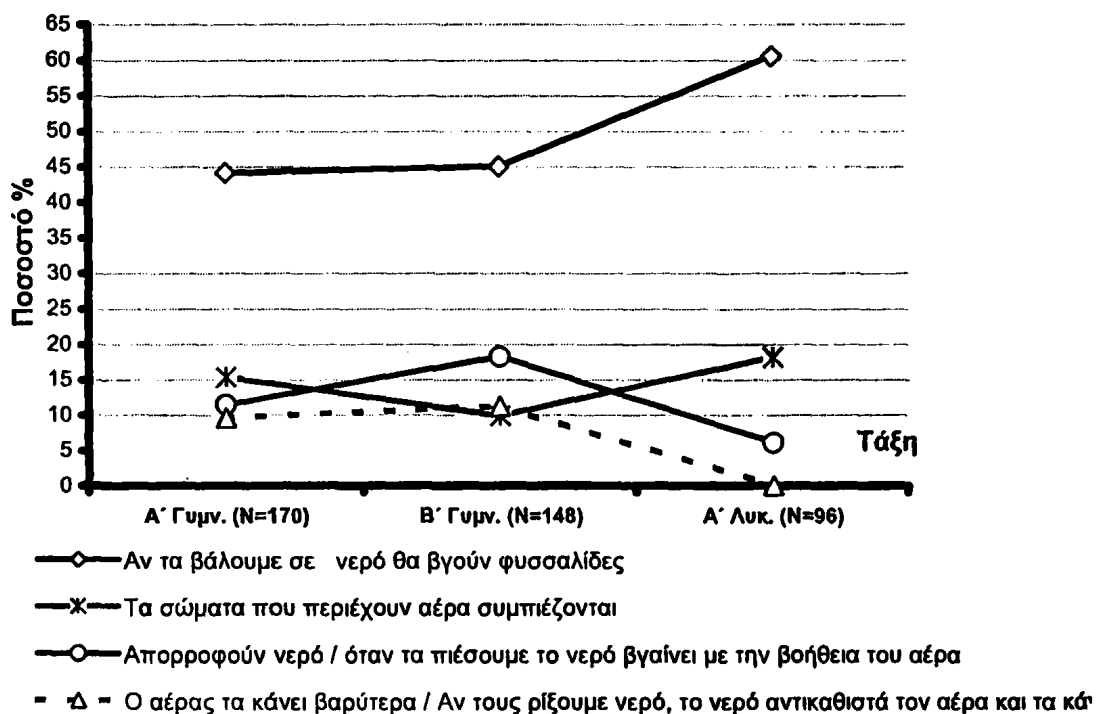
της σωματιδιακής θεωρίας και τις ιδιαίτερες επιστημολογικές της επιπτώσεις. Μια από τις δραστηριότητες των μαθητών ήταν να ταξινομήσουν μια ομάδα από αντικείμενα, όπως ένα μεταλλικό κύβο, ένα ατσάλινο ελατήριο, ένα σώμα σε μορφή μαλλιού με ατσάλινες ίνες, ένα σφουγγάρι, ένα ελαστικό πάμα, κ.ά., ως συμπιεστά και μη συμπιεστά. Οι μαθητές καταλήγουν ότι κάποια μεταλλικά αντικείμενα και κάποια πλαστικά είναι συμπιεστά, ενώ άλλα δεν είναι. Ο προσδιοριστικός παράγοντας είναι η εσωτερική δομή των αντικειμένων παρά το υλικό καθ'εαυτό. Αν η εσωτερική δομή εμπεριέχει κενούς χώρους, τότε το υλικό μπορεί να είναι συμπιεστό. Αν η εσωτερική δομή είναι συμπαγής χωρίς εσωτερικούς κενούς χώρους, τότε το υλικό δεν είναι συμπιεστό.

Αυτό το μακροσκοπικό φαινόμενο, αναφέρει ο Nussbaum (1988), μπορεί να λειτουργήσει αργότερα σαν μια αναλογία για μοντελοποίηση της μικροσκοπικής δομής των αερίων. Μια αναλογία για την προσέγγιση της δομής των αερίων με τη χρήση σφουγγαριού ή γδαρμένου μαλλιού, είχε προταθεί από τους Pascal και Boyle. Η συμπιεστότητα του αέρα είναι πρωταρχικό χαρακτηριστικό του, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην υπόθεση ότι στη δομή των αερίων υπάρχουν κενοί χώροι.

Τα υπόλοιπα πειράματα για τη διαπίστωση ύπαρξης αέρα σε ένα σφουγγάρι ή σε μια φρυγανιά, προτείνονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τους μαθητές μικρότερων ηλικιών και στηρίζονται σε ένα ή δύο εμπειρικά δεδομένα. Στην ομάδα Γ των πειραμάτων αναφέρουν (ποσοστό 12,9%) ότι «τα σώματα που έχουν τρύπες, περιέχουν αέρα και μπορούν να απορροφούν νερό ή όταν στη συνέχεια τα πιέσουμε το νερό φεύγει με τη βοήθεια του αέρα που βρίσκεται στις τρύπες».

Στην ομάδα Δ (ποσοστό 8,4%) τα προτεινόμενα πειράματα στηρίζονται στη γνώση ότι ο αέρας έχει βάρος και επιπλέον ότι, όταν ο αέρας που περιέχουν αντικατασταθεί από νερό τα σώματα γίνονται βαρύτερα, δηλώνοντας έμμεσα ότι το νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα. Στην ομάδα Ε (ποσοστό 7,7%) γίνεται αναφορά σε μηχανικές ιδιότητες των σωμάτων λόγω του περιεχόμενου σ'αυτά αέρα, «η φρυγανιά σπάει και το σφουγγάρι είναι φουσκωμένο επειδή έχουν αέρα». Τέλος στην ομάδα Ζ (5,2%) τα προτεινόμενα πειράματα αναφέρονται στην ελαστικότητα των σωμάτων λόγω της ύπαρξης σ'αυτά αέρα και επιπλέον ότι «τα σώματα που περιέχουν αέρα μπορούν και επιπλέον».

**Διάγραμμα 3.** Ποσοστό % των προτεινόμενων πειραμάτων ανά τάξη στην ερώτηση: Με ποιό πείραμα μπορείς να βεβαιωθείς αν μέσα σε ένα σφουγγάρι ή μιά φρυγανιά υπάρχει αέρας

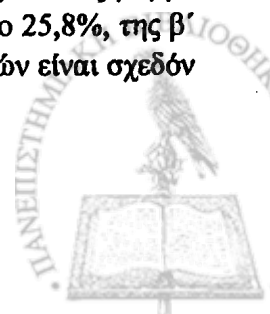


#### Ερώτηση 4

Με την ερώτηση 4, ζητείται από τους μαθητές να αναφέρουν παραδείγματα που να δείχνουν, ότι στις συνήθειες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης του περιβάλλοντος υπάρχουν υδρατμοί. Με την ερώτηση αυτή στοχεύουμε να καταγράψουμε σε ποιο βαθμό οι μαθητές έχουν κατακτήσει ένα πρώτο επίπεδο γνώσης, τη δηλωτική γνώση (declarative knowledge), σε σχέση με το φαινόμενο της εξάτμισης.

Η ερώτηση δεν ευρίσκετο αυτούσια σε διδακτικό βιβλίο μαθητή, όμως τόσο στα φυσικά της ΣΤ' τάξης του δημοτικού (Φυσικά ΣΤ' τάξης, Αλεξόπουλος, κ.ά., 1994, σ. 46-49), όσο και στο βιβλίο φυσικής της β' γυμνασίου (Φυσική Β' Γυμνασίου, Ζενάκος κ.ά., σ. 159-160), οι μαθητές του δείγματος μας είχαν διδαχθεί το φαινόμενο της εξάτμισης και επιπλέον είχαν διδαχθεί ενότητες σε άλλα μαθήματα, όπως στη Γεωγραφία και τη Βιολογία που ασχολούνται με το κλίμα, τα υδατώδη μετέωρα, την ανάπτυξη των φυτών κ.ά. που αναφέρονται στην ύπαρξη υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Το ποσοστό των μαθητών που απαντούν στην ερώτηση είναι το 37,7%, στο σύνολο του δείγματος (N=451). Τα ποσοστά δε που απαντούν παρουσιάζουν αύξηση με την ηλικία. Συγκεκριμένα από τους μαθητές της α' γυμνασίου απαντούν το 25,8%, της β' γυμνασίου το 37,1% και της α' λυκείου 61,7%. Οι απαντήσεις των μαθητών είναι σχεδόν





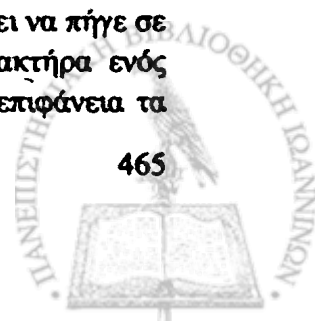
διχοτομημένες σε δύο ομάδες, στη μία ομάδα ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχουν υδρατμοί στην ατμόσφαιρα στις συνήθεις συνθήκες και στην άλλη ότι υπάρχουν.

Πίνακας 4Α. Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 4.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	Α΄ Γυμν.	Β΄ Γυμν.	Α΄ Λύκ.
	N=182	N=175	N=94
Ποσοστό %			
Απαντούν	25,8	37,1	61,7
1. Για να μετατραπεί το νερό σε υδρατμό πρέπει να φτάσει σε κατάσταση βρασμού / πρέπει να έχει θερμοκρασία 100°C / πρέπει να βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία	42,5	52,3	37,9
2. Στη θερμοκρασία των 25°C το νερό είναι σε υγρή κατάσταση	0,0	3,1	5,2
3. Το νερό μετατρέπεται σε υδρατμό με τη διαδικασία της εξάτμισης	27,7	16,9	3,4
4. Αναφέρουν φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με την ύπαρξη υδρατμών	14,9	20,0	50,0
5. Αταξινόμητες	14,9	7,7	3,5

Στην περίπτωση Α (πίνακας 4Β), που την αναφέρουν το 15,3% των μαθητών γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της εξάτμισης, και το θεωρούν ως την αιτία παραγωγής υδρατμών στην ατμόσφαιρα στις συνήθεις συνθήκες και επιπλέον υποδηλώνουν ότι αυτό συμβαίνει γιατί το νερό από τις θάλασσες, τα ποτάμια και τις λίμνες θερμαίνεται από τον Ήλιο. Έμμεσα αναφέρουν ότι η εξάτμιση συμβαίνει με προσφορά ενέργειας, χωρίς όμως να αναφέρουν την αφηρημένη έννοια «θερμότητα». Επιπλέον σκιαγραφούν τον κύκλο του νερού στη φύση υποδηλώνοντας ότι ενυπάρχει σ' αυτούς και η ιδέα της διατήρησης της μάζας του νερού στη φύση. Τέτοιες απαντήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως πρόδρομες για μια μετέπειτα πιο γενικευμένη κατανόηση του φαινομένου της εξάτμισης στη φύση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μαθητές της α΄ λυκείου, αντίθετα απ' ό τι αναμένονταν, παρουσιάζουν πάρα πολύ μικρό ποσοστό στην απάντηση αυτή (3,4%) έναντι των μικρότερων μαθητών. Οι μαθητές της α΄ γυμνασίου παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό (27,7%) και ακολουθούν οι μαθητές της β΄ γυμνασίου με 16,9%.

Σε έρευνα σχετική με την ανάπτυξη της έννοιας της εξάτμισης, ο Bar (1986) βρήκε ότι παιδιά ηλικίας 5-6 ετών εντυπωσιάζονται από την εξαφάνιση του υγρού κατά την εξάτμιση και δέχονται ότι αυτό συμβαίνει, χωρίς βέβαια να δίνουν καμία εξήγηση. Μέχρι την ηλικία των 8-10 ετών, οι μαθητές δεν πιστεύουν στη διατήρηση του εξατμισμένου υγρού, και προτείνουν ότι το υλικό που εξαφανίστηκε θα πρέπει να πήγε σε κάποιο άλλο μέρος. Κατά την άποψή τους, αυτό το μέρος έχει το χαρακτήρα ενός «υποδοχείου», που μπορεί να είναι ένα στερεό δοχείο ή μια υποστηρικτική επιφάνεια τα



οποία θεωρούν πορώδη. Η ιδέα για την εξάτμιση εμφανίζεται να εξαρτάται από την ανάπτυξη της ιδέας για τη διατήρηση της μάζας, τη σωματιδιακή δομή της ύλης και τον (αόρατο) αέρα. Μια αντίληψη για την εξάτμιση που συνδέει αυτές τις τρεις ιδέες, είναι αρκετά κυρίαρχη στην ηλικία των 12-14 ετών.

Ο Beveridge (1985) παρουσιάζοντας ένα δοχείο με νερό που θερμαίνεται από φλόγα αερίου, σημείωσε ότι μαθητές 3-12 ετών για να εξηγήσουν την ελάττωση της στάθμης στο νερό του δοχείου υπαινίσσονταν μια απορροφητικότητα του δοχείου και δε συνέδεαν τον ατμό που προέρχεται από το νερό που βράζει με την ελάττωση της στάθμης. Οι γραπτές περιγραφές των παιδιών σχετικά με τη διαδικασία της εξάτμισης, όπως αυτές καταγράφηκαν στη μελέτη του Beveridge, στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για παραπέρα έρευνα από τους Collis και Biggs (1989), σε μια απόπειρα ταξινόμησης της γνωστικής κατανόησης των μαθητών της διαδικασίας της εξάτμισης, στο πλαίσιο της ταξινομίας SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome – Δομή παρατηρούμενου μαθησιακού αποτελέσματος) (Levins, 1992, Collis & Biggs, 1991).

Στην περίπτωση Β (πίνακας 4B) των απαντήσεων, οι μαθητές δέχονται την ύπαρξη των υδρατμών στις συνήθεις συνθήκες αναφέροντας μια ποικιλία από φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς. Σ' αυτή την παράθεση φαινομένων που συνδέονται με την ύπαρξη των υδρατμών οι μαθητές της α' λυκείου απαντούν κατά 50,0%, ακολουθούν οι μαθητές της β' γυμνασίου με 20,0% και το μικρότερο ποσοστό σ' αυτό τον τύπο απαντήσεων εμφανίζουν οι μαθητές της α' γυμνασίου (14,9%). Η σύνδεση της εξάτμισης με τη μείωση της στάθμης του νερού και με τα υδατώδη ατμοσφαιρικά φαινόμενα δείχνει ότι οι μαθητές κυρίως της α' λυκείου έχουν απομακρυνθεί από τις σχετικές διαισθητικές ιδέες. Επιπλέον το σχετικά υψηλό ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου που απαντούν (28,8%) δείχνει ότι για τους μαθητές σ' αυτή την ηλικία υπάρχει μια άνεση στο να ανακαλούν περιπτώσεις περιγράφοντας εικόνες από την καθημερινή τους εμπειρία, παρά να χρησιμοποιούν τα γενικευμένα συμπεράσματα της επιστημονικής γνώσης.

Από την άλλη πλευρά οι τύποι των απαντήσεων Γ, Δ, Ε και ΣΤ δείχνουν ότι το υπόλοιπο 47,6% των μαθητών που απάντησαν δεν έχουν κατανοήσει την έννοια της εξάτμισης και ισχυρίζονται ότι για να μετατραπεί το νερό σε υδρατμό πρέπει να φτάσει σε κατάσταση βρασμού ή να έχει υψηλή θερμοκρασία. Προφανώς η ύπαρξη των υδρατμών, για τους μαθητές αυτούς γίνεται κατανοητή μόνο μέσω του δυναμικού φαινομένου του βρασμού και η «αθόρυβη» και συνεχής εξάτμιση του νερού στις συνθήκες περιβάλλοντος δεν έχει συνειδητοποιηθεί.

Στην περίπτωση Γ έχουμε υψηλά ποσοστά μαθητών της α' και β' γυμνασίου (29,7% και 33,9% αντίστοιχα) που οι απαντήσεις τους εστιάζονται στην κατάσταση του βρασμού.

Οι Bar και Travis (1991) βρήκαν ότι η κατανόηση του βρασμού προηγείται της κατανόησης της εξάτμισης από βρεγμένες επιφάνειες. Σε ένα δείγμα από μαθητές ηλικίας 6-8 ετών, βρήκαν ότι το 70% κατανόησαν ότι, όταν βράζει το νερό βγαίνει ατμός, η ποσότητα του νερού μειώνεται και ο ατμός είναι από νερό. Ωστόσο τα ίδια παιδιά



ανέφεραν ότι όταν ένα στερεό αντικείμενο π.χ. ένα βρεγμένο πιάτο στεγνώσει, τότε το νερό απλά εξαφανίζεται ή εισχωρεί στο στερεό αντικείμενο.

Η εργασία του Piaget (1974) υπέδειξε με πειστικό τρόπο το μονοπάτι που οδηγεί, από την άρνηση του παιδιού να αποδεχθεί οποιοδήποτε «πέραςμα από μια κατάσταση της ύλης σε άλλη». Στην αρχή εμφανίζεται μια διαισθητική εξήγηση που εμπεριέχει υλικούς όρους, στη συνέχεια έχουμε μια αποδοχή της εξάτμισης που εμπεριέχει μια αλλαγή κατάστασης, και τελικώς το επίπεδο που τα παιδιά περιγράφουν τον ατμό ως «μικροσκοπικά κομμάτια νερού». Την τελευταία εξήγηση ο Piaget θεώρησε ότι ενέπλεκε μια κατανόηση της «σωματιδιακής θεωρίας της ύλης». Το παραπάνω μονοπάτι που περιέγραψε ο Piaget είναι εξαρτημένο από την ηλικία και παρουσιάζει μια βελτίωση στο βαθμό της αφαιρετικότητας των ιδεών των παιδιών.

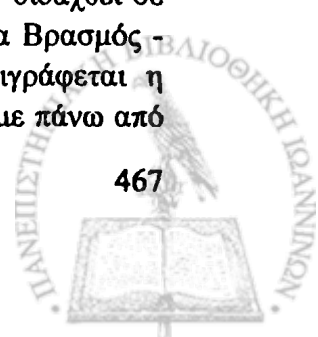
Στον τύπο των απαντήσεων Δ ο σχηματισμός υδρατμών δε συνδέεται με το φαινόμενο του βρασμού αλλά με την υψηλή θερμοκρασία που πρέπει να έχει το νερό. Η πλειονότητα των μαθητών που δίνουν αυτό τον τύπο απάντησης προέρχονται από την α' λυκείου (25,8%) και επικεντρώνουν την απάντησή τους στη θερμοκρασία των 100 °C, συγκεκριμένα αναφέρουν ότι «για να γίνει το νερό υδρατμός πρέπει να έχει θερμοκρασία 100°C και ότι στη θερμοκρασία των 25°C το νερό δεν εξατμίζεται». Στην περίπτωση Γ, όπως και στη Δ αν και αναφέρεται ο βρασμός και η υψηλή θερμοκρασία δε γίνεται καμιά αναφορά στην υπερκείμενη πίεση στην επιφάνεια του νερού. Προφανώς η έννοια της πίεσης έχει μια πιο δυσπρόσιτη σχέση με την εξάτμιση σε σχέση με τη θερμοκρασία για τους μαθητές. Οι εμπειρίες των μαθητών, αλλά και οι παρουσιάσεις των σχολικών βιβλίων υποθέτουν την εξάτμιση και το βρασμό σε πίεση 1 atm, χωρίς να γίνεται κάποια ιδιαίτερη αναφορά ή να θέτουν το ερώτημα τι θα συμβεί αν η επικρατούσα πίεση στην επιφάνεια ενός υγρού ελαττωθεί ή αυξηθεί. Το διδακτικό αυτό κενό γίνεται έντονα αντιληπτό σε όσους εκπαιδευτικούς έχουν διδάξει στο λύκειο τις προσθετικές ιδιότητες των μοριακών διαλυμάτων και ιδιαίτερα την τάση των ατμών (νόμος του Raoult).

Τέλος οι τύποι των απαντήσεων στις περιπτώσεις Ε' και ΣΤ', αν και παρουσιάζουν μικρά ποσοστά, δόθηκαν από το 9,4% των μαθητών που απάντησαν, και επιβεβαιώνουν την πεποίθηση των μαθητών που απάντησαν όπως στις παραπάνω δύο περιπτώσεις, ότι υδρατμοί δεν μπορούν να υπάρξουν στη θερμοκρασία των 25 °C, δημιουργούνται μόνο όταν το νερό βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία.

### Ερώτηση 5

Η ερώτηση 5 διερευνά το βαθμό κατανόησης και εφαρμογής της έννοιας της υγροποίησης ή συμπύκνωσης των υδρατμών του ατμοσφαιρικού αέρα. Η διατύπωση της ερώτησης παρουσιάζει δύο φαινόμενα στους μαθητές, το σχηματισμό σταγονιδίων στα τζάμια το χειμώνα και στο εξωτερικό μέρος ενός μπουκαλιού που βγάζουμε από το ψυγείο.

Την έννοια της υγροποίησης οι μαθητές του δείγματός μας την είχαν διδαχθεί σε ένα αριθμό μαθημάτων. Στη ΣΤ' τάξη του δημοτικού σχολείου στο μάθημα Βρασμός - Υγροποίηση (Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο, πρώτο μέρος, σ. 50-54) περιγράφεται η υγροποίηση υδρατμών σε ένα ψυχρό μεταλλικό ή γυάλινο δίσκο που κρατάμε πάνω από



νερό που βράζει σε μια χύτρα. Το φαινόμενο εξηγείται στο βιβλίο του μαθητή με αναφορά στην έννοια της θερμότητας. Συγκεκριμένα αναφέρει: «Οι θερμοί ατμοί που έρχονται σε επαφή με το δίσκο δίνουν τη θερμότητά τους στην κρύα του επιφάνεια. Εκεί ψύχονται και μετατρέπονται σε νερό, δηλαδή υγροποιούνται». Επίσης στο ίδιο βιβλίο, στο μάθημα «Υδατώδη Μετέωρα» εξηγούνται τα φαινόμενα σχηματισμού δροσιάς, πάχνης, χαλάζις και χιονιού.

Στο βιβλίο Χημείας της β' γυμνασίου, που είχαν διδαχθεί οι μαθητές του δείγματος μας (Χημεία Β' γυμνασίου, Φράσσαρη & Λιαπάτη, 1988, σ. 24), στο 5<sup>ο</sup> μάθημα (Η χημεία και το φυσικό περιβάλλον, σ. 24) παρουσιάζεται η εικονογράφηση ενός ποτηριού με κρύο νερό που στην εξωτερική του επιφάνεια έχουν σχηματιστεί σταγονίδια νερού. Το πείραμα αυτό χρησιμοποιείται για να δείξει την ύπαρξη υδρατμών στον ατμοσφαιρικό αέρα και επιπλέον εξηγεί γιατί, «σχηματίζονται σταγονίδια νερού σε ψυχρές επιφάνειες ή στα τζάμια κατά το χειμώνα». Επίσης στο βιβλίο της φυσικής της β' γυμνασίου, στην ενότητα 39 (Αλλαγή καταστάσεως των σωμάτων - Βρασμός - Απόσταξη - Εξάχνωση, σ. 162-166), η παράγραφος που αναφέρεται στην υγροποίηση εξηγεί την τεθείσα ερώτηση στο τεστ. Περαιτέρω δε στην επόμενη παράγραφο περιγράφεται η διαδικασία της απόσταξης, εξηγώντας ότι σ' αυτή λαμβάνουν χώρα το φαινόμενο της εξαέρωσης ενός υγρού και στη συνέχεια της υγροποίησης των υδρατμών στο ψυκτήρα. Ένα επιπλέον μάθημα (ενότητα 40<sup>η</sup>), στο ίδιο βιβλίο είναι αφιερωμένο στην υγρασία και διαπραγματεύεται έννοιες όπως τη σχετική και απόλυτη υγρασία, το σημείο δρόσου, σχηματισμό νεφών και ομίχλης, και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Το φαινόμενο της υγροποίησης των υδρατμών οι μαθητές το έχουν συναντήσει και σε άλλα φυσιογνωστικά μαθήματα, όπως στη Βιολογία, τη Γεωγραφία και στη Μελέτη του Περιβάλλοντος (Εμείς και ο Κόσμος).

Παρά τα παραπάνω αναφερθέντα, το ποσοστό των μαθητών που απάντησε στην ερώτηση είναι μόλις το 36,9% στο σύνολο του δείγματος (N=463). Αξιοσημείωτο είναι το σχετικά υψηλό ποσοστό των μαθητών της β' γυμνασίου (48,9%) που απάντησαν σε σχέση με αυτό των μαθητών της α' γυμνασίου και α' λυκείου (31,0% και 31,6% αντίστοιχα).

Η αποδεκτή απάντηση προϋποθέτει τη γνώση, ότι οι υδρατμοί αποτελούν συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα και επιπλέον όταν ψυχθούν ή έρθουν σε επαφή με μια ψυχρή επιφάνεια αποδίδουν θερμότητα σ' αυτή, η θερμοκρασία τους ελαττώνεται, έρχονται πιο κοντά και μετατρέπονται σε σταγόνες νερού. Απαντήσεις που περιέχουν τέτοια στοιχεία έδωσε μόνο το 8,8% των μαθητών του συνολικού δείγματος (πίνακας 5B, περίπτωση Α). Από τους μαθητές της α' λυκείου απάντησαν κατά τρόπο αποδεκτό, περίπου ένας στους δέκα (10,2%), ενώ οι μαθητές της α' και β' γυμνασίου σε μικρότερα ποσοστά, 8,0% και 8,3% αντίστοιχα. Ας σημειωθεί ότι στις εξηγήσεις τους οι μαθητές δεν κάνουν καμία αναφορά στη διαδικασία υγροποίησης των υδρατμών, με απόδοση μέρους της θερμότητάς τους στην ψυχρή επιφάνεια. Επίσης δε γίνεται από κανένα μαθητή του δείγματός μας αναφορά στο φαινόμενο της υγροποίησης σε μικροσκοπικό επίπεδο.

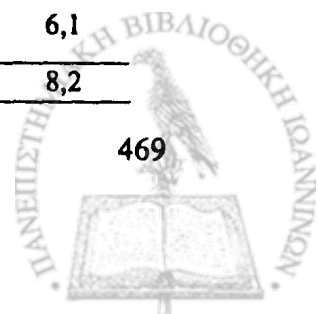


Τα βιβλία τόσο του δημοτικού σχολείου, στις δύο τελευταίες τάξεις, όσο και τα βιβλία φυσικής και χημείας του γυμνασίου που διδάχθηκαν οι μαθητές, αναφέρονται στη μικροσκοπική δομή της ύλης και δίνουν σχηματικές αναπαραστάσεις της. Πρέπει, όμως να αναγνωρίσουμε ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι ιδιαίτερα δύσκολη για αυτές τις ηλικίες και ενισχύει την άποψη ότι η μικροσκοπική θεώρηση των φαινομένων θα πρέπει να εισάγεται με ιδιαίτερη προσοχή και να ζητούνται εξηγήσεις φαινομένων σε μικροσκοπικό επίπεδο σε μεγαλύτερες ηλικίες (Tsaparlis, 1997).

Η δυσκολία προσέγγισης σε μικροσκοπικό επίπεδο των φαινομένων της εξάτμισης και υγροποίησης από τους μαθητές φαίνεται και από τις εργασίες των Osborne και Gosstone (1983). Οι παραπάνω ερευνητές διερευνώντας με τη βοήθεια συνέντευξης, τις ιδέες μαθητών 13-17 ετών, για την εξάτμιση και την υγροποίηση, βρήκαν ότι μόνο το 1/5 του δείγματος τους έκαναν λόγο για μόρια ή για σωματίδια όταν περιέγραφαν τι συνέβαινε στο νερό που εξατμιζόταν από ένα πιάτο. Μόνο ένας από τους 43 μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα γνώριζε ότι τα σωματίδια «έπαιρναν ενέργεια από κάπου και απομακρύνονταν» κατά την εξάτμιση. Οι πιθανές πηγές ενέργειας που αναφέρθηκαν ήταν: «από αυτή που έχουν», το «ένα από το άλλο» ή «από τον αέρα τριγύρω». Για την υγροποίηση, αν και η πλειοψηφία των παραπάνω μαθητών έδινε μακροσκοπικές περιγραφές, ένα μικρό ποσοστό από αυτούς πρότεινε ότι «τα μόρια του νερού ήρθαν πιο κοντά το ένα στο άλλο» και μόνο ένας δεκαεπτάχρονος μαθητής είπε ότι «τα μόρια έχασαν ενέργεια και έγιναν νερό... σχηματίστηκαν δεσμοί μεταξύ των μορίων».

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5Α.** Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 5.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	A' Γυμν. N=161	B' Γυμν. N=147	A' Λύκ. N=155
	Ποσοστό %		
<b>Απαντούν</b>	31,0	48,9	31,6
1. Οι υδρατμοί που υπάρχουν στην ατμόσφ. όταν ψυχθούν υγροποιούνται.	8,0	8,3	10,2
2. Λόγω αλλαγής / διαφοράς / αντίθεσης / θερμοκρασίας μέσα και έξω στο μπουκάλι / στα τζάμια	18,0	30,5	18,4
3. Η επαφή / ένωση του κρύου με το ζεστό δημιουργεί σταγονίδια / υδρατμούς / θαμπάδα	22,0	16,7	22,4
4. Το πολύ κρύο δημιουργεί / θαμπάδα / υδρατμούς / δροσίζει το εξωτερικό του μπουκαλιού. Τα γυάλινα πράγματα στο κρύο γίνονται θαμπά	20,0	13,9	20,4
5. Έξω από τα τζάμια και μέσα στο ψυγείο υπάρχει υγρασία	10,0	8,3	14,3
6. Ο αέρας όταν ψυχθεί μετατρέπεται σε σταγονίδια / υγροποιείται	8,0	13,9	6,1
7. Αταξινόμητες	14,0	8,3	8,2



Επίσης οι Novick και Nussbaum (1978), χρησιμοποίησαν μια κλειστή φιάλη με αέρα, τον οποίο υγροποίησαν με ψύξη και στη συνέχεια ζήτησαν από μαθητές 13-14 ετών να σχεδιάσουν τα σωματίδια του υγροποιημένου αέρα. Περίπου το 70% σχεδίασε τα μόρια πολύ κοντά στον πυθμένα και στα τοιχώματα της φιάλης. Ποσοστό γύρω στο 10% σχεδίασε μια συνεχή αναπαράσταση του υγρού, αν και τους είχε δοθεί προηγουμένως μια σωματιδιακή αναπαράσταση του αερίου πριν ψυχθεί. Φαίνεται ότι οι μαθητές αυτοί, γράφουν οι παραπάνω ερευνητές αντιμετώπιζαν την υγρή κατάσταση ως συνεχή και την αέρια ως σωματιδιακή.

Στην περίπτωση Z (πίνακας 5B) των απαντήσεων που αναφέρει το 9,9% των μαθητών που απάντησαν, οι μαθητές αντιλαμβάνονται την υγροποίηση να λαμβάνει χώρα με την επαφή του αέρα με μια ψυχρή επιφάνεια. Δεν αναφέρονται καθόλου στους υδρατμούς, αναφέρουν ότι «ο αέρας ψύχεται και μετατρέπεται σε σταγονίδια νερού / υγροποιείται». Προφανώς η μη γνώση ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει και υδρατμούς τους οδηγεί να αναφέρονται στον αέρα κατά τρόπο γενικό.

Στην ερώτηση 4, που παρουσιάσαμε προηγουμένως, τα ποσοστά των μαθητών που αιτιολογούν την ύπαρξη υδρατμών στις συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος ήταν πολύ υψηλότερα (42,6%, 36,9%, 53,4% για τις α', β' γυμνασίου και α' λυκείου αντίστοιχα) σε σχέση με τους μαθητές που κάνουν αναφορά στους υδρατμούς στην ερώτηση 5. Μια στατιστική συσχέτιση των παραπάνω ποσοστών δεν είναι δυνατή καθώς οι δύο ερωτήσεις δεν απαντούν οι ίδιοι μαθητές. Οι δύο ερωτήσεις βρίσκονταν σε διαφορετικούς τύπους ερωτηματολογίου (βλέπε διαδικασία). Άλλωστε ανάμεσα στη γνώση της ύπαρξης των υδρατμών και στην εφαρμογή της κατά την υγροποίησή τους υπάρχει κάποια απόσταση.

Οι ιδέες των παιδιών που αφορούν τη συμπύκνωση των υδρατμών που γίνεται στην εξωτερική επιφάνεια ενός δοχείου που περιέχει πάγο, έχουν ερευνηθεί από τους Bar και Travis (1991) καθώς και από τους Osborne και Cosgrove (1983). Από την έρευνα των πρώτων, με παιδιά ηλικίας 10-14 ετών, που τους ζητήθηκε να επιλέξουν τη σωστή κατά τη γνώμη τους απάντηση από έναν αριθμό εναλλακτικών απαντήσεων, επέλεξαν με μεγάλη συχνότητα (περίπου 40%) απαντήσεις του τύπου: «η κρυότητα αλλάζει σε νερό» και «το κρύο ήταν η αιτία για να μετατραπεί το υδρογόνο και το οξυγόνο σε νερό». Λιγότερο από το 20% επέλεξε την απάντηση: «το νερό προήλθε από τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα».

Από την έρευνα των δεύτερων ερευνητών, με παιδιά ηλικίας 12-15 ετών, επέλεξαν σε ποσοστό 60% την απάντηση, «η κρυότητα μετατρέπει το υδρογόνο και το οξυγόνο του αέρα σε νερό», ενώ το ποσοστό που επέλεγον αυτή την απάντηση μειώθηκε στο 30% για παιδιά ηλικίας 17 ετών. Το ποσοστό των παιδιών που επιλέγει την απάντηση ότι «η συμπύκνωση προκύπτει από το νερό που βρίσκεται στον αέρα αυξήθηκε με την ηλικία από 10% σε 55% μεταξύ 12-17 ετών. Η σύγκριση αυτών των απαντήσεων με άλλες απαντήσεις των ίδιων μαθητών, οδήγησε τους παραπάνω ερευνητές στο συμπέρασμα ότι παρόλο που οι μαθητές γνωρίζουν θεωρητικά ότι ο ατμός μπορεί να μετατραπεί σε νερό, με δυσκολία εφαρμόζουν αυτή τη γνώση στην πράξη. Το ποσοστό



των μαθητών (ηλικία 12 – 15 ετών) της δικής μας έρευνας, που διεξήχθη με ερώτηση ανοιχτού τύπου δίνουν μια τέτοιου τύπου απάντηση σε ποσοστό 8,7%.

Τα μικρά ποσοστά μαθητών που δίνουν εν μέρει αποδεκτές απαντήσεις στη δική μας έρευνα δεν είναι ευχάριστα, αφήνουν όμως ελπίδες ότι μπορούν να βελτιωθούν. Πρέπει όμως να υπογραμμίσουμε με ανησυχία τα μεγάλα ποσοστά μαθητών που δίνουν «προεπιστημονικές ερμηνείες» στην ερώτηση. Οι περιπτώσεις Β, Γ και Δ ανήκουν στην κατηγορία αυτών των τύπων απαντήσεων και αθροιστικά συγκεντρώνουν πολύ υψηλά ποσοστά (60%, 61,1%, 51,2%, για την α' γυμνασίου, β' γυμνασίου και α' λυκείου αντίστοιχα).

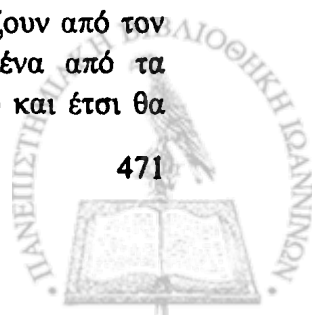
Το νοητικό μοντέλο που αντιπροσωπεύουν οι απαντήσεις της περίπτωσης Β αγνοεί τελείως την ύπαρξη υδρατμών στην ατμόσφαιρα και εννοεί τη δημιουργία τους ως αποτέλεσμα της διαφοράς / αλλαγής / αντίθεσης θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του τζαμιού ή της διαφοράς θερμοκρασίας που έχει το γυάλινο μπουκάλι μέσα και έξω από το ψυγείο. Η περίπτωση Γ κινείται στο ίδιο πλαίσιο, η δημιουργία υδρατμών είναι αποτέλεσμα της επαφής / ένωσης / κρύου – ζεστού.

Στην περίπτωση Δ το «θάμπωμα» στο τζάμι ή στο γυάλινο μπουκάλι αποδίδεται σε ένα είδος «αλληλεπίδρασης των γυάλινων πραγμάτων με το κρύο». Ας σημειωθεί ότι τα ποσοστά που δίνουν έναν τέτοιο τύπο απάντησης για τους μαθητές της α' γυμνασίου και α' λυκείου είναι σχεδόν τα ίδια, 20,0 % και 20,4 % αντίστοιχα, ενώ οι μαθητές της β' γυμνασίου δίνουν τέτοιου τύπου απάντηση σε μικρότερο ποσοστό (13,9 %). Στην περίπτωση αυτή προφανώς οι μαθητές προσπάθησαν να απαντήσουν αναδιαρθρώνοντας τη διατύπωση της ερώτησης. Εστιάζουν την προσοχή τους σε λέξεις της διατύπωσης που υποδηλώνουν «ψύχος», όπως χειμώνας, κρύο, ψυγείο, το οποίο θεωρούν ως αίτιο και τη «θαμπάδα» στα γυάλινα αντικείμενα ως αποτέλεσμα. Η απάντηση του τύπου αυτού μπορεί να θεωρηθεί ταυτολογική.

Τέλος στην περίπτωση Ε, οι υδρατμοί ή η υγρασία στα τζάμια ή στο εξωτερικό μέρος του ποτηριού δεν είναι αποτέλεσμα υγροποίησης, δεν σχηματίζονται. Από τις απαντήσεις των μαθητών φαίνεται ότι κατά κάποιο τρόπο οι υδρατμοί «κόλλησαν» στην γυάλινη επιφάνεια, αφού υπάρχουν στο ψυγείο ή στην ατμόσφαιρα το χειμώνα. Στο ίδιο μήκος κύματος βρίσκεται και η εξήγηση ότι αυτό που παρατηρούμε στα τζάμια είναι σταγονίδια βροχής που επικάθονται σ' αυτά.

Επανερχόμενοι στην ιδέα των μαθητών ότι η «συνάντηση» θερμού και ψυχρού δημιουργεί υδρατμούς θα θέλαμε να σημειώσουμε ότι, η ιδέα των αντιθέτων, όπως θερμό / ψυχρό ως γενεσιουργός αιτία της ύλης και των μετατροπών της, δεν πρέπει να μας προκαλεί έκπληξη, αφού για πάρα πολλούς αιώνες, από την περίοδο πριν την αρχαία Ελληνική επιστήμη και μέχρι τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, γινόταν παραδεκτή.

Στις αρχές του 7<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., στη θεογονική και κοσμογονική ποίηση στην Αρχαία Ελλάδα, όπως αυτή μας έχει διασωθεί μέσα από τη «Θεογονία» του Ησίοδου, συναντάμε τα ζεύγη των αντιθέτων αρχέγονων ουσιών / στοιχείων, το θερμό (μαζί με το φως) και το ψυχρό (μαζί με το σκοτάδι), το υγρό και το ξηρό, που ξεχωρίζουν από τον προϋπάρχοντα αδιαφοροποίητο και μη μορφοποιημένο κόσμο. Το καθένα από τα στοιχεία αυτά θα κυριαρχήσει σε μια από τις τέσσερις περιοχές του χώρου και έτσι θα



οριοθετηθεί από το θερμό ο ουρανός, από το ψυχρό ο αέρας, από το ξηρό η γη και από το υγρό η θάλασσα. Οι αρχέγονες κοσμικές ουσίες στη φάση αυτή έχουν θεϊκή υπόσταση (Vernant, 1989, σ. 157, Κακρυδής, 1986, σ. 78).

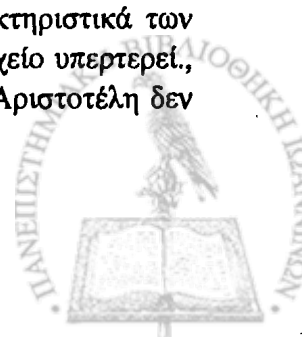
Με την εμφάνιση των Ιώνων Φιλοσόφων, οι αρχέγονες ουσίες απαλλάσσονται από τη θεϊκή τους υπόσταση, γίνονται ουσίες της φύσης, δυνάμεις από μόνες τους. Έχουμε το πέρασμα από το μύθο στο λόγο (σε ένα σύστημα λογικής εξήγησης). Ο Αναξίμανδρος (611-545 π.Χ., περίπου), υπήρξε ο πρώτος που πίστευε πως αρχή όλων των πραγμάτων ήταν το «άπειρον». Από αυτή την αδιαμόρφωτη και «αθάνατον» αρχέγονη μάζα με διαρκή συμπλοκή μεταξύ αντιθέτων ιδιοτήτων, τέσσερις από τις οποίες θεώρησε ως πρωταρχικές – το θερμό και το ψυχρό, το υγρό και το ξηρό σχηματίστηκε η Γη και τα άλλα ουράνια σώματα. (Guthrie, 1984, σ. 33-37, Κατσιμάνης & Ρούσσος, 1996, σ. 20).

Στη συνέχεια ο Αναξίμανδρος (ήκμασε το 546 π.Χ., περίπου), μαθητής του Αναξίμανδρου, θεώρησε ως πρωταρχική ύλη τον αέρα, λόγω της χαοτικής του φύσης και της κινητικότητάς του. Η δημιουργία του κόσμου και οι συνεχείς αλληλομετατροπές της ύλης, κατά το φιλόσοφο, προέρχονται από δύο αντιθετικές διαδικασίες που έχει η πρωταρχική ύλη, την «πύκνωση» και την «αραίωση». (Leicester, 1956, σ. 38-39, Snell, 1984, σ. 290-300).

Ο Ηράκλειτος (540-480 π.Χ.), συνεχίζοντας την πορεία της Ιωνικής σχολής, θεώρησε ως πρωταρχική ύλη όλων των πραγμάτων τη «φωτιά». Η φυσική του ήταν «φυσική αντιθέτων». Νύχτα – μέρα, κρύο - ζεστό, καλοκαίρι – χειμώνας, υγρό - ξηρό. Αυτά τα αντίθετα δημιουργούν το μακρόκοσμο και το ίδιο σύνολο αντιθέτων, η ίδια συνεχής αλλαγή, παρατηρούνται στο μικρόκοσμο, τον άνθρωπο. (Κατσιμάνης & Ρούσσος, 1996, σ. 22, Guthrie, 1984, σ. 49-52).

Στην Πυθαγόρεια Σχολή, της Μεγάλης Ελλάδας (Νότια Ιταλία, Σικελία), αποδίδεται η ιδέα ότι μια ανάμειξη (κράσις) αντιθέτων μπορεί να δημιουργήσει κάτι ενδιάμεσο. Η ιδέα αυτή εφαρμοζόμενη στη μουσική οδηγούσε στη μουσική αρμονία. Στη συνέχεια η σημασία της επεκτάθηκε για να καλύψει όλο το πεδίο της φύσης. Η ίδια ιδέα εφαρμοζόμενη στην ιατρική συνεπαγόταν ότι η υγεία έγκειται στην αποφυγή των άκρων, στην ισορροπία αντίθετων δυνάμεων (Burnet, 1914, p. 21). Η σωματική υγεία εξαρτιόνταν από τη σωστά κατανομημένη μείξη των αντιθέτων: του θερμού και του ψυχρού, του υγρού και του ξηρού, του γλυκού και του πικρού. Αν αυτά βρίσκονταν σε κατάσταση «αρμονίας» μέσα στο σώμα, τα αμοιβαίως εχθρικά στοιχεία του σώματος συμφιλιώνονται και μαθαίνουν να ζουν «φιλικά». (Leicester, 1956, σ. 54, Guthrie, 1984, σ. 46-48).

Ο Αριστοτέλης (382-322 π.Χ.) παρέλαβε από τους προγενέστερους στοχαστές το σύστημα των τεσσάρων στοιχείων, πυρ, ύδωρ, αήρ και γη για τα σώματα τα ευρισκόμενα στη γήινη σφαίρα και πρόσθεσε ένα πέμπτο, την πεμπτουσία για τις ανώτερες περιοχές της ατμόσφαιρας. Τα στοιχεία αυτά συνυπάρχουν σε κάθε γήινο σώμα, χωρίς να ταυτίζονται με κανένα απ'αυτά (Μπιτσάκης, 1980, σ. 27-29). Τα χαρακτηριστικά των στοιχείων αναδεικνύονται σε εκείνα τα σώματα, όπου το αντίστοιχο στοιχείο υπερτερεί, π.χ. στο σώμα πέτρα υπερτερεί η γη. Είναι φανερό ότι τα στοιχεία του Αριστοτέλη δεν





έχουν καμία σχέση με τα στοιχεία της σύγχρονης χημείας. Για να εξηγήσει την ύπαρξη και τις αλληλομετατροπές των στοιχείων, υπέθετε τη μεσολάβηση ενός συνόλου ποιοτήτων που μας φέρνουν πίσω στη φυσική των αντιθέτων του Ηράκλειτου. Οι στοιχειώδεις ποιότητες κατά τον Αριστοτέλη είναι τέσσερις: το θερμό και το ψυχρό, το ξηρό και το υγρό. Οι αντίθετες ποιότητες, δε ζευγαρώνουν, γιατί είναι αδύνατο το ίδιο πράγμα να είναι θερμό και ψυχρό ή υγρό και ξηρό. Έτσι οι συζεύξεις των στοιχειωδών ποσοτήτων / στοιχείων, είναι τέσσερις: θερμό με ξηρό και υγρό, ψυχρό με ξηρό και υγρό.

Οι Αριστοτελικές ποιότητες μπορούν να μεταβάλλονται σε οποιονδήποτε βαθμό, οπότε είναι δυνατό να μετασχηματίζεται ένα στοιχείο σε οποιοδήποτε άλλο. Οι ιδέες αυτές κυριάρχησαν για αιώνες και στο χώρο της Μεσαιωνικής αλχημείας εξηγούσαν τις χημικές μεταβολές, όπου οι αντιδρώσες ουσίες εξαφανίζονταν μαζί με τις ποιότητές τους και προέκυπταν νέες ουσίες με νέες ποιότητες. Στα μίγματα όλες οι ουσίες διατηρούσαν τις ποιότητές τους και έτσι δεν εμφανίζονταν καμιά νέα «μορφή» (Crombie, 1979, τόμ. Α', σ. 140-142).

Στις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα, η περιγραφή της κίνησης των σωμάτων από το Γαλιλαίο, η μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης από το Torricelli, καθώς και οι πρώτες προσπάθειες για τις διαβαθμίσεις του ζεστού και του κρύου (ο Γαλιλαίος επινόησε το θερμοσκόπιο) είχαν ως συνέπεια τη σύνδεση των θερμικών φαινομένων με μηχανικές μεταβολές. Η μελέτη των θερμικών φαινομένων άρχισε να προσεγγίζεται από τη σκοπιά ενός μηχανικού μοντέλου. Το μοντέλο αυτό θεωρούσε τη θερμότητα και το ψύχος ως «δυνάμεις», με την έννοια της άμεσης δράσης ενός αντικειμένου πάνω σε ένα άλλο, όταν αυτά έρχονταν σε επαφή (Wiser & Carey, 1983). Οι δυνάμεις αυτές ασκούσαν από θερμές ή ψυχρές πηγές και δρούσαν πάνω σε αποδέκτες, δηλαδή σε σώματα με τα οποία έρχονταν σε επαφή και τα οποία υφίσταντο τη δράση των δυνάμεων. Οι πηγές, μετά από τη δράση τους εξαντλούνταν, για λόγους που συνδέονταν με τα δικά τους κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

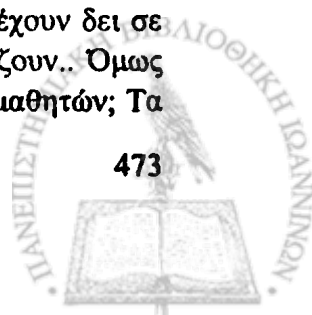
Επανερχόμενοι στις απαντήσεις των μαθητών της έρευνάς μας ο τύπος απάντησης Z, μπορεί να ερμηνευτεί στο πλαίσιο της Αριστοτέλειας Φυσικής. Οι μαθητές ισχυρίζονται ότι όταν ο αέρας ψυχθεί μετατρέπεται σε σταγονίδια. Στο στοιχείο αήρ, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη συνυπάρχουν οι ποιότητες θερμό και υγρό και στο στοιχείο ύδωρ οι ποιότητες υγρό και ψυχρό.

**Αήρ → θερμό + υγρό (1)**

**Ύδωρ → υγρό + ψυχρό (2)**

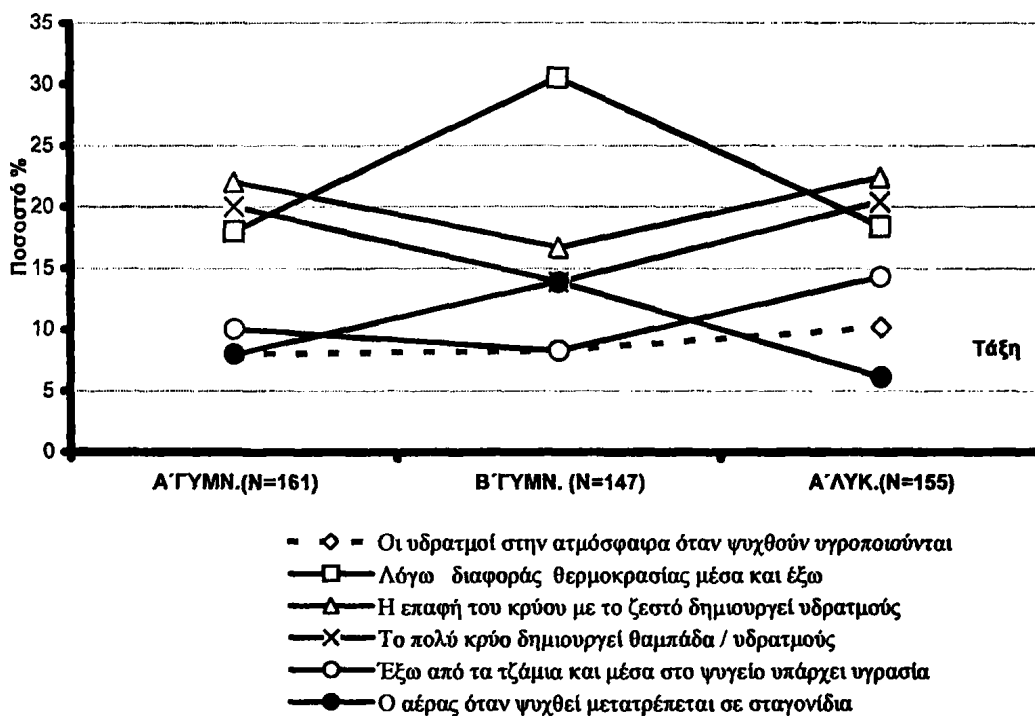
Τα δύο στοιχεία έχουν κοινή ποιότητα το υγρό. Αν το ψυχρό «καταστρέψει» το «θερμό» και πάρει τη θέση του στη σχέση (1) τότε προκύπτει η σχέση (2). Όμως οι ποιότητες του ψυχρού και υγρού χαρακτηρίζουν το στοιχείο ύδωρ. Επομένως έχουμε αήρ → ύδωρ (3), το στοιχείο αήρ μετατράπηκε σε ύδωρ ή σε σώμα που υπερτερεί το ύδωρ (Leicester, 1956, σ. 52).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να πούμε με ότι οι μαθητές δεν γνωρίζουν τα αριστοτελικά σχήματα αλληλομετατροπών, αλλά και αν ακόμη κάποιος τα έχουν δει σε κάποιο βιβλίο είναι μάλλον απίθανο να μπορούν συνειδητά να τα εφαρμόζουν. Όμως πώς ένα τέτοιο σχήμα μετατροπής εμπεριέχεται στη συλλογιστική κάποιων μαθητών; Τα



παραπάνω υποστηρίζουν την άποψη ότι οι πρώτες θεωρίες για το φυσικό κόσμο επικοδομούνται με βάση τη φαινομενολογική εμπειρία του ατόμου και επιπλέον υπάρχουν ομοιότητες στην εννοιολογική αλλαγή που συμβαίνει στη σκέψη των παιδιών κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης τους και στην ιστορική εξέλιξη των ιδεών της επιστήμης.

**Διάγραμμα 5.** Ποσοστό % των απαντήσεων ανά τάξη στην ερώτηση: Γιατί το χειμώνα τα τζάμια θαμπώνουν και σχηματίζονται σ'αυτά σταγονίδια νερού; Το ίδιο συμβαίνει και στο εξωτερικό μέρος ενός μπουκαλιού που βγάζει από το ψυγείο



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Από την προηγηθείσα παρουσίαση των ιδεών των μαθητών επιβεβαιώνεται ότι η μάθηση της επιστήμης είναι μια σύνθετη διαδικασία που περιλαμβάνει αλληλεπίδραση προσωπικών εμπειριών, γλώσσας και κοινωνικοποίησης. Η εννοιολογική αλλαγή είναι μια μακροχρόνια διαδικασία μετασχηματισμού ενός συνόλου σημασιών με ένα άλλο, που συχνά διαλαμβάνει εννοιολογική προσθήκη (προσαρμογή) – αφομοίωση (assimilation) – συμμόρφωση (accommodation) και εξισορρόπηση (equilibration) κατά την οποία γίνεται γνωστική αναδόμηση, χωρίς όμως απαραίτητα να σβήνονται οι προϋπάρχουσες έννοιες (Vosniadou & Brewer, 1992).

Οι μαθητές που διανύουν τη βαθμίδα της εννιάχρονης υποχρεωτικής εκπαίδευσης κατέχουν μια ποικιλία απόψεων και εννοιών σε σχέση με θεμελιώδεις έννοιες της αέριας



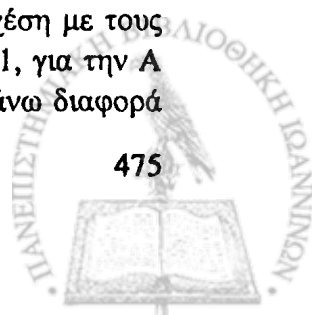
κατάστασης. Τα ποσοστά δε των μαθητών, που έχουν κατακτήσει σε ένα βαθμό μια δομημένη κατανόηση, σε σχέση με τις παραπάνω έννοιες είναι μικρό. Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι μαθητές κατέχουν ένα αριθμό πληροφοριών και εννοιών οι οποίες δεν είναι οργανωμένες με τρόπο που να τους επιτρέπουν να τις χρησιμοποιούν για να εξηγήσουν σχετικά φαινόμενα σε πραγματικές καταστάσεις.

Οι προϋπάρχουσες εναλλακτικές ιδέες που αναδύονται από τη μελέτη των απαντήσεων των μαθητών, στη διδακτική πράξη, θα πρέπει να εκληφθούν ως το «ακατέργαστο υλικό» για κριτική έρευνα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα κατανόησης, για το πώς οι μαθητές αντιλαμβάνονται θεμελιώδεις έννοιες σε σχέση με την αέρια κατάσταση, ποια είναι τα εννοιολογικά εμπόδια που ορθώνονται ανάμεσα στις υπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και σ'αυτές που η σύγχρονη επιστημονική κοινότητα αποδέχεται ως ορθές. Οι διδάσκοντες από την άλλη πλευρά, παρά την πρόθεση να βοηθήσουν τους μαθητές τους να φτάσουν στις επιθυμητές έννοιες, είναι απαραίτητο να είναι ενήμεροι των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών τους και να τις αντιμετωπίζουν με θετικό τρόπο. Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών είναι ένα χαλαρό πρωτογενές εννοιολογικό πλέγμα, πάνω στο οποίο με συνεχή αναδόμηση θα σχηματιστούν οι συνεκτικές επιστημονικές εννοιολογικές δομές.

Σε κάθε ερώτηση που εξετάσαμε, εκτός από τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων, σημειώσαμε και τα ποσοστά των μαθητών που προσπάθησαν να δώσουν απαντήσεις στις τεθείσες ερωτήσεις. Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν απαντήσεις ανεξάρτητα αν αυτές είναι αποδεκτές ή εν μέρει αποδεκτές ακόμη και λανθασμένες, μπορούμε να πούμε ότι δηλώνει ένα βαθμό σχέσης των μαθητών με πληροφορίες, έννοιες και τρόπους δόμησης των εννοιών που συνδέονται με τις ερωτήσεις. Σε αντίθεση οι μαθητές που δεν απαντούν θα μπορούσαμε να δεχτούμε ότι το «γνωστικό τους υπόβαθρο» βρίσκεται κάτω από ένα ελάχιστο κατώφλιον;

Αν και οι λόγοι που ένας μαθητής δεν απαντά καθόλου σε μια ερώτηση που του τίθεται σε ένα γραπτό διαγνωστικό τεστ δεν είναι σαφείς, θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι δύο κατηγοριών, ψυχολογικοί και γνωστικοί, που στις περισσότερες των περιπτώσεων αλληλοτροφοδοτούνται. Από τη μια ο χρονικός περιορισμός που τίθεται, για να απαντήσουν στο τεστ οι μαθητές, τους υποχρεώνει να διαχειριστούν τον διατιθέμενο χρόνο με τον πιο αποδοτικό τρόπο, μια ικανότητα που δεν είναι δεδομένη και απαιτεί αρκετή εμπειρία για να αποκτηθεί. Από την άλλη κάποιοι μαθητές που δεν είναι σίγουροι για την ορθότητα της απάντησης τους, αποφεύγουν να γράψουν τι ακριβώς σκέπτονται, φοβούμενοι ότι θα «αποκαλύψουν» στο δάσκαλο τους τι δεν γνωρίζουν. Στο δοθέν τεστ ζητήθηκε από τους μαθητές να απαντήσουν σε όλες τις ερωτήσεις και επιπλέον τους δηλώσαμε ότι η επίδοσή τους στο τεστ δεν θα ληφθεί υπόψη από τους καθηγητές που τους δίδασκαν χημεία και φυσική.

Από τη σύγκριση της διαφοράς δύο ποσοστών σε δύο ανεξάρτητα δείγματα, με εφαρμογή του κριτηρίου Z προκύπτει ότι το ποσοστό των μαθητών της Α' λυκείου που απαντούν στις ερωτήσεις της Α' και Β' ομάδας παρουσιάζει διαφορά σε σχέση με τους μαθητές της α' γυμνασίου που είναι στατιστικά σημαντική ( $Z=2,891$ ,  $p<0,01$ , για την Α ομάδα ερωτήσεων,  $Z=1,600$ ,  $p<0,1$ , για τη Β ομάδα ερωτήσεων). Η παραπάνω διαφορά



θα μπορούσε κατ'αρχήν να αποδοθεί στη νοητική ανάπτυξη και στα χρόνια διδασκαλίας. Εξετάζοντας όμως τις διαφορές των ποσοστών των μαθητών της Α' λυκείου που απαντούν στις ερωτήσεις σε σχέση με τους μαθητές της β' γυμνασίου προκύπτει ότι αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Επίσης οι διαφορές των ποσοστών των μαθητών της β' και α' γυμνασίου που απάντησαν είναι στατιστικά σημαντικές μόνο στις περιπτώσεις των ερωτήσεων της ομάδας Β.

Στην ομάδα Α των ερωτήσεων απάντησε το 36,3% των μαθητών του δείγματος και εξ'αυτών το 18,9% έδωσε αποδεκτές απαντήσεις. Από τις τρεις ερωτήσεις της ομάδας Α βρέθηκε να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των ποσοστών των μαθητών που απαντούν από τάξη σε τάξη μόνο στην πρώτη ερώτηση, 1Α. Κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα ( $Z=5,78$ ,  $p<0,01$  μεταξύ α' γυμνασίου και Α' λυκείου,  $Z=4,89$ ,  $p<0,01$  μεταξύ β' γυμνασίου και Α' λυκείου και  $Z=2,29$ ,  $p<0,05$  μεταξύ της α' και β' γυμνασίου). Τα ποσοστά δε των μαθητών που δίνουν απαντήσεις σε σχέση με τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα σε μικρή αναλογία καθώς και για την αναλογία των κύριων συστατικών δε διαφέρουν στατιστικά από τάξη σε τάξη.

Τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων από τάξη σε τάξη και στις τρεις ερωτήσεις της ομάδας Α (πίνακας 6) δεν διαφέρουν στατιστικά εξεταζόμενα με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Η γνώση για τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα δεν παρουσιάζει βελτίωση από την α' γυμνασίου στην Α' λυκείου. Μόνο δύο στους δέκα απόφοιτους υποχρεωτικής εκπαίδευσης γνωρίζουν τα βασικότερα χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.** Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που έδωσαν αποδεκτές απαντήσεις στη ομάδα Α των ερωτήσεων. Αναφέρονται επιπλέον οι πιο «δημοφιλείς» λανθασμένες (Δ. Λ.) απαντήσεις.

Ερώτηση	Α' Γυμν.	Β' Γυμν.	Α' Λυκ.
ΟΜΑΔΑ Α – Σύσταση ατμοσφαιρικού αέρα			
1Α. Κύρια συστ. ατμοσφ. αέρα			
Αποδεκτή	32,3	31,6	35,5
(Δ. Λ.) Οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα / διοξείδιο	34,3	41,0	37,7
1Β. Συστ. ατμοσφ. αέρα σε μικρή αναλογία			
Αποδεκτή (αναφέρουν ένα τουλάχιστον συστατικό, αναφέρεται σε μεγαλύτερο ποσοστό το διοξείδιο του άνθρακα)	16,2	24,8	17,8
(Δ. Λ.) Άζωτο	19,1	32,9	17,9
1Γ. Αναλογία κύριων συστατικών (αποδεκτή)	3,0	3,4	5,5
Συνολικό ποσοστό αποδεκτών απαντήσεων	17,2	19,9	19,6

Στην ερώτηση 2 της ομάδας Β (πίνακας 2Α & 7) έδωσαν απαντήσεις το 55,9% του δείγματος των μαθητών και εξ'αυτών αποδεκτές ήταν το 17,7%. Τα ποσοστά των



μαθητών που απάντησαν καθώς και τα ποσοστά των μαθητών που δίνουν αποδεκτή απάντηση επίσης δεν διαφέρουν στατιστικά από τάξη σε τάξη. Η κατανόηση ότι ο αέρας ως υλικό σώμα έχει βάρος δεν διαφοροποιείται σημαντικά σ' αυτή την ηλικιακή περιοχή. Η άποψη ότι ο αέρας κάνει τα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ελαφρότερα και ότι ο αέρας δεν ζυγίζεται φαίνεται να κατέχεται από σημαντικό ποσοστό μαθητών (πίνακας 7).

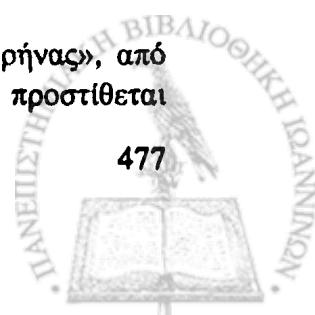
Στην ερώτηση 3, έδωσαν απαντήσεις το 37,4% των μαθητών του δείγματος και εξ'αυτών το 73,5% πρότεινε αποδεκτά πειράματα. Το ποσοστό των μαθητών της β' γυμνασίου που δίνουν απαντήσεις υπερέχει των μαθητών της α' γυμνασίου και Α' λυκείου ( $Z=1,930$ ,  $p<0,05$  μεταξύ α' και β' γυμνασίου και  $Z=1,412$ ,  $p<0,05$  μεταξύ β' γυμνασίου και Α' λυκείου). Σε σχέση με τα αποδεκτά προτεινόμενα πειράματα το ποσοστό των μαθητών της Α' λυκείου διαφέρει στατιστικά μόνο έναντι των μαθητών της β' γυμνασίου ( $Z=1,349$ ,  $p<0,1$ ) ενώ τα ποσοστά μεταξύ α' και β' γυμνασίου δεν διαφέρουν στατιστικά. Στις απαντήσεις της ερώτησης αυτής προκαλεί εντύπωση η ποικιλία των περιπτώσεων που αναφέρουν οι μαθητές.

Στην ερώτηση 4 έδωσαν απαντήσεις το 37,7% του δείγματος και εξ'αυτών το 44,1% ήταν αποδεκτές. Το ποσοστό των μαθητών της Α' λυκείου που απαντούν διαφέρει στατιστικά έναντι των μαθητών της α' και β' γυμνασίου ( $Z=2,725$ ,  $p<0,1$ , μεταξύ Α' λυκείου και β' γυμνασίου και  $Z=3,672$ ,  $p<0,01$ , μεταξύ Α' λυκείου και α' γυμνασίου). Όμως τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων από τους μαθητές των τριών τάξεων δεν διαφέρουν στατιστικά. Η σύνδεση στη σκέψη των μαθητών του σχηματισμού υδρατμών με το βρασμό και με την υψηλή θερμοκρασία ανταγωνίζεται σε ποσοστά την ύπαρξη υδρατμών σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Στην τελευταία ερώτηση της ομάδας Β, ερώτηση 5, έδωσαν απαντήσεις το 36,9% του δείγματος και εξ'αυτών το 14,6% ήταν αποδεκτές. Οι μαθητές της β' γυμνασίου απαντούν σε μεγαλύτερο ποσοστό, το οποίο διαφέρει στατιστικά έναντι των μαθητών των άλλων δύο τάξεων ( $Z=1,973$ ,  $p<0,05$  μεταξύ α' και β' γυμνασίου και  $Z=1,893$ ,  $p<0,05$  μεταξύ των μαθητών β' γυμνασίου και Α' λυκείου). Τα χαμηλά ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων που δίνονται από τους μαθητές των τριών τάξεων δε διαφέρουν στατιστικά. Αξιοσημείωτα είναι τα πολύ υψηλά ποσοστά μαθητών που έχουν την άποψη ότι «η επαφή / ένωση του κρύου με το ζεστό δημιουργεί υδρατμούς» και ότι «η αλλαγή / διαφορά θερμοκρασίας δημιουργεί υδρατμούς».

Γενικά στην ομάδα Β των ερωτήσεων απάντησε το 41,8% των μαθητών του δείγματος και εξ'αυτών το 33,7% έδωσε αποδεκτές απαντήσεις. Αν και παρατηρείται μια αύξηση των μαθητών που δίνουν απαντήσεις σε σχέση με την ηλικία, τα ποσοστά των μαθητών που δίνουν αποδεκτές ερωτήσεις δεν διαφέρουν στατιστικά. Τα στοιχεία που προκύπτουν από την σύγκριση των ποσοστών των μαθητών που απαντούν καθώς και από την σύγκριση των αποδεκτών απαντήσεων δείχνουν ότι η κατανόηση των μαθητών πάνω σε θέματα που αφορούν βασικές φυσικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα δεν έχει μια μορφή γραμμικής εξάρτησης με την ηλικία και την διδασκαλία.

Μπορούμε να ισχυριστούμε ότι ένα μικρό ποσοστό μαθητών, «πυρήνας», από πολύ νωρίς κατανοεί τις έννοιες και στη συνέχεια με το χρόνο διδασκαλίας προστίθεται



«περιφερειακά» ένα άλλο μικρότερο ποσοστό. Φαίνεται ότι η εννοιολογική εξέλιξη, στην περιοχή των ηλικιών που μελετάμε, ακολουθεί ένα σύνθετο δρόμο. Πρέπει να είναι εξαρτώμενη από πολλούς παράγοντες και δεν πρέπει να έχει εξάρτηση μόνο από τη νοητική ανάπτυξη και το χρόνο διδασκαλίας. Η διερεύνηση επιπλέον παραμέτρων, πέρα από την καταγραφή των ιδεών των μαθητών και υπολογισμοί ποσοστών, η συσχέτιση των μαθητών που δίνουν αποδεκτές απαντήσεις με ψυχομετρικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά τους, όπως η εξάρτηση / ανεξαρτησία από το πεδίο, το οικονομικό-πολιτιστικό επίπεδο των οικογενειών τους, μπορούν να φωτίσουν πλευρές που σχετίζονται με τη μάθηση των επιστημονικών εννοιών και με διδακτικές μεθοδολογίες που να είναι πιο πρόσφορες για μαθητές που δεν μετακινούνται εύκολα από τις αρχικές προϋπάρχουσες ιδέες τους.

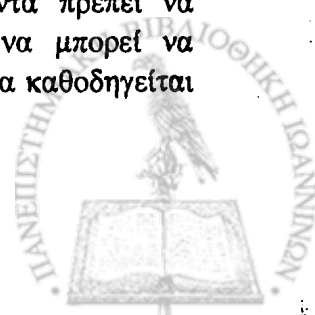
Υπάρχει εδραιωμένη η άποψη ότι μερικές από τις λανθασμένες ιδέες των μαθητών απορρέουν από λανθασμένες παιδαγωγικές πρακτικές και με προσεχτική επικοινωνητική καθοδήγηση οι επιπτώσεις τους μπορούν να περιοριστούν. Μια συναίσθηση αυτών των ιδεών θα μπορούσε να πληροφορήσει τους διδάσκοντες στις διαδικασίες επιλογής και διάταξης των αναλυτικών προγραμμάτων και να τους καθοδηγήσει στο πώς οι μαθητές τους θα αναδομήσουν τις προϋπάρχουσες έννοιες τους.

Επιπλέον το υλικό των αναλυτικών προγραμμάτων θα πρέπει να αφιερώνει περισσότερο χώρο και χρόνο στις στοιχειώδεις και πολλές φορές «αυτονόητες» έννοιες που σχετίζονται με την αέρια κατάσταση. Η διδακτική στρατηγική θα πρέπει να προκαλεί ανοιχτές συζητήσεις, που είναι συναφείς με τις εναλλακτικές ιδέες που εγείρονται στην αίθουσα διδασκαλίας. Απλά πειράματα με υλικά καθημερινής χρήσης που θέτουν σε αμφισβήτηση τις λανθασμένες ιδέες των παιδιών για τις φυσικές ιδιότητες του αέρα θα λειτουργούσαν ως βάση για στοχασμό και ως κίνητρο για μάθηση.

Η εμφανιζόμενη παραλληλία των ιδεών των μαθητών με εκείνες των επιστημόνων σε παλαιότερες εποχές θα μπορούσε να είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης για μια επικοινωνητική διδασκαλία των παραπάνω εννοιών. Το γεγονός ότι οι ομοιότητες υπάρχουν γενικά, παρά τις διαφορές που αναφέρθηκαν, κάνουν την ιστορία της επιστήμης αρκετά χρήσιμη για να βοηθήσει να διδαχθούν οι επιστημονικές έννοιες. Η γνώση σχετικά με την εννοιολογική αλλαγή στην ιστορία μπορεί να γίνει μια πηγή στρατηγικών για να μετατοπιστούν έννοιες των σπουδαστών προς εκείνες που είναι πλησίον της σύγχρονης επιστήμης. Ο Gauld (1988) προτείνει ότι για την επιτυχή χρήση της ιστορίας στην αναδόμηση των εννοιών των σπουδαστών θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Το πρώτο βήμα σε οποιαδήποτε τέτοια διαδικασία πρέπει να ξεκινάει από τις προϋπάρχουσες ιδέες των σπουδαστών, οι οποίες μέχρι αυτό το σημείο είναι πιθανόν υποσυνείδητες. Οι μαθητές μπορεί ποτέ μέχρι τότε να μην έχουν ανακοινώσει τις σχετικές τους ιδέες. Στην αίθουσα διδασκαλίας, αυτό θα είναι αποτέλεσμα ερωτήσεων του διδάσκοντα ή συζήτησης με τους άλλους μαθητές.

- Στο δεύτερο βήμα η ιστορική πληροφορία από το διδάσκοντα πρέπει να προσαρμοστεί, έτσι ώστε αυτή να είναι σε κατάλληλο τύπο για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τάξη. Ο τύπος αυτής της προσαρμογής θα πρέπει να καθοδηγείται



από τις πεποιθήσεις, οι οποίες εκτέθηκαν και από τα γλωσσικά σχήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική συζήτηση με τους σπουδαστές ώστε η ιστορική πληροφορία να μπορεί να συνδεθεί με αυτές τις πεποιθήσεις. Η προσαρμοσμένη ιστορική πληροφορία παράγει ένα διδακτικό υλικό και αναπτύσσει διδακτικές στρατηγικές.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.** Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που έδωσαν αποδεκτές απαντήσεις στην ομάδα Β των ερωτήσεων- βασικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα. Αναφέρονται επιπλέον οι πιο «δημοφιλείς» λανθασμένες (Δ Λ.) αιτιολογήσεις.

Ερώτηση	Α΄ Γυμν.	Β΄ Γυμν.	Α΄ Λυκ.
<b>ΟΜΑΔΑ Β - Βασικές ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα</b>			
2. Βαρύτερο είναι ένα φουσκωμένο ή ένα ίδιο ξεφουσκωτο μπαλόνι			
<b>Αποδεκτή</b>	<b>14,3</b>	<b>17,6</b>	<b>24,5</b>
(Δ. Λ.) Ο αέρας κάνει τα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ελαφρότερα			
Ο αέρας δεν έχει βάρος, δεν ζυγίζεται	26,4	22,0	16,3
3. Πειράματα διαπίστωσης ύπαρξης αέρα σε σπογγώδη σώματα			
<b>Αποδεκτή</b>	<b>71,1</b>	<b>70,4</b>	<b>84,3</b>
4. Ύπαρξη υδρατμών στις συνθήκες συνθήκες περιβάλλοντος			
<b>Αποδεκτή</b>	<b>42,6</b>	<b>36,9</b>	<b>53,4</b>
(Δ. Λ.) Το νερό μετατρέπεται σε υδρατμό μόνο σε υψηλή θερμοκρασία / με βρασμό.	42,5	52,3	37,9
5. Συμπύκνωση υδρατμών της ατμόσφ. με ψύξη			
<b>Αποδεκτή</b>	<b>8,0</b>	<b>8,3</b>	<b>10,2</b>
(Δ. Λ.) Η επαφή / ένωση του κρύου με το ζεστό δημιουργεί υδρατμούς.			
Η αλλαγή / διαφορά θερμοκρασίας δημιουργεί υδρατμούς	22,0	30,5	22,4
<b>Συνολικό ποσοστό αποδεκτών απαντήσεων</b>	<b>30,8</b>	<b>32,1</b>	<b>39,8</b>

Αν δούμε την αριστοτελική θεωρία ως μια λανθασμένη θεωρία και την προσπεράσουμε, τότε έχουμε αγνοήσει ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης σκέψης. Είναι σημαντικό στη μαθησιακή διαδικασία να υπογραμμιστεί ότι οι επιστημονικές θεωρίες είναι ιστορικές οντότητες με γέννηση, ακμή και τέλος και με συμμετοχή όχι μόνον στην αλήθεια αλλά και στο λάθος. Επιπλέον μέσω της ιστορίας της επιστήμης μπορεί ναδειχθεί ότι οι θεωρίες και οι νόμοι που διδάσκονται οι μαθητές δεν αποτελούν μια αυτονόητη αναπαράσταση της πραγματικότητας, που οφείλουν οι σπουδαστές να την κατανοήσουν, αλλά είναι το αποτέλεσμα μιας δύσκολης διαδρομής της ανθρώπινης σκέψης να υπερβεί την απλή παρατήρηση και εμπειρία και να μαθηματοκοποιήσει τα φαινόμενα.



Τα δικά μας σχολικά εγχειρίδια, με εξαίρεση το βιβλίο των Δαπόντες Ν., Κασέτας Α., Μουρίκης Σ. & Σκιαθίτης Μ., 1996, «Φυσική Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου», που πλέον δεν διδάσκεται, εξακολουθούν να παρουσιάζουν την ισχύουσα θεωρία αποκομμένη από το παρελθόν της, από τον τρόπο σύλληψής της και τις ιστορικές και κοινωνικές συνθήκες μέσα στις οποίες αναπτύχθηκε. Η ανάδειξη και η προβολή μόνον των σωστών θεωριών οικοδομούν μια απατηλή εικόνα για την επιστήμη, αυτή της συνεχούς και χωρίς διακοπές εξέλιξης και προόδου της.

Άλλωστε η εξέλιξη της επιστήμης μπορεί να εκληφθεί σαν μια ατελής διαλεκτική διαδικασία (θέση – αντίθεση – σύνθεση), έννοιες του σήμερα μπορεί να είναι εναλλακτικές ιδέες του αύριο. Θα πρέπει να κατανοούμε τη λειτουργία των εναλλακτικών ιδεών στην νοητική ανάπτυξη των μαθητών με ένα παρόμοιο τρόπο.

Η Ν. Nersessian (1989) υποστηρίζει ότι οι γνωστικές δραστηριότητες των επιστημόνων, που κατασκεύασαν νέες εννοιολογικές δομές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μηχανισμό μάθησης, και ότι η κατανόηση αυτών των διαδικασιών θα ενισχύσει τις προσπάθειές μας να βοηθήσουμε τους μαθητές να ανακατασκευάσουν τις δομές της υπάρχουσας γνώσης τους. Σ' όλη την ιστορία των επιστημών, «τεχνικές αφαίρεσης» όπως η αναλογία, η παραστατικότητα, νοητικά πειράματα, ανάλυση συγκεκριμένων περιπτώσεων και συμπεράσματα στη βάση απεικονιστικών αναπαραστάσεων, έχουν παίξει πολύ κεντρικό ρόλο στη δόμηση των καινούριων παραστάσεων, όσο και στη μετάδοση αυτών σε άλλα μέλη της επιστημονικής κοινότητας. Προτείνω, λοιπόν, «να εξορύξουμε τα ιστορικά δεδομένα–δημοσιεύσεις, ημερολόγια, σημειωματάρια και αλληλογραφία – με στόχο να ανακαλύψουμε τις εποικοδομητικές πρακτικές των δημιουργικών επιστημόνων και μετά να ενσωματώσουμε ό,τι μάθαμε για το πώς οι επιστήμονες κατασκεύασαν τις εννοιολογικές αλλαγές στις διδακτικές διαδικασίες» (Nersessian, 1994, σ. 125 – 126).

Η δική μας παρέμβαση στηρίζεται στην πεποίθηση ότι ο δάσκαλος έχει ένα σπουδαίο ρόλο να παίξει με το να διαμεσολαβήσει, ώστε οι σπουδαστές να εδραιώσουν συνδέσεις μεταξύ των υπάρχουσών εννοιών και εκείνων που σχετίζονται με επιστημονικά αποδεκτές έννοιες. Αρκετές έρευνες έχουν προτείνει διδακτικές στρατηγικές που στηρίζονται σε εποικοδομητικές αρχές (Driver & Oldham, 1986, Hewson & Hewson, 1988, Nussbaum & Novick, 1982, Osborne & Freyberg, 1985). Κοινά στοιχεία σ' αυτές τις στρατηγικές που προτείνουν είναι: η παροχή ευκαιριών στους σπουδαστές για να κάνουν τις έννοιες σαφείς, ενθαρρύνοντας την αναδόμηση των εννοιών των σπουδαστών μέσω ενός φάσματος στρατηγικών, όπως συζήτηση, ανταλλαγή ιδεών, επίδειξη και εκτέλεση πειραμάτων και γενικά εμπειρίες που να δημιουργούν γνωστική σύγκρουση (cognitive conflict). Ο Millar (1989) ισχυρίζεται ότι οποιαδήποτε διδακτική στρατηγική και αν ακολουθήσουμε αναγκαίο για να συμβεί αναδόμηση των εννοιών είναι η αύξηση της ενεργητικής συμμετοχής των σπουδαστών. Οι έμπειροι δάσκαλοι, ανεξάρτητα από τυχόν επιστημολογικούς προσανατολισμούς, είναι διαισθητικά γνώστες του γεγονότος ότι το να μιλάς δεν είναι αρκετό, γιατί η κατανόηση δεν είναι απλώς θέμα παθητικής λήψης, αλλά ενεργητικής οικοδόμησης.





Επιπλέον οι μαθητές θα πρέπει να ενθαρρύνονται να εφαρμόζουν τις νέες έννοιες σε διαφορετικά πλαίσια για να δοκιμάσουν την αποδοτικότητά τους. Επίσης είναι πολύ σημαντικό οι σπουδαστές να στοχάζονται πάνω στη δική τους κατανόηση (μεταγνώση) και να αναλαμβάνουν υπευθυνότητα για τη δική τους μάθηση.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΟΙ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΤΕΘΗΚΑΝ ΣΤΟΥΣ ΜΑΘΗΤΕΣ

#### ΟΜΑΔΑ Α

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 1 (ανάκλησης γνώσης)

Να γράψεις τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται κυρίως από.....και....., που βρίσκονται σε αναλογία.....προς.....περίπου. Περιέχει ακόμη σε μικρές αναλογίες και άλλα αέρια, π.χ.....

#### ΟΜΑΔΑ Β

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 2 (κατανόησης)

Έχω δύο εντελώς ίδια μπαλόνια, το ένα φουσκωμένο, το άλλο ξεφούσκωτο. Τα συγκρίνω ως προς το βάρος, έχοντας αφαιρέσει από το βάρος του φουσκωμένου μπαλονιού το βάρος της κλωστής με την οποία το έχω δέσει.

Τι από τα παρακάτω συμβαίνει(σημείωσε ένα σταυρό δίπλα στη σωστή απάντηση)

- α) Βαρύτερο είναι το φουσκωμένο μπαλόνι
- β) Βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο μπαλόνι
- γ) Και τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος

Να δώσεις μια εξήγηση

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 3 (εφαρμογής)

Με ποιο πείραμα μπορείς να βεβαιωθείς αν υπάρχει μέσα σε ένα σφουγγάρι ή μια φρυγανιά αέρας.

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 4 (κατανόησης)

Υπάρχει νερό σε αέρια κατάσταση (υδρατμός ) στις συνήθεις συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία 25 °C, πίεση 1 ατμόσφαιρα ); Αν υπάρχει, να αναφέρεις ένα παράδειγμα που να το δείχνει (να το επιβεβαιώνει ). Αν δεν υπάρχει να δικαιολογήσεις, αν μπορείς, γιατί.

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 5 (εφαρμογής)

Θα έχεις παρατηρήσει ότι πολλές φορές το χειμώνα τα κρύα τζάμια θαμπώνουν και σχηματίζονται σ' αυτά σταγονίδια νερού. Το ίδιο συμβαίνει και στο εξωτερικό ενός μπουκαλιού που βγάζεις από το ψυγείο. Πως εξηγείς το φαινόμενο;

#### ΟΜΑΔΑ Γ

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 6 (κατανόησης)

Όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα, η ατμοσφαιρική πίεση τι κάνει, αυξάνεται, ελαττώνεται ή μένει η ίδια και γιατί;

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 7 (εφαρμογής)

Γιατί η ατμοσφαιρική πίεση δεν τσαλακάνει ένα φουσκωμένο μπαλόνι;

##### ΕΡΩΤΗΣΗ 8 (εφαρμογής)

Γιατί παρά την ατμοσφαιρική πίεση μπορούμε να κρατήσουμε οριζόντιο ακόμη και ένα φύλλο χαρτιού;



**ΠΙΝΑΚΑΣ 2B. Αναλυτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη, και ανά ποσοστό % στην ερώτηση 2.**

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	A' Γυμν. N=161	B' Γυμν. N=162	A' Λύκ. N=90
ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ			
	Ποσοστό %		
Απαντούν	56,5	56,2	54,4
<b>Βαρύτερο είναι το φουσκωμένο μπαλόνι</b>			
<b>A1. Ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας έχει βάρος</b>	14,3	17,6	24,5
1. Ο αέρας έχει επίσης βάρος / ζυγίζεται / και το βάρος του κάνει το φουσκωμένο μπαλόνι βαρύτερο.			
2. Στο βάρος του μπαλονιού προστίθεται και το βάρος του αέρα.			
3. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι περικλείεται και το βάρος του αέρα μέσα του.			
<b>A2. Ιδιότητες του αέρα που περιέχεται στο μπαλόνι το κάνουν βαρύτερο</b>	7,7	6,6	10,2
1. Γιατί ο αέρας στο φουσκωμένο μπαλόνι / έχει όγκο / είναι συμπιεσμένος / έχει διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο.			
2. Γιατί και ο αέρας έχει μάζα.			
3. Επειδή στο φουσκωμένο μπαλόνι έχουμε προσθέσει αέρα / έχει περισσότερο αέρα.			
<b>Βαρύτερο είναι το ξεφούσκωτο μπαλόνι</b>			
<b>B1. Ο αέρας κάνει τα σώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή ελαφρότερα</b>	26,4	22,0	8,2
1. Γιατί το φουσκωμένο μπαλόνι έχει μέσα αέρα / που το κάνει ελαφρύτερο / και ελαττώνεται το βάρος του.			
2. Είναι βαρύτερο το ξεφούσκωτο μπαλόνι γιατί μέσα του δεν περιέχει αέρα.			
3. Γιατί ο αέρας είναι ελαφρύς έτσι αν φουσκώσουμε το μπαλόνι τότε θα είναι ελαφρύ.			
<b>B2. Το φουσκωμένο μπαλόνι έχει διαφορετική συμπεριφορά μέσα στον αέρα</b>	7,7	9,9	6,1
1. Γιατί το φουσκωμένο μπαλόνι / το παρασέρνει ο αέρας / το σηκώνει ο αέρας / φεύγει στον ουρανό / ανεβαίνει προς τα πάνω ενώ το ξεφούσκωτο πέφτει στη γη.			
2. Γιατί το φουσκωμένο μπαλόνι / δέχεται τη δύναμη του αέρα / την άνοση του αέρα / την αντίσταση του αέρα / και το κάνει ελαφρότερο.			
<b>B3. Το ξεφούσκωτο μπαλόνι έχει διαφορετικές ιδιότητες από το φουσκωμένο</b>	3,3	7,7	12,2
1. Γιατί το ξεφούσκωτο / έλκεται περισσότερο / έχει μικρότερη επιφάνεια / συστέλλεται και η μάζα του μαζεύεται / έχει περισσότερη μάζα.			
2. Αν τα αφήσουμε από ύψος το ξεφούσκωτο θα πέσει πιο γρήγορα, όπως και το χαρτί όταν είναι τσαλακωμένο είναι πιο βαρύ.			



<b>B4. Ο περιεχόμενος αέρας επηρεάζει το φουσκωμένο μπαλόνι</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>2,0</b>
1. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι ο αέρας / είναι συμπιεσμένος / είναι ζεστός και είναι ελαφρύτερος από το μπαλόνι .			
2. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι ο αέρας είναι πιο ελαφρύς από το πλαστικό μπαλόνι / τεντώνει το πλαστικό και είναι πιο ελαφρύ.			
3. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι ο αέρας / κάνει τη μάζα του μπαλονιού να μην είναι ενιαία / μεγαλώνει τη μάζα του και μικραίνει το βάρος του.			
<b>B5. Ο αέρας δεν έχει βάρος</b>	<b>7,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
1. Το μπαλόνι όταν φουσκώνεται είναι πιο ελαφρύ γιατί ο αέρας δεν έχει βάρος.			
2. Δεν μπορούμε να ζυγίσουμε τον αέρα / ο αέρας δεν έχει γραμμάρια βάρους.			
<b>B6. Λόγω της πίεσης που ασκεί ο περιεχόμενος αέρας στο φουσκωμένο μπαλόνι</b>	<b>0,0</b>	<b>4,4</b>	<b>2,0</b>
1. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι / ασκείται μια πίεση / έχει δημιουργηθεί από μέσα μεγαλύτερη πίεση.			
2. Γιατί στο φουσκωμένο μπαλόνι το βάρος του εξουδετερώνεται από την πίεση του αέρα που έχει μέσα.			
<b>Τα δύο μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος</b>			
<b>Γ1. Ο αέρας δεν έχει βάρος, δεν ζυγίζεται</b>	<b>19,8</b>	<b>14,4</b>	<b>16,3</b>
1. Γιατί ο αέρας / ο ατμοσφαιρικός / του φουσκωμένου μπαλονιού δεν έχει βάρος.			
2. Επειδή ο αέρας / δεν ζυγίζει / δεν ζυγίζεται επειδή είναι πολύ ελαφρύς / έχει βάρος αμελητέο.			
3. Γιατί τον αέρα δεν μπορούμε να τον μετρήσουμε σε κιλά, ούτε σε γραμμάρια			
<b>Γ2. Τα μπαλόνια έχουν το ίδιο βάρος όταν έχουν ένα χαρακτηριστικό ίδιο</b>	<b>2,2</b>	<b>3,2</b>	<b>6,1</b>
1. Επειδή και τα δύο είναι φτιαγμένα από την ίδια σύσταση / την ίδια ύλη / είναι όμοια / έχουν το ίδιο πάχος / έχουν το ίδιο μέγεθος			
<b>Αταξινόμητες</b>	<b>7,7</b>	<b>10,9</b>	<b>12,3</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3B.** Αναλυτική παρουσίαση των προτεινομένων πειραμάτων από τους μαθητές ανά τάξη και ανά ποσοστό % στην ερώτηση 3.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ	Α΄ Γυμν. N=170	Β΄ Γυμν. N=148	Α΄ Λύκ. N=96	Ποσοστό %		
				Απαντούν		
<b>A. Αν τα βάλουμε σε νερό θα βγουν φυσαλίδες</b>	44,2	43,7	59,4			
1. Τα βάζουμε στο νερό και αν βγουν φυσαλίδες συμπεραίνουμε ότι υπάρχει οξυγόνο						
2. Να τα βυθίσουμε σε μια λεκάνη με νερό οπότε αν βγουν φυσαλίδες σημαίνει ότι το σώμα έχει αέρα						
3. Αν πατήσεις το σφουγγάρι και το νερό που βγει βγάλει και φουσκάλες τότε υπάρχει και αέρας.						
<b>B. Τα σώματα που περιέχουν αέρα συμπιέζονται</b>	15,4	9,9	18,7			
1. Το σφουγγάρι συμπιέζεται και δε διαλύεται γιατί έχει αέρα. Και ο αέρας συμπιέζεται.						
2. Για να βεβαιωθώ αν μέσα στο σφουγγάρι υπάρχει αέρας μπορώ να το συμπιέσω και αυτό θα μαζευτεί γιατί έφυγε όλος ο αέρας						
3. Αν συμπιέσω το σφουγγάρι ή τη φρυγανιά ώστε να δω άμα συμπιεστεί.						
<b>Γ. Τα σώματα που έχουν τρύπες περιέχουν αέρα και απορροφούν νερό / όταν στη συνέχεια τα πιέσουμε το νερό φεύγει με τη βοήθεια του αέρα που βρίσκεται σ'αυτές</b>	11,5	16,9	6,2			
1. Βάζουμε νερό στο σφουγγάρι, άμα το πιέσεις το νερό θα φύγει από το σφουγγάρι με τη βοήθεια του αέρα που βρίσκεται μέσα σ' αυτό με την πίεση που θα ασκήσει ο αέρας μετά από την δική μας πίεση						
2. Αν τα βάλουμε μέσα σε νερό θα γεμίσουν νερό / θα απορροφήσουν και όταν τα στύψουμε τότε θα καταλάβουμε ότι υπάρχει αέρας. Αντίθετα αν ρίξουμε λίγο νερό σ' ένα σώμα που δεν έχει αέρα θα δούμε ότι το νερό δε θα απορροφηθεί.						
<b>Δ. Ο αέρας που έχουν τα κάνει βαρύτερα Αν τους ρίξουμε νερό, το νερό αντικαθιστά τον αέρα και τα κάνει βαρύτερα</b>	9,6	11,3	0,0			
1. Αν τρίψουμε μια φρυγανιά και την ζυγίσουμε και μετά ζυγίσουμε την άτριπτη φρυγανιά αν είναι βαρύτερη αυτό θα πει ότι έχει αέρα						
2. Βυθίζοντας τα στο νερό θα αποκτήσουν περισσότερο βάρος μιας και ο αέρας είναι πιο ελαφρύς από αυτό						
3. Τα βάζεις στο νερό, όταν τα βγάλεις όποιο θα έχει περισσότερο νερό πάει να πει πως είχε πολύ αέρα ή και το αντίθετο.						
<b>Ε. Η φρυγανιά σπάει και το σφουγγάρι είναι φουσκωμένο επειδή έχουν αέρα</b>	7,7	8,4	6,2			
1. Αν πιέσουμε το σφουγγάρι με το χέρι και το αφήσουμε αυτό θα ξαναφουσκώσει και θα μείνει φουσκωμένο, αλλά την φρυγανιά αν την πατήσεις διαλύεται						
2. Αν το σφουγγάρι είναι φουσκωμένο τότε έχει αέρα						
3. Η φρυγανιά σπάει επειδή έχει αέρα						
4. Αν σε σφουγγάρι έχουμε νερό το σφουγγάρι μαζεύει, αν το στραγγίσουμε ξαναφουσκώνει, αυτό το κάνει ο αέρας						
<b>Αταξινόμητες</b>	1,9	7,0	6,2			



**ΠΙΝΑΚΑΣ 4B.** Αναλυτική παρουσίαση των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη και ανά τύπο απάντησης στην ερώτηση 4.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ	A' Γυμν.	B' Γυμν.	A' Λύκ.
	N=182	N=175	N=94
	Ποσοστό %		
Απαντούν	25,8	37,1	61,7
<b>A. Στις συνήθεις συνθήκες του περιβάλλοντος το νερό μετατρέπεται σε υδρατμό με τη διαδικασία της εξάτμισης</b>	<b>27,7</b>	<b>16,9</b>	<b>3,4</b>
1. Γιατί ο ήλιος ζεσταίνει το νερό στη θάλασσα και στα ποτάμια κι έτσι γίνεται ατμός και έτσι αποτελούνται τα σύννεφα. Ύστερα δημιουργείται βροχή και δημιουργούνται πηγές στα βουνά και νερό ξεχύνεται στη θάλασσα.			
2. Το νερό που βρίσκεται στη λίμνη και στα ποτάμια εξατμίζεται και είναι σε αέρια κατάσταση ως σύννεφο, ύστερα γίνεται βροχή και ξανά από την αρχή.			
3. Όταν έχει ζέστη, νερό σε μορφή υδρατμών εξατμίζεται, ανεβαίνει από τις θάλασσες και τα ποτάμια και συγκεντρώνεται στα σύννεφα.			
4. Γιατί όταν υπάρχει ήλιος, ο ήλιος εξατμίζει το νερό και ανεβαίνουν οι υδρατμοί.			
<b>B. Δέχονται την ύπαρξη υδρατμών αναφέροντας φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς</b>	<b>14,9</b>	<b>20,0</b>	<b>50,0</b>
1. Υπάρχει και αυτό το επιβεβαιώνουν τα διάφορα φαινόμενα που δημιουργούνται από τους υδρατμούς / η ομίχλη / η υγρασία / η βροχή / οι υδρατμοί το πρωί στα φύλλα των φυτών / η πρωινή υγρασία.			
2. Το καλοκαίρι η στάθμη του νερού κατεβαίνει λόγω του ότι το νερό γίνεται ατμός.			
3. Όταν μέσα στο σπίτι / αυτοκίνητο έχει ζέστη και έξω κρύο βλέπουμε στα τζάμια να σχηματίζονται υδρατμοί.			
4. Αυτό μας το δείχνει η δημιουργία σύννεφων από υδρατμούς πάνω απ' τη θάλασσα.			
<b>Γ. Για να μετατραπεί το νερό σε υδρατμό πρέπει να φτάσει σε κατάσταση βρασμού</b>	<b>29,7</b>	<b>33,9</b>	<b>3,4</b>
1. Αυτό το καταλαβαίνουμε αν βάλουμε νερό να βράσει θα δούμε να βγαίνει ατμός και όταν το νερό κρυώνει μετατρέπεται ξανά σε νερό.			
2. Για παράδειγμα όταν βράζει νερό σε μια κατσαρόλα μετά εξατμίζεται και αν σηκώσουμε το καπάκι θα δούμε στην από μέσα επιφάνεια σταγόνες.			
3. Υπάρχει γιατί όταν βράζουμε κάτι ο υδρατμός ανεβαίνει προς τα πάνω και για αυτό στην ατμόσφαιρα υπάρχουν υδρατμοί.			
<b>Δ. Συνδέουν την ύπαρξη υδρατμών με τη θερμοκρασία των 100° C</b>	<b>8,5</b>	<b>12,3</b>	<b>25,8</b>
1. Γιατί για να γίνει το νερό υδρατμός πρέπει να έχει θερμοκρασία 100 ° C / πρέπει στο περιβάλλον να επικρατεί θερμοκρασία άνω των 100°C.			
2. Το νερό δεν εξατμίζεται στους 25° C για να εξατμιστεί πρέπει να είναι 100°C.			
3. Γιατί το σημείο βρασμού του νερού είναι 100° C και από κει και πάνω έχουμε υδρατμούς.			
4. Το νερό δε βράζει στους 25°C ώστε να μετατραπεί σε υδρατμό.			
5. Για να ατμοποιηθεί το νερό πρέπει να βρεθεί σε συνθήκες βρασμού 100° C.			



<b>Ε. Υδρατμός δημιουργείται μόνο όταν το νερό βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία</b>	<b>4,2</b>	<b>6,1</b>	<b>8,6</b>
1. Για να πάρει το νερό αέρια μορφή πρέπει να υπάρχει ανεβασμένη θερμοκρασία			
2. Εξάτμιση του νερού συμβαίνει μόνο όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή / όταν το νερό θερμαίνεται πολύ.			
3. Ο υδρατμός δημιουργείται μόνο όταν το νερό βρίσκεται σε υψηλές θερμοκρασίες.			
<b>ΣΤ. Στη θερμοκρασία των 25<sup>0</sup>C το νερό είναι σε υγρή κατάσταση</b>	<b>0,0</b>	<b>3,1</b>	<b>5,2</b>
1. Γιατί η θερμοκρασία αυτή 25 <sup>0</sup> C είναι κατάλληλη για να διατηρηθεί το νερό σε υγρή μορφή.			
2. Το νερό σε τέτοια θερμοκρασία υγροποιείται και γίνεται ξανά βροχή			
3. Για να μετατραπεί το νερό σε ατμό χρειάζεται πιο χαμηλή θερμοκρασία κάτω από 25 <sup>0</sup> C ή πολύ κρύο.			
<b>Αταξινόμητες</b>	<b>14,9</b>	<b>7,7</b>	<b>3,5</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5B.** Αναλυτική παρουσίαση των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη και ανά τύπο απάντησης στην ερώτηση 5.

<b>ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ</b>	<b>Α' Γυμν.</b>	<b>Β' Γυμν.</b>	<b>Α' Λυκ.</b>
<b>ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ</b>	<b>N=161</b>	<b>N=147</b>	<b>N=155</b>
	<b>Ποσοστό %</b>		
<b>Απαντούν</b>	<b>31,0</b>	<b>48,9</b>	<b>31,0</b>
<b>A. Οι υδρατμοί που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα όταν ψυχθούν υγροποιούνται</b>	<b>8,0</b>	<b>8,3</b>	<b>10,2</b>
1. Στην ατμόσφαιρα, στον ατμοσφαιρικό αέρα, υπάρχουν υδρατμοί που ουσιαστικά είναι εξατμισμένο νερό. Όταν λοιπόν αυτοί οι υδρατμοί αγγίζουν την κρύα επιφάνεια των τζαμιών ή του μπουκαλιού επανέρχονται στην αρχική φυσική τους κατάσταση, γίνονται ξανά σταγονίδια νερού.			
2. Τα σταγονίδια αυτά δημιουργούνται όταν οι υδρατμοί που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα υγροποιούνται λόγω μειωμένης θερμοκρασίας.			
3. Οι υδρατμοί που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα παγώνουν και υγροποιούνται. Έτσι θαμπώνει το τζάμι ή το μπουκάλι.			
<b>B. Λόγω αλλαγής / διαφοράς / αντίθεσης / θερμοκρασίας μεταξύ μέσα και έξω στο μπουκάλι / στα τζάμια</b>	<b>18,0</b>	<b>30,5</b>	<b>8,4</b>
1. Στα κρύα τζάμια γίνεται γιατί υπάρχει διαφορετική θερμοκρασία μέσα στο σπίτι και άλλη έξω.			
2. Το θάμπωμα των τζαμιών γίνεται χάριν της διαφοράς θερμοκρασίας του δωματίου από τον εξωτερικό αέρα και δημιουργούνται υδρατμοί. Το ίδιο συμβαίνει και με το μπουκάλι που μπαίνει στο ψυγείο.			
3. Όταν βάζουμε ένα μπουκάλι στο ψυγείο έχει διαφορετική θερμότητα από τη θερμοκρασία του ψυγείου. Έτσι δημιουργούνται υδρατμοί πάνω στο μπουκάλι οι οποίοι αλλάζοντας πάλι θερμοκρασία υγροποιούνται.			



<b>Γ. Η επαφή / ένωση του κρύου με το ζεστό δημιουργεί σταγονίδια / υδρατμούς / θαμπάδα</b>	<b>22,0</b>	<b>16,7</b>	<b>22,4</b>
1. Όταν κάτι κρύο βγει ξαφνικά στο ζεστό αέρα δημιουργούνται σταγονίδια.			
2. Το νερό που παρουσιάζεται στα τζάμια και στο μπουκάλι δημιουργείται από την επαφή του κρύου σώματος με το ζεστό περιβάλλον.			
3. Το τζάμι από το μέσα μέρος είναι ζεστό ενώ από το έξω είναι κρύο μετά το ζεστό και το κρύο ενώνονται και έτσι σχηματίζεται ατμός.			
<b>Δ. Το πολύ κρύο δημιουργεί θαμπάδα / υδρατμούς / δροσίζει / το εξωτερικό του μπουκαλιού. Τα γυάλινα πράγματα στο κρύο γίνονται θαμπά</b>	<b>20,0</b>	<b>13,9</b>	<b>20,4</b>
1. Τα τζάμια θαμπώνουν από το κρύο με αποτέλεσμα σε λίγο το θάμπωμα να μετατρέπεται σε μικρά σταγονίδια και για το ψυγείο συμβαίνει το ίδιο δηλ. το μπουκάλι θαμπώνει από το κρύο.			
2. Τα διάφορα γυάλινα πράγματα στο κρύο γίνονται θαμπά.			
3. Από το πολύ κρύο τα τζάμια δε βρίσκουν ζεστα και θαμπώνουν, το ίδιο συμβαίνει και με το μπουκάλι.			
<b>Ε. Λόγω υγρασίας που υπάρχει έξω από τα τζάμια και μέσα στο ψυγείο</b>	<b>10,0</b>	<b>8,3</b>	<b>14,3</b>
1. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει γιατί αν βάλεις στο ψυγείο ένα μπουκάλι θα είναι θαμπωμένο όταν το βγάλεις επειδή το ψυγείο δημιουργεί υδρατμούς.			
2. Τα σταγονίδια της βροχής αιωρούνται στον αέρα και πέφτουν στα τζάμια έτσι σχηματίζονται υδρατμοί.			
3. Το χειμώνα υπάρχει πολύ υγρασία. Το ίδιο συμβαίνει στο ψυγείο.			
4. Γιατί τα τζάμια όταν βρέχει θαμπώνουν και όταν σταματάει η βροχή τα τζάμια πάνω βγάζουν σταγόνες νερού, έτσι γίνεται και με το μπουκάλι.			
<b>Ζ. Όταν ο αέρας ψυχθεί μετατρέπεται σε σταγονίδια νερού / υγροποιείται</b>	<b>8,0</b>	<b>13,9</b>	<b>6,1</b>
1. Όταν στα κρύα τζάμια πέσει ζεστός αέρας γίνεται σταγόνες νερό από την απότομη αλλαγή θερμοκρασίας.			
2. Όταν το μπουκάλι βγαίνει από το ψυγείο η θερμοκρασία του είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή που έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας. Έτσι όταν τα μόρια του αέρα ακουμπούν στο μπουκάλι ψύχονται και γίνονται σταγονίδια νερού.			
3. Επειδή το μπουκάλι είναι κρύο ο αέρας που πάει επάνω του μετατρέπεται σε υδρατμούς / υγροποιείται.			



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Arnaudin, M. W., Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: a cross age study. *Science Education* 69 (5), 721-733.
2. Arnold, B., Simpson, M. (1980). An investigation of the development of the concept of photosynthesis to SCE "O" grade, Aberdeen of Education.
3. Arons, A. B. (1990). A guide to introductory physics teaching. John Wiley & Sons, Inc. (Για την ελληνική γλώσσα: Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής. Μετάφ.: Α. Βαλαδάκης, Εκδ. Τροχαλία, 1992, Αθήνα).
4. Bar, V. (1986). The development of the conception of evaporation. The Amos de-Shalit Science Teaching Centre in Israel. Hebrew University of Jerusalem, Israel.
5. Bar, V., Travis, A. S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching* 28(4), 363-382.
6. Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silberstein, J. (1987). Students' visualisation of chemical reactions. *Education in Chemistry* 25, 89-92.
7. Beveridge, M. (1985). The development of young children's understanding of the process of evaporation. *British Journal of Educational Psychology*, 55, 84-90.
8. Bigge, M. L. (1982). Learning theories for teachers. Harper & Row, Publishers, Inc. (Στην ελληνική γλώσσα: Θεωρίες μάθησης για εκπαιδευτικούς. Μετάφ.: Α. Κάντας & Α. Χαντζή. Εκδ.: Πατάκης, Αθήνα 1990).
9. Borghi, L., DeAmbrosis, A., Massara, C. I., Grossi, M. G., Zoppi, D. (1988). Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education*, Vol. 10, No. 2, 179-188.
10. Brook, A., Driver, R. and Hind, D. (1989). Progression in science: The development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
11. Brush, S. G., King, A. L. (1972). History in the teaching of physics. University Press of New England.
12. Burnet, J. (1914). Greek Philosophy, Part I, Thales to Plato. The MacMillan Co., London.
13. Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology Press.
14. Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In Crey, S., Gelman, R.: The epigenesis of mind. Essay on biology and cognition. Hillsdale, N.J. : Erlbaum, 257-291.
15. Collis, K. F., Biggs, J. B. (1989). A school-based approach to setting and evaluating science curriculum objectives: SOLO and school science. *Australian Science Teachers Journal*, 35 (4).
16. Collis, K. F., Biggs, J. B. (1991). Multimodal learning and the quality of intelligent behaviour. In H. Rowe (Ed.), *Intelligence, Reconceptualization and Measurement*. (pp. 57-76). New Jersey: Laurence Erlbaum Assoc.
17. Crombie, A. (1979). Augustino to Galileo - Science in Later Middle Ages 5th to 13th centuries). Vol. I. Heinemann Education Books, London. (Από τον Αυγουστίνο



στο Γαλιλαίο - Η Επιστήμη στο Μεσαίωνα, 5<sup>ος</sup> -13<sup>ος</sup> αιώνας. Τόμος Α', Μετάφρ.: Θ. Τσίρη, Ι. Αρζόγλου, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης: Αθήνα 1989)

18. Conant, B. J. (1947). On Understanding Science. Yale University Press: New Haven, CT.

19. Conant, B. J. (1957). Harvard case histories in experimental science. 2 Vols, (Topics form chemistry, physics, and biology are represented). Ed., Harvard University Press: Cambridge, MA.

20. DiSessa, A. A. (1982). Unlearning Aristotelian Physics. A study of knowledge-based learning: *Cognitive Science*, 6, 37-75.

21. Driver, R. (1983). The pupil as scientist? Open University Press: Milton Keynes.

22. Driver, R., Child, D., Gott, R., Head, J., Johnson, S., Worsley, C. and Wylie, F. (1984). Science in schools at age 15: Report No. 2, Assessment of Performance Unit, Department of Education and Science, HMSO, London.

23. Driver, R. (1985). Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), *Children's Ideas in Science*, Open University Press, Milton Keynes, pp. 145-169.

24. Driver, R., Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, Vol. 13, pp. 105-122.

25. Dow, W. M., Auld, J., Wilson, D. (1978). Pupils concepts of gases, liquids and solids. Dundee College of Education.

26. Gabel, D. L., Samuel, K.V. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education* 64 (8), 695-697.

27. Gage, N. L., Berliner, D. (1988). Educational psychology. Houghton Mifflin, Boston.

28. Gauld, C. (1988). The «pupil-as-scientist» Metaphor in science education. *Research in Science Education*. 18, 35 - 41.

29. Gauld, C. (1991). History of science, individual development and science teaching. *Research in Science Education*. 21, 133 - 140.

30. Gellert, E. (1962). Children's conceptions of the content and functions of the human body, *Genetic Psychology Monographs* 65, 291-411.

31. Giunta, C. (1998). Using history to teach scientific method: the case of argon. *Journal of Chem. Education*, vol. 75. No. 10, 1322 - 1325.

32. Guesne, E. (1984). Children's ideas about light. In new trends in physics teaching, Vol. IV (ed. E. J. Wenham) pp. 179-192. Unesco: Paris.

33. Guthrie, W. (1984). The Greek Philosophers from Thales to Aristotle (Οι Έλληνες Φύλοσοφοι από το Θαλή ως τον Αριστοτέλη. Μετάφρ.: Α. Σακελλαρίου. Εκδ. : Δ. Παπαδήμα: Αθήνα 1993).

34. Hankins, T. (1989). Science and the Enlightenment. Cambridge University Press. (Επιστήμη και Διαφωτισμός. Πανεπιστημιακές Εκδ. Κρήτης. Μετάφ. Γ. Κουνταρούλης, Ηράκλειο 1998).

35. Happs, J. (1980). Particles. LISP Working Paper 18, Science Education Research Unit, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

36. Heath, L.T. (1921). A History of Mathematics, Oxford University (Μετάφραση στα ελληνικά από το Κέντρο Έρευνας Επιστήμης και Εκπαίδευσης - Κ.Ε.ΕΠ. ΕΚ., Επιστημονικός υπεύθυνος Θ. Εξαρχάκος, τόμος II, Αθήνα 2001).



37. **Hero of Alexandria.** A Treatise, on Pneumatics, translated and edited by Bennet Woodcroft, Walton and Maberly, London, 1851.

38. **Hewson, P. W., Hewson, M. G. (1988).** An appropriate conception of teaching science: A view from studies of science learning. Science Education, 72, 597-614.

39. **Kampourakis, C., Georgousi, K., Tsaparlis, G. (2001).** Physical science knowledge and patterns of achievement at the primary-secondary interface: Part I. General student population. Part II. Able and promising students. Vol. 2, No. 3, 241-252 και 253-263.

40. **Kampourakis, C., Tsaparlis, G. (2003).** A study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. Chemical Education: Research and Practice, Vol. 4, No. 3, 335-352.

41. **Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., Masia, B. B. (1964).** Taxonomy of educational objectives the classification of educational goals. Handbook II: Affective domain. David McKay, New York. (Στην ελληνική: Ταξινόμια διδακτικών στόχων. Μετάφ.: Α. Λαμπράκη-Παγανού. Εκδ. Κώδικας, Θεσσαλονίκη, 1982).

42. **Kunh, T. S. (1977).** Concepts of cause in the development of physics. In the "Essential Tension". University of Chicago Press, pp. 21-30.

43. **Lapp, R. (1965).** Matter. By Time Inc in United States. (Υλη. Μετάφρ.: Σ. Μουρίκης., Επιστημονική Βιβλιοθήκη LIFE. Λύκειος Απόλλων: Αθήνα.

44. **Leboutet-Barrell, L. (1976).** Concepts of mechanics among young people. Physics Education 20, 462-465.

45. **Leicester, H. (1956).** The Historical Background of Chemistry. Dover Publications, Inc., New York. (Ιστορία της Χημείας. Μετάφρ.: Γ. Γεωργακόπουλος, Επιστημ. Επιμέλεια Θ. Ηλιάδης., Εκδ. : Τροχαλία: Αθήνα 1993).

46. **Levis, L. (1992).** Students' understanding of concepts related to evaporation. Research in Science Education, 22, 263-272.

47. **Lin, H-S., Cheng, H-J. (2000).** The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. Journal Chemical Education, Vol. 77, No. 2, 235-238.

48. **Mach, E. (1883).** Science of mechanics. Open Court Publishing.

49. **Marzano, R. (1992).** Dimensions of learning. Alexandria: ASCD.

50. **Mas., C. J. F., Perez, J. H., Harris, H. (1987).** Parallels between adolescents' conceptions of gases and the history of chemistry. Journal of Chemical. Education, 64 (7), 616-618.

51. **Matthews, M. R. (1989).** A role for history and philosophy in science teaching. Interchange 20, 3 – 15.

52. **Matthews, M. R. (1992).** History, philosophy and science teaching: Science & Education 1, 11-47

53. **Matthews, M. R. (1994).** Science teaching: The role of history and philosophy of science. Routledge: London

54. **Meheut, M., Saltiel, E., Tiberghien, A. (1985).** Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion. European Journal of Science Education 7(1), 83-93.

55. **McCloskey, M., Kargon, R. (1988).** The meaning and the use of historical model in the study of intuitive physics. In S. Strauss (ed.) Ontogeny, Phylogeny and Historical development. Ablex Publishing Corporation, Norwood, N.J. , pp. 49-67.



56. McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. Physics Today, July, 2-10.

57. Mckie, D. (1952). Antoine Lavoisier, Scientist, Economist, Social Reformer. H. Schuman: New York

58. Millar, R. (1989). Constructive criticisms. International Journal of Science Education, 11, 587-596.

59. Miller, S., Robinson, D., Driver, R. (1985). Secondary students' ideas about air and air pressure. In Bell, B., Watts, M. and Ellington, K. (eds), Learning, Doing and Understanding in Science, pp. 58-63. Proceeding of a Conference, 11-13 July, Woolley Hall, Near Wakefield. SSCR, London.

60. Nagy, M. H. (1953). Children's conceptions of some bodily functions. Journal of Genetic Psychology 83, 199-216.

61. Nersessian, N. (1994). Εννοιολογική δόμηση και διδασκαλία: Ένας ρόλος για την ιστορία στη διδακτική των φυσικών επιστημών (από το βιβλίο, Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου, σ. 115, Εισαγωγή-Επιμέλεια: Β. Κουλαϊδής). Gutenberg: Αθήνα.

62. Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. Syntheses, 80, 163-183.

63. Nersessian, N. J., Resnick, L.B. (1989). Comparing historical and intuitive explanations of motion. Does "Naive" Physics have a structure? In proceedings of the Cognitive Science Society, II, pp. 412-420. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.

64. Novick, S., Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding. Education in Chemistry 28 (4), 273-281.

65. Novick, S., Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. Science Education 65 (2), 187-196.

66. Nussbaum, J., Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy, Instruct Science 11, 183-208.

67. Nussbaum, J., Novick, S. (1982). A study of conceptual change in the classroom. A paper presented at NARST annual meeting, Chicago, U.S.A.

68. Nussbaum, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's Ideas in Science, Open University Press, Milton Keynes, pp. 124-144.

69. Nussbaum, J. (1998). Teaching for understanding: a human constructivist view. Chapter 6: History and Philosophy of Science and the Preparation for Constructivist Teaching: The Case of Particle Theory.) Academic Press.

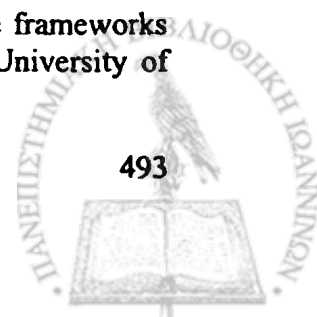
70. Nussbaum, J. (1990). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. In D. E. Herget (ed.). The history, philosophy of science in science teaching (pp. 278-291). Tallahassee: Florida State University.

71. Osborne, R. J., Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. Journal of Research in Science Teaching 20 (9), 825-838.

72. Osborne, R. J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. Journal of Research in Science and Technological Education, 1, 73-82.

73. Osborne, R. J., Freyberg, P. (1985). Learning in Science: The implications of children's science. Heinemann, London.

74. Pfundt, H., Duit, R. (1988). Bibliography: Students' alternative frameworks and science education, Keil: IPN- Institute for Science Education at the University of Keil.



75. Piaget, J. (1973). La formation de la notion de force, Etudes d'epistemologie genetique (vol. xxx), Paris Presses, Universite de France.
76. Piaget, J., Inhelder, B. (1974). The child's construction of quantities: Conservation and atomism, Routledge & Kegan Paul, London.
77. Piaget, J., Garcia, R. (1989). Psychogenesis and the history of science. (translated by H. Feider). New York: Coloumbia University Press.
78. Ruggiero, S., Cartelli, A., Dupre, F. and Vincentini-Missoni, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: mental representations by Italian middle school pupils. European Journal of Science Education 7(2), 181-194.
79. Sequeira, M. & Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. Science Education 75, 45 – 46.
80. Sere, M. G. (1985). The gaseous state. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's Ideas in Science, Open University Press, Milton Keynes, pp. 105-123.
81. Sere, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. European Journal of Science Education 8(4), 413-425.
82. Seroglou, F. Koumaras, P. & Tselfes. V. (1998). History of science and instructional design: the case of electromagnetism. Science & Education. 7, 261– 280.
83. Seroglou, F. & Koumaras, P. (1999). The contribution of the history of physics in physics education: a review. Paper presented at the fifth international history, philosophy & science teaching conference, Lake Como / Pavia University.
84. Snell, B. (1984). Η ανακάλυψη του πνεύματος. Μετάφρ.: Δ. Ιακώβου. Εκδ. : Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης. Αθήνα.
85. Song, J., Cho, S-K., Chung, B-H. (1997). Exploring the parallelism between change in students' conceptions and historical change in the concept of inertia. Research in Science Education 27(1), 87-100.
86. Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. International Journal of Science Education, 10 (5), 552-560.
87. Stavy, R. (1987). Acquisition of conservation of matter. Paper presented at the Second Conference on Misconceptions, July. Cornell University, Ithaca, N.Y.
88. Sutton, C. (1992). Words, Science and Learning. Open University Press: Buckingham. (Οι λέξεις, οι Φυσικές Επιστήμες και η Μάθηση. Μετάφρ.: Μ. Ν. Κασούτας – Δ. Π. Λαθούρης. Εκδ. Τυπωθήτω, 2002, Αθήνα.)
89. Tsaparlis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education. Journal of Chemical Education, 74, 922-925.
90. Tsaparlis, G., Georgousi, K., Kampourakis, K., Lolas, T., Kontogeorgiou, A. (1997). Pupils' knowledge of physical science at the primary-secondary interface (in Greece). Proceedings of a symposium: Science and Technology in Primary Education (G. Kalkanis, ed.) pp. 35-39. Athens: University of Athens, Department of Primary Education.
91. Van Dijk, T., Kintsch, W. (1983). Strategies of discourse comprehension. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
92. Vernant, J. P. (1989). Μύθος και σκέψη στην Αρχαία Ελλάδα. Μετάφρ.: Σ. Γεωργούδη, εκδ. Ζαχαρόπουλος Αθήνα.



93. Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. In *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.

94. Vosniadou, S., Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.

95. Wandersee, J. (1983). Students' misconceptions about photosynthesis: a cross-age study. In Helm, H. and Novak, J. D. (eds. ). *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics, 20-22 June, Cornell University, Ithaca, N.Y.*, pp. 441-446.

96. Wandersee, J. (1985). Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching* 23, 581 – 597.

97. Westfall, R. (1977). *The Construction of Modern Science – Mechanisms and Mechanics*. Cambridge University Press. (Η συγκρότηση της σύγχρονης επιστήμης. Μετάφρ.: Κ. Ζήση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης: Ηράκλειο, 1993.

98. Wiser, M., Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner and A. L. Stevens, *Mental Models*, p. 271, L.E.A. Publishers, London.

99. White, J. (1932). *The history of the phlogiston theory*. E. Arnold and Co.: -London.

100. Whitaker, B. A. M. (1979). History and quasi-history in physics education. *Physics Education* 14.

101. White, B. (1983). Sources of difficulty in understanding Newton dynamics. *Cognitive Science* 7, 41-65.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αλεξόπουλος, Β., Θεριανός, Ο., Κώνστας, Κ. (1994). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο- Φυσικά ΣΤ' Τάξης, πρώτο και δεύτερο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
2. Αριστοτέλης. Φυσική ακρόασις (Τα Φυσικά). Μετάφρ.: Κ. Γεωργούλη (1972). Δ. Παπαδήμα: Αθήνα.
3. Γεωργιάδου, Τ., Καφετζόπουλος, Κ., Πρόβης, Ν., Σπυρέλης, Ν., Χηριάδης, Δ. (1997). Χημεία Β' Γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
4. Δαπόντες, Ν. Κασέτας, Α. Μουρίκης, Σ., & Σκιαθίτης Μ., (1996). Φυσική Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β: Αθήνα.
5. Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπεροπούλου, Σ., Σπηλιώτης, Μ. (1993). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο- Φυσικά Ε' Τάξης, πρώτο και δεύτερο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
6. Ζαβλανός, Μ. (1987). Διδακτική φυσικών επιστημών. Εκδ.: Ίων. Αθήνα.
7. Ζενάκος, Α., Λεκάτης, Ν., Σχοινάς, Α. (1994). Φυσική Α', Β' Γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
8. Κακριδής, Ι. Θ. (1986). Ελληνική Μυθολογία (τόμος Ι, Εισαγωγή στο Μύθο). Εκδοτική Αθηνών, Αθήνα.
9. Καμπουράκης, Κ. (2001). Μελέτη της επίδρασης μιας πειραματικής δραστηριότητας μαθητών λυκείου στη λύση ενός προβλήματος χημείας. Διατριβή Μεταπτυχιακής Ειδίκευσης στη Χημεία. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων – Σχολή Θετικών Επιστημών – Τμήμα Χημείας. Ιωάννινα.
10. Κασέτας, Α. (1998). Ορισμένα γνωστικά αντικείμενα αντιστέκονται. Στο «Η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο Γυμνάσιο και το Λύκειο, 101-102». Ε.Ε.Φ. – Παράρτημα Ιωαννίνων (Πρόγραμμα κινητικότητας, Δράση 1.2.β, ΕΠΕΑΕΚ). Ιωάννινα.
11. Κατσιμάνης, Κ., Ρούσσο, Ε. (1996). Φιλοσοφία Γ' Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β.: Αθήνα.
12. Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ., Θεοδωρόπουλος, Π., Κάλλης, Α. (2002). Χημεία Α' Λυκείου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
13. Ματσαγγούρας, Η. (1998). Οργάνωση και διεύθυνση της σχολικής τάξης – Εφαρμογές της σύγχρονης διδακτικής. Εκδ.: Μ. Π. Γρηγόρης. Αθήνα.
14. Μπιτσάκης, Ε. (1980). Η φυσική φιλοσοφία του Αριστοτέλη. Εκδ.: Gutenberg.
15. Μπρενγκιέ, Ζ-Κ. (1978). Ελεύθερες συζητήσεις με τον Ζ. Πιαζέ. (Μετάφρ.: Ν. Σιδέρης). Καστανιώτη: Αθήνα. (Conversations libres avec J. Piaget. Editions R. Laffont, S.A. 1977).
16. Πολυδωρόπουλος, Κ. (1974). Γενική Χημεία. Ιωάννινα.
17. Σέρογλου, Φ., Κουμαράς, Π. (1999). Ένα μοντέλο έρευνας για την ανίχνευση και τη διαχείριση των ιδεών των μαθητών με αφετηρία την ιστορία των φυσικών επιστημών. Εργασία που παρουσιάστηκε στο Η' Πανελλήνιο συνέδριο της Ε.Ε.Φ, Αρχαία Ολυμπία
18. Φράσσαρη, Θ., Δρούγκα-Λιαπάτη, Π. (1990). Χημεία Α', Β' Γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.



## ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ ΙΙ

### ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ(12-15 ΕΤΩΝ) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ – ΚΟΙΤΑΖΟΝΤΑΣ ΠΙΣΩ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

#### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη των απαντήσεων μαθητών σε τρεις ανοιχτές απαντήσεις που αναφέρονται στην ατμοσφαιρική πίεση. Το δείγμα μας αποτέλεσαν μαθητές στην πρώτη βαθμίδα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Η έρευνα διαπιστώνει ότι αν και παρατηρείται μια βελτίωση στην κατανόηση και εφαρμογή της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης με την ηλικία, η έννοια αυτή είναι δυσπρόσιτη για την πλειονότητα των μαθητών. Οι μαθητές δεν έχουν μια ικανοποιητική εικόνα για τη διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας και του τρόπου που προκύπτει η έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Για την εξήγηση της διατήρησης του σχήματος ενός φουσκωμένου μπαλονιού και για την ισορροπία ενός λεπτού φύλλου χαρτιού στον ατμοσφαιρικό αέρα, η πλειονότητα των μαθητών δεν λαμβάνει υπόψη την ατμοσφαιρική πίεση. Στις περιπτώσεις που οι μαθητές αναφέρονται στην ατμοσφαιρική πίεση, στην μεν πρώτη περίπτωση αυτή δεν συσχετίζεται με την εξισορρόπηση της πίεσης που ασκεί ο περιεχόμενος αέρας στο εσωτερικό του μπαλονιού στη δε δεύτερη περίπτωση οι μαθητές δεν έχουν κατανοήσει τον τρόπο που δρα η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα.

Λέξεις κλειδιά: ατμοσφαιρική πίεση, μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος, εξισορρόπηση ατμοσφαιρικής πίεσης και πίεσης αέρα εντός κλειστού δοχείου, πίεση ασκούμενη από τον ατμοσφαιρικό αέρα σε σώμα που βρίσκεται εντός αυτού.

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αέρια και γενικά η αέρια κατάσταση μπορεί να είναι ένα ελκυστικό πεδίο για διδασκαλία, αλλά λόγω της αφηρημένης φύσης της οι έννοιες πάνω στις οποίες οικοδομείται παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία. Η πίεση που ασκούν τα ρευστά και ιδιαίτερα τα αέρια καθώς και η ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία προσέγγισης. Οι δυσκολίες γίνονται εμφανείς, όταν η έννοια της πίεσης πρέπει να





εφαρμοστεί για την εξήγηση φαινομένων της καθημερινής ζωής και αυτό έχει να κάνει σε μεγάλο βαθμό με φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του αέρα.

Αν και η έννοια της πίεσης βρίσκεται στη βάση για την κατανόηση μεγάλης ποικιλίας θεμάτων, σε πολλά γνωστικά πεδία, όπως στη φυσική των ρευστών, στη χημεία των αέριων στοιχείων, των ενώσεων και των μιγμάτων τους, στη μετεωρολογία, τη γεωλογία, και τη βιολογία, στα περισσότερα αναλυτικά προγράμματα διαπραγματεύεται με ένα σύντομο τρόπο. Στις περισσότερες δε περιπτώσεις δίνεται έμφαση σε επιφανειακές ποσοτικές εφαρμογές και προβλήματα, παραμερίζοντας μια βαθύτερη ποιοτική κατανόηση που απαιτεί η μάθηση της παραπάνω έννοιας. Ο deBerg (1992) σημείωσε ότι μια εστίαση πάνω σε ποσοτικές μεθόδους χωρίς μια στέρεη υποδομή στην ποιοτική κατανόηση των επιστημονικών εννοιών εμποδίζει τους μαθητές από την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών στις οποίες εδράζονται οι έννοιες αυτές.

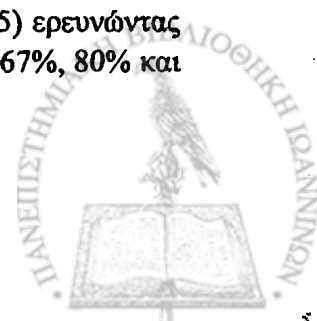
Ο τρόπος με τον οποίο η πίεση διδάσκεται στα περισσότερα αναλυτικά προγράμματα είναι σε συμφωνία με αυτό που περιγράφει ο deBerg. Οι διδάσκοντες εστιάζουν τη διδασκαλία τους περισσότερο πάνω σε γεγονότα και περιγραφές παρά σε αιτίες και σε σχέσεις παραγόντων (Newton & Newton, 2000). Επιπλέον, αρκετοί δάσκαλοι δεν είναι ενήμεροι ότι οι μαθητές τους κατέχουν ήδη κάποιες ιδέες σχετικά με την πίεση που είναι απλοϊκές και γραμμικές στην φύση του δεν βρίσκονται σε συμφωνία με αυτές που δέχεται η σύγχρονη επιστημονική κοινότητα. Οι διδάσκοντες μπορεί επιπλέον να κατέχουν και αυτοί απλές γραμμικές ιδέες (Ginns & Watters, 1995, Rollnick & Rutherford, 1990) καλλιεργώντας λανθασμένες ιδέες στους μαθητές τους.

Δοθείσης της κεντρικότητας της έννοιας της πίεσης σε πολλά γνωστικά αντικείμενα αξίζει τον κόπο να εξετάσουμε γιατί ένας μεγάλος αριθμός σπουδαστών έχει δυσκολίες με την κατανόηση της πίεσης και γιατί πολλοί δάσκαλοι αισθάνονται άβολα όταν την διδάσκουν. Στη δική μας έρευνα, αλλά και σε ένα αριθμό σχετικών ερευνών βρίσκεται ότι στον πυρήνα της φτωχής κατανόησης βρίσκονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με την πίεση και τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτή. Οι ιδέες αυτές όπως ισχυρίζονται οι Basca & Grotzer (2001) έχουν σχέση με τη φύση της αιτιότητας, καθόσον οι σπουδαστές κάνουν υποθέσεις σχετικά με τις αιτίες και τα αποτελέσματα και προσδοκούν να εξηγήσουν την συμπεριφορά των σχετικών φαινομένων χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη τους μη προφανή αίτια και αποτελέσματα.

### **Ιδέες των μαθητών σε σχέση με την πίεση που ασκούν τα αέρια και την ατμοσφαιρική πίεση**

Η έννοια της πίεσης που ασκείται από αέρια και ιδιαίτερα από τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι ένα ερευνητικό πεδίο που έχει γίνει αντικείμενο ενός αριθμού μελετών στη διδακτική των φυσικών επιστημών (Sere, 1982, Engel Clough & Driver, 1985, 1986, Borghi κ.ά, 1988, Brook & Driver, 1988, deBerg, 1995, McClelland, 1987, Rollnick & Rutherford, 1993, Sheparson & Moje, 1994 ).

Τα παιδιά μικρής ηλικίας (11 ετών) θεωρούν ότι μόνο ο άνεμος προκαλεί πίεση και όχι ο ακίνητος αέρας (Sere, 1982). Οι Engel Clough και Driver (1985) ερευνώντας τις ιδέες των παιδιών ηλικίας 12, 14 και 16 ετών, βρήκαν ότι σε ποσοστά 67%, 80% και



87% αντίστοιχα, κυριαρχούσε η άποψη ότι η πίεση αυξάνεται με την απόσταση από την επιφάνεια ρευστού. Οι ίδιοι όμως μαθητές δεν εξέφραζαν συχνά την άποψη ότι η πίεση δρα προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό ή στον αέρα (ποσοστά 13%, 19% και 34% αντίστοιχα προς τις παραπάνω ηλικίες), επίσης είχαν την τάση να πιστεύουν ότι η πίεση που δρα προς τα κάτω ήταν μεγαλύτερη εκείνης που δρα προς τα πάνω. Στην ίδια έρευνα, οι μαθητές προκειμένου να ερμηνεύσουν πως ρουφάμε νερό με ένα καλαμάκι ή πώς παίρνουμε υγρό με μια σύριγγα έκαναν συχνές αναφορές «σε μια αναρρόφηση είτε του αέρα είτε του κενού». Αν και αναφέρονται στο «σπρώξιμο» από την ατμοσφαιρική πίεση, λίγοι μαθητές ερμήνευσαν τα παραπάνω πειράματα στο πλαίσιο της διαφοράς πιέσεων.

Επιπλέον η Sere (1986) μελετώντας τις απόψεις Γάλλων μαθητών (11-13 ετών), σχετικά με τη διαφορά πίεσης σε δύο περιοχές του αέρα και τη συνέπειά της στην κίνηση του, διαπίστωσε ότι το 85% απ' αυτούς περιέγραφε την πίεση που ασκεί ο αέρας μέσα σε ένα μπαλόνι, πριν και αφού το έχουμε φουσκώσει. Από τους παραπάνω μαθητές μόνο το 63% έκανε σύγκριση της πίεσης του αέρα μέσα στο μπαλόνι με την πίεση έξω απ' αυτό. Γενικά, η Sere αναφέρει ότι οι μαθητές δεν προέβαιναν με προθυμία σε συγκρίσεις πιέσεων. Στην ίδια έρευνα επιβεβαιώνεται εύρημα, από προηγούμενη έρευνα της (Sere, 1982), ότι οι μαθητές τείνουν να συσχετίζουν την πίεση στα αέρια με τον κινούμενο αέρα θεωρώντας ότι η πίεση υπάρχει κατά την κατεύθυνση της κίνησής του. Η τάση των μαθητών να συνδέουν την πίεση με τον «ακίνητο αέρα» ήταν μικρότερη.

Έρευνα (Sere 1982, Engel Clough & Driver 1985) για το βαθμό κατανόησης της πίεσης που ασκείται από τον αέρα διαπίστωσε ότι η πλειονότητα των μαθητών, ηλικίας 11-16 ετών, θεωρούν ότι οι δυνάμεις ασκούνται από τον αέρα, μόνο όταν μια εξωτερική δύναμη προκαλεί την κίνησή του και οι δυνάμεις αυτές ενεργούν κατά τη διεύθυνση της κίνησης του. Μόνο το ένα τρίτο των μαθητών, ηλικίας 16 ετών, αναγνωρίζουν ότι οι δυνάμεις που ασκεί ο αέρας μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην κατάσταση ισορροπίας, οι μαθητές υποστηρίζουν ότι ο αέρας «δεν κάνει τίποτα», όταν δε τους ζητήθηκε να προβλέψουν και να εξηγήσουν φαινόμενα όπου η υπάρχουσα πίεση ασκούσε δύναμη που ενεργούσε σε διεύθυνση διαφορετική από εκείνη της εξωτερικής δύναμης, αυτοί υποστήριζαν ότι η κύρια δύναμη του αέρα θα ήταν κατά τη διεύθυνση της εξωτερικής δύναμης.

Οι παραπάνω ερευνητές αναφέρουν επίσης ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να συμβιβαστούν με την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όταν τους ζητήθηκε να ερμηνεύσουν φαινόμενα στα οποία εμπλέκονταν η ατμοσφαιρική πίεση, αν και η διαφορά πίεσης ήταν αντιληπτή, μόνο ένα μικρό ποσοστό των μαθητών αναφέρθηκε σ' αυτή για να εξηγήσει τα φαινόμενα και περίπου οι μισοί μαθητές αναφέρθηκαν μόνο στο τι συνέβαινε στο εσωτερικό του δοχείου. Στην τελευταία περίπτωση οι εξηγήσεις έτειναν να αναφέρονται στην ιδέα ενός «κενού που ρουφάει», είτε της πίεσης που «τραβάει» ακόμη και στην περίπτωση που υποδείχτηκε στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν την ιδέα της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Σε φαινόμενα όπου η ατμοσφαιρική πίεση ήταν μεγαλύτερη από την πίεση μέσα



στο δοχείο, περισσότεροι από τους μισούς δεκαπεντάχρονους μαθητές έδωσαν εξηγήσεις στο πλαίσιο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Για φαινόμενα όπου η πίεση μέσα στο δοχείο ήταν μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, λιγότεροι από το ένα πέμπτο των παραπάνω μαθητών αναφέρθηκαν στην ατμοσφαιρική πίεση. Γενικά οι μαθητές είναι διστακτικοί στο να χρησιμοποιούν την ιδέα της διαφοράς πίεσης σε εξηγήσεις σχετικών φαινομένων.

Ο Tyler (1998) υποστηρίζει ότι ακόμη και μορφωμένοι ενήλικες, με εποπτεία στις έννοιες της ατμόσφαιρας και της πίεσης, έχουν την τάση να αντιστέκονται στο να χρησιμοποιούν την έννοια. Η εννοιολογική αλλαγή στην περίπτωση αυτή εμπλέκει μια συνειδητοποίηση ότι η ατμόσφαιρα έχει μια ιδιότητα που δεν είναι άμεσα αντιληπτή, ότι ασκεί πίεση. Έχειδειχθεί ότι τα παιδιά έχουν την τάση να σκέπτονται την πίεση ως μια κατάσταση λειτουργίας των σωμάτων που περιέχουν αέρα και συνδέουν «το να ασκείς πίεση» ως μια αλληλεπίδραση με αλλαγές στην πίεση. Αν οι μαθητές πιστεύουν ότι η έννοια της πίεσης εφαρμόζεται μόνο στον αέρα, σε μια «μη-κανονική κατάσταση», αυτή η πεποίθηση θα διαταρασσόταν από την υιοθέτηση της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Η εμμονή σε μια ατμόσφαιρα που δεν ασκεί πίεση, σ' ένα βαθμό, εξηγεί τις λανθασμένες εξηγήσεις σε μια σειρά φαινομένων που την περιλαμβάνουν. Αυτό κάνει τις εσωτερικές αλληλοσυνδέσεις και συσχετίσεις των εννοιών να έχουν ως προϋπόθεση την εμμονή αυτή. Εμείς καθημερινά κινούμαστε μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα, απαλά και με άνεση τον εκπνέουμε και τον εισπνέουμε, εκτελούμε ποικίλες δραστηριότητες, παρακολουθούμε τον καπνό ή τους κόκκους σκόνης να μεταφέρονται μέσα σ' αυτή. Η δυσκολία της αλλαγής σχετίζεται με μια αλλαγή στο νοητικό μοντέλο που αναπαριστά την ατμόσφαιρα, με μια νέα συσχέτιση της λέξης «πίεση» με τον ατμοσφαιρικό αέρα που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια υγρού σε ένα σωλήνα και που αλλάζει την θέση της ελεύθερης επιφάνειας του κατά τρόπο ευδιάκριτο.

Για να κατανοηθεί η έννοια της πίεσης που ασκούν τα αέρια, δεν μπορούμε απλώς να εστιάσουμε την προσοχή μας πάνω στα φαινόμενα αυτά κατ' αποκλειστικότητα. Οι μαθητές πρέπει να έχουν κατακτήσει την εννοιολογική οικολογία (Posner κ.ά., 1982, Demaster κ.ά., 1995), που περιλαμβάνει τις υποκείμενες θεμελιώσεις αυτών των εννοιών, αυτές συμπεριλαμβάνουν τις απόψεις τους σχετικά με την ύλη, το χώρο, τον όγκο, και τη δύναμη. Ο εμπλουτισμός της κατανόησης των παιδιών σχετικά με τη συμπεριφορά του αέρα λαμβάνει χώρα σε σχέση με μια αναδόμηση της γνώσης για τη δομή της ύλης, για παιδιά μεγαλύτερα των 12 ετών, και αυτό αποτελεί τον γνωστικό πυρήνα πάνω στον οποίο αυτή δομείται (Carey, 1985 b, 1986).

Τα παιδιά φαίνεται να λειτουργούν με διαστρωματώσεις των εννοιών που έχουν σύνθετες σχέσεις με φαινόμενα που τους ζητείται να εξηγήσουν και ενδεχομένως με προϋποθέσεις, που δύσκολα θα μπορούσαν να διευθετηθούν σε συμπαγείς ενότητες αρχών, που να μπορούν να δομήσουν μια θεωρία. Εξετάζοντας την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι καθαρό ότι ασχολούμαστε με μια δύσκολη εννοιολογική μετατόπιση. Η διάκριση της Vosniadou (1994) μεταξύ θεωριών πλαισίου και ιδιαιτέρων θεωριών / νοητικά μοντέλα, φαίνεται να μην εξυπηρετεί στην περίπτωση της



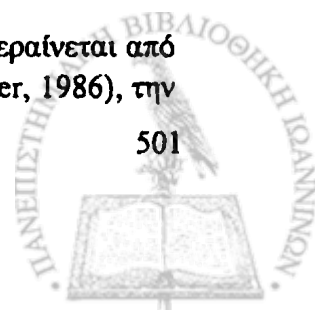
ατμοσφαιρικής πίεσης. Η έννοια μιας ατμόσφαιρας που δεν ασκεί πίεση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα νοητικό μοντέλο ή ως μια υποκείμενη προϋπόθεση. Το ενδεχόμενο ότι «ο αέρας είναι λεπτός και δεν πιέζει» μπορεί πολύ καλά να θεωρηθεί ως ένας φαινομενολογικός πρωτογονισμός (diSessa, 1988, 1993a).

Ο Moyle (1980) σε έρευνα του σχετικά με τις ιδέες δεκαεξάχρονων μαθητών για τον καιρό, επισημαίνει ότι οι μαθητές εξηγούν τον άνεμο σε σχέση με ορατά, κινούμενα αντικείμενα, όπως τα αυτοκίνητα, τα σύννεφα ή τις παλίρροιες. Ένα ποσοστό μαθητών εξήγησαν τους ανέμους σε σχέση με την κίνηση της Γης ή τη χαμηλή θερμοκρασία στους πόλους. Υπήρχε μια τάση να συσχετίζουν την ταχύτητα του ανέμου με τη θερμοκρασία. Μια μεγάλη ταχύτητα με τον κρύο άνεμο, υπονοώντας ότι ένας θερμός άνεμος είναι ήπιος και μικρής ταχύτητας. Σπάνια οι μαθητές εξηγούσαν τον άνεμο σε σχέση με διαφορές πίεσης μεταξύ περιοχών ατμόσφαιρας. Στην Ελλάδα η Σπυροπούλου (1994) μελετώντας τις αντιλήψεις μαθητών δημοτικού και γυμνασίου, για τα καιρικά φαινόμενα διαπιστώνει ότι γι' αυτούς ο άνεμος δημιουργείται όταν βρέχει, δημιουργείται από τα σύννεφα και από τα βουνά ή από τη θάλασσα.

Ο Tyler (1998) επισημαίνει ότι «όταν τα παιδιά μιλούσαν για τη δύναμη ή την πίεση που ασκεί ο αέρας που περιέχεται σε κλειστές επιφάνειες, η σκέψη αυτή φαινόταν να συνδέεται με τον αέρα που ασκεί μια πίεση διαφορετική από την κανονική, με άλλα λόγια μια αλλαγή στην πίεση, αντιλαμβάνεται ως μια αλλαγή της ιδιότητας του αέρα. Αν δεχτούμε κάτι τέτοιο, τότε η μη πειστικότητα της ιδέας της ατμόσφαιρας που ασκεί πίεση, όταν είναι συνεχώς σε μη δυναμική κατάσταση, μπορεί να γίνει κατανοητή;»

Ο παραπάνω ερευνητής μελετώντας τη διαδρομή των ιδεών των παιδιών, ηλικίας 6-12 ετών, σ' ένα φάσμα πειραματικών εργασιών που η κάθε μια απαιτούσε την εφαρμογή μιας αρχής που σχετίζεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, διατυπώνει τους παρακάτω λόγους για τις δυσκολίες απόκτησης της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης.

- Τα μικρά παιδιά (μαθητές δημοτικού σχολείου) δεν είναι έτοιμα γι' αυτή την έννοια επειδή δεν έχουν την προαπαιτούμενη γνώση σχετικά με τον αέρα, που είναι η παρουσία του και οι ιδιότητες του, καθώς και τη γνώση της συσχέτισης των εννοιών πίεσης και δύναμης.
- Όταν η έννοια της πίεσης γίνει διαθέσιμη, οι μαθητές έχουν την τάση να την σχετίζουν με αλλαγές στην κατάσταση του περιεχόμενου αέρα. Ένα κλειστό δοχείο που περιέχει αέρα και τα καταστατικά του μεγέθη έχουν σταθερή τιμή, οι μαθητές θεωρούν ότι δεν ασκεί πίεση.
- Όταν η έννοια γίνει προσιτή, αυτή είναι αντι-διαισθητική για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον δεν έχουμε μια άνετη αντίληψη ύπαρξης της εξωτερικής ασκούμενης πίεσης, επειδή αυτή αποκρύπτεται από την εξισορρόπησή της κατά μήκος των επιφανειών. Δεύτερο οι μαθητές εμφανίζουν μια τάση να εστιάζονται σε άμεσα εντοπισμένα χαρακτηριστικά ενός σχετικού φαινομένου, ως αυτά να εκφράζουν ένα αιτιακό μηχανισμό. Η μετατόπιση της προσοχής τους προς τον εξωτερικό αέρα είναι αρκετά δύσκολη.
- Η εφαρμογή της έννοιας της πίεσης σε διαφορετικές περιπτώσεις δυσχεραίνεται από συγχύσεις που αφορούν την κατεύθυνση της πίεσης (Engel Clough & Driver, 1986), την



περίπλοκη παρουσία του αέρα στα δοχεία καθώς και την πίεση που ασκεί ο αέρας στην επιφάνεια του νερού.

- Ακόμη και αν τα παραπάνω θέματα δεν παρουσιάζουν ένα εμπόδιο για την ερμηνεία κάποιων φαινομένων, υπάρχει μια επιφυλακτικότητα για την επέκταση της ιδέας της πίεσης σε άλλα φαινόμενα, αν και σε κάποιες περιπτώσεις είχαν δοθεί από τους μαθητές ικανοποιητικές εξηγήσεις.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

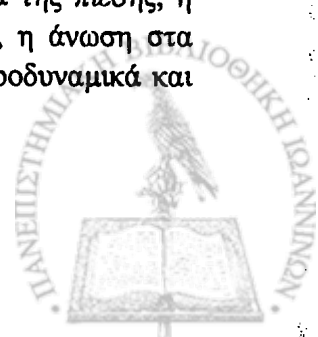
Ο τρόπος διεξαγωγής της έρευνας και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μελέτη και ταξινόμηση των απαντήσεων των μαθητών περιγράφονται στο πρώτο μέρος της εργασίας.

### Ομάδα Γ / Ερώτηση 6

Η ερώτηση 6 διερευνά την κατανόηση των μαθητών του «στατικού» ορισμού της ατμοσφαιρικής πίεσης, της πίεσης που ασκείται από μια νοητή στήλη αέρα εμβαδού βάσης  $1\text{m}^2$  που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Η διατύπωση της ερώτησης ζητάει να επιλέξουν και να αιτιολογήσουν μια από τις τρεις δυνατές επιλογές για τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης (παράρτημα: οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές).

Στην ερώτηση έδωσαν αιτιολογημένες απαντήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές περιέχουν αποδεκτά στοιχεία, περίπου οι μισοί μαθητές (49,2%) του συνολικού δείγματος ( $N=398$ ). Οι μαθητές της α' λυκείου ( $N=90$ ) δίνουν αιτιολογημένες απαντήσεις σε ποσοστό 66,7%, ακολουθούν οι μαθητές της β' ( $N=150$ ) και α' ( $N=158$ ) γυμνασίου με ποσοστά 45,3% και 43,0% αντίστοιχα. Το 14,6% του συνολικού δείγματος δηλώνει, χωρίς να αιτιολογεί ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος, το 16,6% ότι αυξάνεται και το 0,5% ότι παραμένει η ίδια. Αν και τα τελευταία ποσοστά δεν έχουν ιδιαίτερη αξία, επειδή οι απαντήσεις είναι μονολεκτικές, επισημαίνουν ένα διμερισμό στις απαντήσεις των μαθητών που επιβεβαιώνεται και από τα ποσοστά των αιτιολογημένων απαντήσεων. Το 54,6%, από τους μαθητές που απάντησαν αιτιολογεί (αποδεκτά και μη αποδεκτά) ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται και το 39,3% ότι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται. Το υπόλοιπο 6,1% είναι απαντήσεις που δεν έχουν σαφές περιεχόμενο και τις κατατάξαμε στις αταξινόμητες. Τα ποσοστά των μαθητών που απαντούν ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με στοιχεία αποδεκτά παρουσιάζουν μια βαθμιαία αύξηση με την ηλικία και από τη β' γυμνασίου στην α' λυκείου εμφανίζεται μια ποσοστιαία αύξηση κατά 24,5%.

Όλοι οι μαθητές του δείγματος μας είχαν διδαχθεί στην Ε' τάξη του δημοτικού σχολείου δύο ενότητες σχετικές με την πίεση (ενότητα ΣΤ1, σ. 77-93 και ενότητα ΣΤ2, σ. 98-115, Ερευνώ το φυσικό κόσμο, δεύτερο μέρος, Αλεξόπουλος κ.ά., 1994). Η πρώτη ενότητα αποτελείται από πέντε μαθήματα και σ' αυτά εισάγεται η έννοια της πίεσης, η υδροστατική πίεση, τα συγκοινωνούντα δοχεία, η ατμοσφαιρική πίεση, η άνωση στα υγρά και αέρια. Στη δεύτερη ενότητα εισάγονται έννοιες σχετικές με υδροδυναμικά και



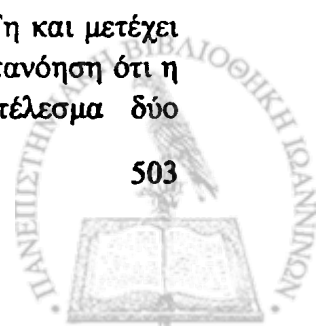
αεροδυναμικά φαινόμενα. Στο μάθημα «Η ατμοσφαιρική πίεση», σ. 88, η ατμοσφαιρική πίεση ορίζεται «στατικά», παρουσιάζεται η μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης με το πείραμα του Toricelli και επιπλέον αναφέρεται ότι: «Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται όσο ανεβαίνουμε πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε πολύ μεγάλο ύψος μηδενίζεται. Βρέθηκε ότι, όταν ανεβαίνουμε πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά 10 μέτρα περίπου, η πίεση ελαττώνεται κατά 1 χιλιοστόμετρο της στήλης υδραργύρου».

Ο παραπάνω ορισμός της ατμοσφαιρικής πίεσης δεν λαμβάνει υπ' όψιν του την μοριακή δομή και κίνηση των αερίων, υπονοεί ένα μοντέλο του ατμοσφαιρικού αέρα που είναι πλησιέστερα στη μοριακή δομή των υγρών, τα μόρια του αερίου είναι σε επαφή, ώστε το βάρος των υπερκειμένων στρωμάτων του αέρα να μεταφέρεται στα υποκείμενα. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως στατικό και είναι κοινό σε όλα τα βιβλία που απευθύνονται στις δύο πρώτες βαθμίδες της εκπαίδευσης. Ο κινητικός υπολογισμό της πίεσης αερίου διδάσκεται στο λύκειο, στο πλαίσιο της κινητικής θεωρίας του ιδανικού αερίου.

Οι μαθητές της α' λυκείου, είχαν διδαχθεί επιπλέον στη β' γυμνασίου ένα κεφάλαιο με τίτλο «Μηχανική των ρευστών», (Φυσική β' γυμνασίου, Ζενάκος κ.ά., 1993, σ. 87-119). Στο κεφάλαιο αυτό διαπραγματεύονται τις ίδιες έννοιες όπως και στο παραπάνω αναφερθέν βιβλίο του δημοτικού, με περισσότερα όμως στοιχεία και επιπλέον εισάγονται και οι μαθηματικές εκφράσεις των σχετικών νόμων. Στο κεφάλαιο αυτό εκτός από το μάθημα «Ατμοσφαιρική πίεση» υπάρχει και ένα επιπλέον μάθημα με τίτλο «Βαρόμετρα - Μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης». Αν και στο μάθημα αυτό αναφέρεται η συσχέτιση του ύψους της στήλης του υδραργύρου στο βαρόμετρο με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, δεν δίνεται κάποια εξήγηση γιατί αυτό συμβαίνει, απλώς αυτό διαπιστώνεται.

Γενικά η διαπραγμάτευση της έννοιας της πίεσης και των μεταβολών της, στα παραπάνω σχολικά βιβλία, δεν γίνεται με μια μέθοδο ανακαλυπτικής μάθησης. Οι έννοιες εισάγονται με τρόπο αξιωματικό και δεν θέτονται ερωτήματα για περαιτέρω συζήτηση και διερεύνησή τους. Ο Arons, αναφερόμενος στην υδροστατική πίεση, που είναι πιο προσιτή από την πίεση που ασκούν τα αέρια, σημειώνει ότι, «για να κατανοήσουμε την έννοια της πίεσης στα ρευστά, δεν αρκεί να αφομοιώσουμε απλώς τον ορισμό της, δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Πρέπει, επίσης να αντιληφθούμε πλήρως τη σημασία του νόμου του Pascal: η πίεση σε κάθε σημείο ενός ρευστού είναι ίδια προς κάθε κατεύθυνση. Η συνήθης τυπική απόδειξη αυτής της ιδέας συνίσταται στη μελέτη της στατικής ισορροπίας ενός ρευστού μικρού όγκου μέσα σε ένα πρισματικό δοχείο. Η συγκεκριμένη μελέτη, ωστόσο, είναι τόσο αφηρημένη, ώστε, ακόμα και αν την παρουσιάσουμε, ελάχιστοι μαθητές αφομοιώνουν τη φυσική της σημασία» (Arons, 1990, σ. 441).

Για την κατανόηση της ατμοσφαιρικής πίεσης και τη μεταβολή της με το ύψος από την επιφάνεια της Γης, προαπαιτούμενη είναι μια νοητική εικόνα που να αισθητοποιεί την ατμόσφαιρα «ως ένα ωκεανό αέρα» που περιβάλλει τη Γη και μετέχει στις κινήσεις της. Επιπλέον δε η εικόνα αυτή να συμπεριλαμβάνει την κατανόηση ότι η διαμόρφωση και η διατήρηση της ατμόσφαιρας αυτής είναι αποτέλεσμα δύο



αντιτιθέμενων δυνάμεων στα μόρια των συστατικών του αέρα, της ελκτικής δύναμης της Γης και της ταχύτητας διαφυγής τους λόγω της θερμότητας που παίρνουν απ' τον Ήλιο. Η δύναμη της βαρύτητας περιορίζει την έκταση και καθορίζει το σχήμα της μάζας της ατμόσφαιρας. Η θερμότητα του Ήλιου δίνει κινητική ενέργεια στα μόρια του αέρα και έτσι έχουν την τάση να απομακρυνθούν από την επιφάνεια της Γης. Αν τα μόρια δεν βρίσκονταν σε συνεχή κίνηση η «ατμόσφαιρα» μας θα ήταν απλώς ένα πολύ λεπτό στρώμα αέρα πάνω στην επιφάνεια της Γης. Αν δεν υπήρχε η βαρύτητα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας θα διέφευγαν στο διάστημα, μακριά από τη Γη.

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης και μέχρι ένα ύψος 20 Km περίπου, όπου σ' αυτό περιέχεται το 95% της μάζας της ατμόσφαιρας. Επιπλέον η ελκτική δύναμη της Γης ελαττώνεται με το ύψος ακολουθώντας το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου. Τα βαρύτερα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, οξυγόνο και άζωτο, λόγω της σχετικά μικρής κινητικής τους ενέργειας παραμένουν σε μεγάλο ποσοστό σε μια ζώνη πλησίον της επιφάνειας της Γης (το 50% της μάζας της γήινης ατμόσφαιρας είναι κάτω από 5,6 Km). Τα ελαφρότερα συστατικά, όπως το υδρογόνο, βρίσκονται σε μεγαλύτερο ποσοστό σε μεγαλύτερα ύψη. Έτσι η πυκνότητα του αέρα ελαττώνεται με το ύψος. Στην επιφάνεια της Γης μια τυπική τιμή της πυκνότητας του αέρα είναι  $1190 \text{ g/m}^3$  και σε ύψος 20 Km,  $89,7 \text{ g/m}^3$  (Καραπιέρης, 1967, σ. 19-62).

Με βάση τα παραπάνω η εξήγηση της μείωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος, λόγω ελάττωσης της πυκνότητας του αέρα, είναι προσιτή στους μαθητές της γυμνασιακής βαθμίδας εκπαίδευσης. Μια τέτοια διαπραγμάτευση που δεν υπεισέρχεται σε λεπτομέρειες και δεν εμπλέκει ιδιαίτερα στοιχεία από την κινητική θεωρία των αερίων, λίγα σχολικά βιβλία μπαίνουν στον κόπο να την παρουσιάσουν. Την ύπαρξη της ατμόσφαιρας τη θεωρούν αυθύπαρκτη. Μια προσπάθεια για την κάλυψη αυτού του διδακτικού κενού γίνεται στο βιβλίο «Εισαγωγή στις Φυσικές Επιστήμες (Φυσική-Χημεία), για την α' γυμνασίου, Τσαπαρλής & Καμπουράκης, 2003, στο μάθημα 23, σ. 141-148). Το βιβλίο αυτό έχει παραδοθεί στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, ως πρόταση για την εισαγωγή ενός ενοποιημένου μαθήματος φυσικής – χημείας στην α' γυμνασίου.

Από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση, προέκυψε ότι το 18,4% των μαθητών του δείγματος μας που απάντησαν αιτιολογούν ότι η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται, επειδή ελαττώνεται η πυκνότητα του αέρα (πίνακας 6Α). Οι εξηγήσεις που δίνουν οι μαθητές αυτοί δείχνουν ότι κατανοούν σε ικανοποιητικό βαθμό, γιατί αυτή η ελάττωση της ατμοσφαιρικής πίεσης συμβαίνει (πίνακας 6Β). Το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου (28,3%) είναι σχεδόν διπλάσιο των μαθητών της α' γυμνασίου (14,7%) και οι μαθητές της β' γυμνασίου δίνουν την απάντηση αυτή σε μικρότερο ποσοστό 13,2%.

Ας σημειώσουμε ότι ένα μικρό ποσοστό (5,6%) μαθητών του δείγματός μας έχει μια αντεστραμμένη εικόνα για τη σχέση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης, που προέρχεται από τη μη κατανόηση της διαστρωμάτωσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Ισχυρίζονται ότι «η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα μεγαλώνει, αφού ο αέρας πηγαίνει



προς τα πάνω» και έτσι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται με την απόσταση από τη Γη (πίνακας 6B, περίπτωση Ι).

Πίνακας 6A. Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 6.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	A' Γυμν. N=158	B' Γυμν. N=150	A' Λύκ. N=90
	Ποσοστό %		
Απαντούν	43,0	45,3	66,7
Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται	51,5	45,6	68,3
1. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται επειδή ελαττώνεται η πυκνότητα του αέρα	14,7	13,2	28,3
2. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο του αέρα	10,3	11,8	11,7
3. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί ελαττώνεται η έλξη της γης.	5,9	8,8	18,3
4. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί απομακρυνόμαστε από την ατμόσφαιρα της γης.	13,2	7,3	1,7
5. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί αλλάζουν τα στρώματα της ατμόσφαιρας.	7,3	4,4	8,3
Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται	39,7	48,5	28,0
6. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο.	11,8	19,1	11,7
7. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί συναντάμε διαφορετικά στρώματα ατμόσφαιρας.	13,2	8,8	3,3
8. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος	5,9	4,4	8,3
9. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί υπάρχει περισσότερος / λιγότερος αέρας.	2,9	11,7	1,7
10. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται λόγω της ελκτικής δύναμης της γης.	5,9	4,4	3,3
11. Αταξινόμητες	8,8	5,9	3,3

Η επόμενη αιτιολόγηση που συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό (11,2% στο σύνολο των μαθητών του δείγματος που αιτιολογούν) στηρίζεται στη γνώση ότι η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο ελαττώνεται με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης (πίνακας 6B, περίπτωση Β). Αν και μια τέτοια αιτιολόγηση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μερικώς ορθή, από τις διατυπώσεις διαφαίνεται ότι η πληροφορία αυτή δεν συνδυάζεται με την ελάττωση της πυκνότητας του αέρα. Απλώς οι μαθητές συνδέουν με ένα τρόπο μονοσήμαντο την πληροφορία ότι το οξυγόνο μειώνεται



με την απόσταση από την επιφάνεια της Γης με την μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι το 14,3% ισχυρίζεται ότι η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται με το ύψος λόγω ελάττωσης του οξυγόνου (περίπτωση ΣΤ).

Η συσχέτιση της ελάττωσης της ατμοσφαιρικής πίεσης με την ελάττωση της ελκτικής δύναμης της Γης, γίνεται κυρίως από τους μαθητές της α' λυκείου (18,3%), περίπτωση Γ. Και σ' αυτό τον τύπο αιτιολόγησης δεν εξηγείται γιατί η μείωση της ελκτικής δύναμης της Γης επηρεάζει την ατμοσφαιρική πίεση. Απλώς υπάρχει η σύνδεση μιας πληροφορίας (αίτιο) με την ζητούμενη εξήγηση (αποτέλεσμα). Η μη κατανόηση της σύνδεσης της βαρύτητας με τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης υπογραμμίζεται και από την ομάδα Κ των απαντήσεων (ποσοστό 4,6%) που χρησιμοποιούν τη βαρυτική δύναμη για να υποστηρίξουν το αντίθετο, «η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται λόγω της ελκτικής δύναμης της Γης».

Η περίπτωση Δ των απαντήσεων στηρίζεται στην πληροφορία ότι «όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, απομακρυνόμαστε και από την ατμόσφαιρα της Γης, και στο διάστημα η ατμόσφαιρα δεν υπάρχει». Συνεπώς η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται. Εδώ η απάντηση επιχειρεί να λάβει υπόψη της την ποσότητα του αέρα σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση, όμως η έλλειψη ενός επιστημονικού μοντέλου για τη διαστρωμάτωση της ατμόσφαιρας της Γης, βρίσκεται στη βάση τέτοιων τύπων απαντήσεων. Αυτό τον τύπο απάντησης έδωσαν κυρίως οι μαθητές των μικρότερων ηλικιών (13,2%, 7,3% και 1,7% οι μαθητές α', β' γυμνασίου και α' λυκείου αντίστοιχα).

Οι τύποι των απαντήσεων Ε και Η δείχνουν επίσης ότι οι μαθητές δεν έχουν μια ικανοποιητική εικόνα για τη διαστρωμάτωση της γήινης ατμόσφαιρας. Απλώς έχουν την πληροφορία ότι η ατμόσφαιρα αποτελείται από διάφορα στρώματα. Για το 8,7% των μαθητών που απαντούν στην ερώτηση, τα στρώματα όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης «δεν είναι τόσο πυκνά» ή «όλο και πιο πολύ μικραίνουν» και η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται. Για το 6,6% του δείγματος όσο ανεβαίνουμε από την επιφάνεια της Γης τα στρώματα «είναι μεγαλύτερα και πιο χονδρά» ή «είναι διαφορετικά» και η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται.

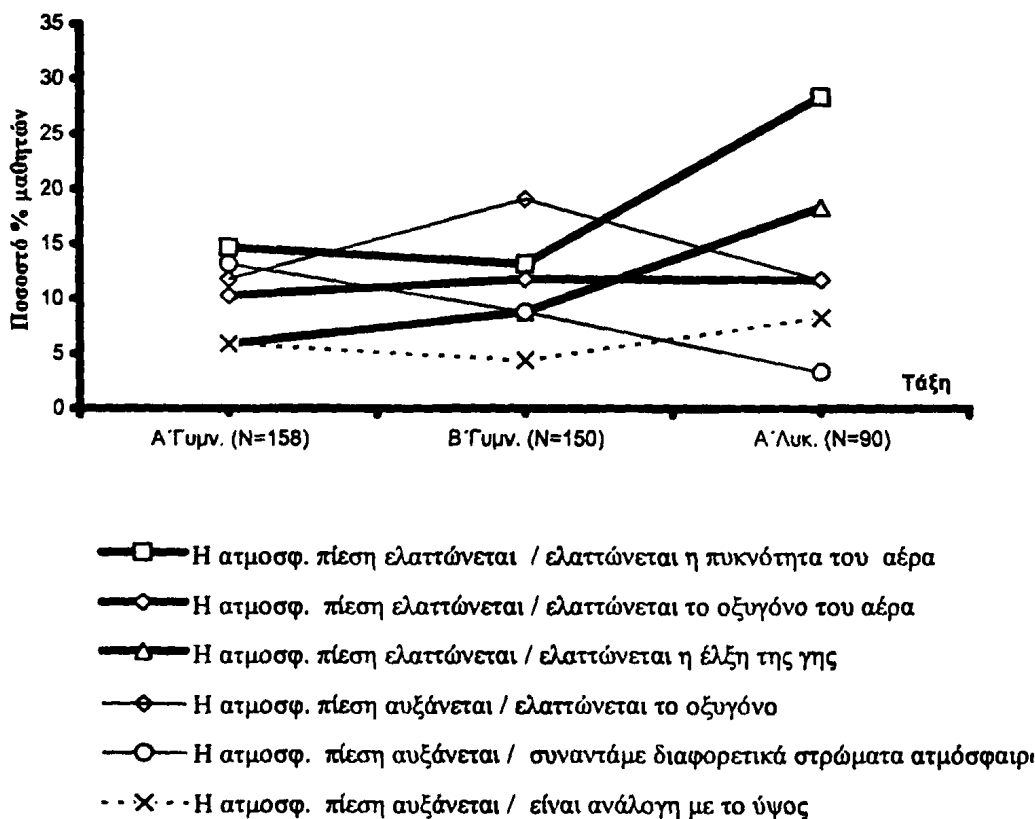
Τέλος στην περίπτωση Θ η πρόταση «η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος», που δηλώνεται από το 6,1%, θεωρούμε ότι είναι μια τυπική περίπτωση όπου οι μαθητές μαθαίνουν κάποιες διατυπώσεις τις οποίες «κολλούν» αδιακρίτως ως απαντήσεις σε ένα αριθμό ερωτήσεων.

Κλείνοντας το σχολιασμό των απαντήσεων στην ερώτηση 6 θέλουμε να υπογραμμίσουμε τη δυσκολία που εμπεριέχεται στο να σχηματίσουν οι μαθητές μια αποδεκτή εικόνα της γήινης ατμόσφαιρας και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Τα βιβλία στη λυκειακή βαθμίδα δεν επανέρχονται στο θέμα αυτό και θεωρούν ότι το ζήτημα της ατμοσφαιρικής πίεσης έχει καλυφθεί. Αυτός ίσως είναι και ένας από τους λόγους που προβλήματα που αναφέρονται στα αέρια και εμπλέκουν την ατμοσφαιρική πίεση είναι δύσκολα για τους μαθητές.



Η μάθηση των φυσικών επιστημών εμπλέκει την παρατήρηση με νέους τρόπους. Η επιλογή μιας νέας μεταφοράς είναι από τα κυριότερα εργαλεία που οδηγούν τη σκέψη σε καινοτομία. Καθιστά τα οικεία πράγματα λιγότερο δεδομένα και στρέφει την προσοχή μας σε διαφορετικές όψεις του θέματος. Η αναγνώριση από τον Torricelli και από άλλους ότι ζούμε «στο βάθος ενός ωκεανού αέρα» ήταν πολύ σημαντικό πολιτιστικό και επιστημονικό επίτευγμα (Solomon, 1989). Την εποχή εκείνη αυτός ο τρόπος παρατήρησης είχε πολλές συνέπειες. Παρακινήθηκαν αποστολές πάνω σε βουνά με στήλες υδραργύρου, έγιναν εκτιμήσεις για το πόσο μακριά μπορεί να εκτείνεται ο «ωκεανός» και πολλές άλλες έρευνες. Ένα κείμενο που γράφτηκε το 1878 από την Α. Buckley είναι και σήμερα ενδιαφέρον για το τι σημαίνει να έχουν αποκτήσει τα παιδιά μια νοητική εικόνα για την ατμόσφαιρα της Γης και να την αντιλαμβάνονται «ως την ατμόσφαιρα» και όχι απλώς «ως τον αέρα».

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6Α.** Ποσοστό % των απαντήσεων ανά τύπο απάντηση και ανά τάξη, στην ερώτηση 6.



Γράφει η Α. Buckley: "Έχετε ποτέ καθίσει στην όχθη ενός ποταμού σε κάποιο ήσυχο σημείο που το νερό ήταν βαθύ και καθαρό; Έχετε παρατηρήσει τα ψάρια πως κολυμπούν παραπλεύρως με νωθρό τρόπο; Γιατί τα ψάρια θα πρέπει να ζουν μέσα σε κάτι και συχνά να αγωνίζονται με τα κύματα και το ρεύμα, ενώ εγώ και άλλοι ζούμε στην επιφάνεια της Γης και όχι μέσα σε κάτι; .....αυτό που τώρα σας λέω, ότι ζούμε σε κάτι



τόσο πραγματικό και συχνά τόσο άγριο και τρικυμιώδες όσο το νερό όπου κολυμπούν τα ψάρια. Αυτό στο οποίο είμαστε μέσα είναι ο αέρας, και ως αέριο είναι αόρατο σε μας, επειδή βρισκόμαστε μέσα σ' αυτό, ενώ είμαστε πάνω από το νερό στο οποίο ζουν τα ψάρια, το οποίο είναι ένα υγρό και τα μάτια μας μπορούν να το αντιληφθούν. Αλλά ας υποθέσουμε για μια στιγμή ότι υπήρχε ένα όν, του οποίου τα μάτια το καθιστούσαν ικανό να βλέπει τα αέρια, όπως εμείς βλέπουμε τα υγρά, και κοίταζε τη Γη μας από απόσταση. Θα έβλεπε έναν ωκεανό από αέρα γύρω από τη Γη, με πουλιά να πλανώνται σ' αυτόν και ανθρώπους να περπατούν κατά μήκος του πυθμένα, όπως ακριβώς εμείς βλέπουμε τα ψάρια να κινούνται στο βυθό ενός ποταμιού". (από το βιβλίο του Sutton, Οι λέξεις, οι φυσικές επιστήμες και η μάθηση, 1992, σ. 123, ).

Η τελευταία πρόταση της Arabella Buckley προφανώς εμπεριέχει αυτό που Hanson ονόμασε «παρατηρώντας περισσότερα από όσα βλέπει το μάτι» (Hanson. 1969). Με άλλα λόγια, αν ο διδάσκων πετύχει τη μετάδοση νέων «ενορατικών εικόνων» που μπορούν να χρησιμοποιούνται ως «θεάσεις της πραγματικότητας», τότε ο μαθητής αποκτά ένα μέσο με το οποίο μπορεί να ερμηνεύει περαιτέρω την εμπειρία.

### Ερώτηση 7

Η ερώτηση 7 αναφέρεται στην αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση του αέρα σε ένα φουσκωμένο μπαλόνι και ελήφθη αυτούσια από το βιβλίο του μαθητή της Ε' τάξης του δημοτικού σχολείου «Ερευνώ το φυσικό κόσμο» (Δασκαλάκης κ.ά. 1993, δεύτερο μέρος, σ. 88). Συγκεκριμένα στο μάθημα «Η ατμοσφαιρική πίεση», αφού εισάγουν οι συγγραφείς την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης αναφέρουν ότι: «Η πίεση της ατμόσφαιρας εξασκείται σ' όλα τα σώματα που βρίσκονται μέσα σ' αυτή και ονομάζεται ατμοσφαιρική πίεση». Στη συνέχεια, στο μάθημα αυτό παρουσιάζεται η εικόνα ενός βιβλίου που κρατείται οριζόντιο και δίπλα σ' αυτή γράφει: «Πάνω στο εξώφυλλο του βιβλίου που κρατάς η ατμόσφαιρα εξαιτίας του βάρους της εξασκεί δύναμη 500 περίπου κιλοπόντ (Κρ)! Μπορείς να σηκώνεις τόσο μεγάλο βάρος γιατί ο αέρας πιέζει το βιβλίο απ' όλες τις μεριές με την ίδια περίπου πίεση. Έτσι οι δυνάμεις που οφείλονται στην πίεση αυτή εξισορροπούνται μεταξύ τους». Η τελευταία πρόταση τροποποιημένη είναι η επόμενη ερώτηση (ερώτηση 8) που ετέθη στους μαθητές και τη λέξη «βιβλίο» αντικαταστήσαμε με «φύλλο χαρτί» (βλέπε, ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές).

Επιπλέον στο βιβλίο της φυσικής της β' γυμνασίου (Ζενάκος κ.ά., 1994, στο κεφάλαιο «Μηχανική των ρευστών», στην ερώτηση 6, παρουσιάζεται ένας αριθμός περιπτώσεων αλληλεπίδρασης της ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως με στήλη υγρού (ανοιχτό μανόμετρο, σ. 93 & 94), με τον αέρα που περιέχεται σε ανοιχτά και κλειστά δοχεία. Παρουσιάζεται και εξηγείται επίσης η ελαστική βεντούζα σε ένα τζάμι ή σε μια γυαλιστερή επιφάνεια καθώς και η παραμόρφωση μιας ελαστικής μεμβράνης που έχουμε προσαρμόσει στο μεγάλο άνοιγμα ενός χωνιού όταν ρουφάμε τον αέρα που είναι στο χωνί από το άλλο άνοιγμα (σ. 107). Στη σελίδα 109 του ίδιου βιβλίου παρουσιάζονται δύο φωτογραφίες, στη μια ένας μαθητής ρουφά με ένα καλαμάκι τον αέρα από ένα χάρτινο κουτί αναψυκτικού και ζητάει να εξηγήσουν γιατί τα τοιχώματα του κουτιού



παραμορφώνονται. Στην άλλη φωτογραφία μια μαθήτρια πίνει γάλα από ένα ποτήρι με ένα καλαμάκι και ζητάει να εξηγήσουν πώς τα καταφέρνει.

Η ερώτηση 7 δόθηκε σε 397 μαθητές και απ'αυτούς έδωσαν αιτιολογημένη απάντηση λιγότεροι από τους μισούς (45,3%). Τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν ανά τάξη καθώς και οι τύποι των απαντήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 7Α. Παρατηρούμε μια αύξηση των μαθητών που δίνουν απαντήσεις με την ηλικία, το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου (58,2%) είναι σχεδόν διπλάσιο των μαθητών της α' γυμνασίου. Στις αποδεκτές και εν μέρει αποδεκτές απαντήσεις προηγούνται με ποσοστό 36,7% οι μαθητές της α' λυκείου και ακολουθούν οι μαθητές της α' και β' γυμνασίου με ποσοστά 13,9% και 7,8% αντίστοιχα.

Ένα φουσκωμένο μπαλόνι μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι μια στατική κατάσταση. Η εξισορρόπηση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση που ασκεί ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας είναι μια κατάσταση ανάλογη με την παρουσία μας μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η αδυναμία μας να αντιληφθούμε τη δύναμη από την ατμοσφαιρική πίεση στα σώματά μας οφείλεται στο ότι αυτή εξισορροπείται από την πίεση του αέρα στο εσωτερικό του σώματός μας. Δεν υπάρχει καμιά συνισταμένη δύναμη για να την αισθανθούμε. Γινόμαστε ενήμεροι της ατμοσφαιρικής πίεσης μόνο όταν η πίεση αλλάζει απότομα, όπως όταν απογειωνόμαστε μέσα σ'ένα αεροπλάνο και τα αυτιά μας βουίζουν. Μια υπόδειξη στην τεθείσα ερώτηση θα μπορούσε να έλεγε: σκέψου τι συμβαίνει όταν ένα παραφουσκωμένο μπαλόνι σπάει. Όμως, μήπως ο κρότος από το μπαλόνι που σπάει θα μετατόπιζε την εστίαση σε έννοιες διαφορετικές από τις αναμενόμενες;

Πίνακας 7Α. Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων ανά τάξη στην ερώτηση 7.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	α' γυμν.	β' γυμν.	Α' λύκ.
	N=147	N=147	N=103
Ποσοστό %			
Απαντούν	29,2	52,4	58,2
Πίεση ασκείται και από τις δύο επιφάνειες του μπαλονιού	7,0	7,8	25,0
Το μπαλόνι περιέχει αέρα	32,6	42,8	11,7
Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί πίεση / δύναμη	16,3	14,3	16,6
Ο αέρας στο μπαλόνι ασκεί δύναμη και εξισορροπεί την ασκούμενη από τον εξωτερικό αέρα	7,0	0,0	11,7
Αναφέρονται μόνο στην ατμοσφαιρική πίεση	16,2	10,4	10,0
Αναφέρονται σε ιδιότητες του αέρα που περιέχεται στο μπαλόνι	7,0	5,2	6,7
Αναφέρονται σε ιδιότητες του μπαλονιού	9,3	9,1	11,6
Αναφορά στην μοριακή δομή του αέρα	2,3	0,0	3,3
Αταξινόμητες	2,3	10,4	3,3

Μια αποδεκτή απάντηση θα πρέπει να κάνει αναφορά τόσο στην πίεση που ασκεί ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας, όσο και στην ασκούμενη ατμοσφαιρική πίεση στην εξωτερική επιφάνεια του μπαλονιού. Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το μπαλόνι δεν «τσαλακώνεται» λόγω της εξισορρόπησης των δύο πιέσεων από τις δύο πλευρές του.

Οι περισσότεροι τύποι απαντήσεων εστιάζονται πάνω σε ένα γεγονός ή σε ένα προφανή παράγοντα ή σε ένα χαρακτηριστικό του μπαλονιού ή σε ένα μόνο φυσικό μέγεθος. Ο τύπος Α των απαντήσεων (πίνακας 7B), δίνεται από το 30,0% των μαθητών που απάντησαν (στο σύνολο του δείγματος) και εστιάζονται μόνο σε ένα προφανές γεγονός «το μπαλόνι περιέχει αέρα» και αυτό αποτελεί την αιτιακή εξήγηση. Μόνο τρεις μαθητές (δύο από την α' λυκείου και ένας από την α' γυμνασίου) αναφέρουν επιπλέον ότι «ο αέρας του μπαλονιού εμποδίζει τον αέρα της ατμόσφαιρας». Ας σημειωθεί ότι δεν γίνεται καμιά αναφορά στην έννοια της πίεσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών που δίνουν αυτό τον τύπο απάντησης προέρχεται από την α' και β' γυμνασίου, ενώ το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου είναι περίπου τρεις και τέσσερις φορές μικρότερο από εκείνο των μαθητών της α' και β' γυμνασίου αντίστοιχα.

Ως υποπερίπτωση του τύπου απάντησης Α μπορεί να θεωρηθεί η περίπτωση των απαντήσεων του τύπου Η που τη δίνει ένα μικρό ποσοστό μαθητών περίπου ισοκαταναμημένο στις τρεις τάξεις (7,0%, 5,2% και 6,7%, α', β' γυμνασίου και α' λυκείου αντίστοιχα). Την ικανότητα του περιεχομένου αέρα να διατηρεί το μπαλόνι φουσκωμένο ως αιτιακού παράγοντα, την αποδίδουν σε ιδιότητες του, όπως είναι «ζεστός», είναι «συμπιεσμένος», «μοιράζεται σ' όλο το μπαλόνι» κ.ά.

Οι σπουδαστές δεν σκέπτονται την ύπαρξη της πίεσης όταν δεν μπορούν εύκολα να δουν κάποιο αποτέλεσμα. Ο deBerg (1995) βρήκε ότι μαθητές λυκείου αναγνώριζαν ότι η πίεση του περιεχόμενου αέρα σε μια σύριγγα αυξάνεται όταν αυτός συμπιέζεται. Όμως το 70% από αυτούς τους μαθητές θεωρούσαν ότι ο περιεχόμενος αέρας δεν ασκεί πίεση όταν αυτός δεν συμπιέζεται. Επίσης, η Sere (1982) βρήκε ότι μαθητές 11-13 ετών δεν μπορούν να δεχτούν την πίεση του αέρα χωρίς την ύπαρξη κάποιου τύπου κίνησης να συνδέεται με αυτόν. Οι μαθητές αυτοί θεωρούν ότι καταστάσεις ισορροπίας οφείλονται μάλλον στην έλλειψη πίεσης παρά στην εξισορρόπηση μεταξύ των πιεστικών δυνάμεων.

Οι Kariotoglou & Psilos (1993) επίσης σημειώνουν ότι η επίδραση της πίεσης συχνά δεν είναι προφανής και ανιχνεύσιμη. Για παράδειγμα, όταν ρωτούσαν γιατί ένα μπαλόνι μερικώς ξεφουσκώνει όταν οδηγείται από το βουνό στην ακτή, οι σπουδαστές χρησιμοποιούσαν προφανείς παράγοντες, όπως μια οπή στο μπαλόνι, παρά μια συλλογιστική που χρησιμοποιεί διαφορές στην πίεση του αέρα μεταξύ των δύο περιοχών.

Στο τύπο απαντήσεων ΣΤ γίνεται αναφορά στην ατμοσφαιρική πίεση αλλά αυτή συσχετίζεται με ιδιότητες του μπαλονιού. Ο αιτιακός παράγοντας αποδίδεται αφ' ενός στην ατμοσφαιρική πίεση και αφ' ετέρου σε χαρακτηριστικά του μπαλονιού, «το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του», «το μπαλόνι είναι ελαστικό και ξαναγυρίζει την ατμοσφαιρική πίεση» κ.ά. Ένας στους δέκα μαθητές που απάντησαν έδωσαν αυτόν το τύπο απάντησης.



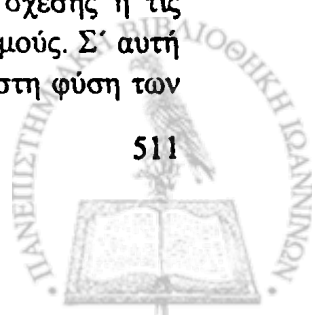
Οι επόμενοι τύποι απαντήσεων Γ, Θ και Δ κάνουν σαφή αναφορά στην έννοια της πίεσης ή στη δύναμη που ασκεί η πίεση με εστίαση σε μια από τις επιφάνειες του μπαλονιού, στο ένα μέλος της σχέσης των πιέσεων. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μονόδρομο ή γραμμικό. Στην περίπτωση Γ δηλώνεται σαφώς ότι το φουσκωμένο μπαλόνι δεν τσαλακώνεται από την ατμοσφαιρική πίεση γιατί «ο αέρας που έχει στο εσωτερικό του ασκεί πίεση / δύναμη». Στις διατυπώσεις υποδηλώνεται μια σχέση πίεσης / δύναμης μέσα και έξω από το μπαλόνι, αλλά τα μέρη της σχέσης δεν αναφέρονται καθαρά και επιπλέον δεν αναφέρεται μια σχέση εξισορρόπησης δύο πιέσεων / δυνάμεων. Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν τον τύπο απάντησης Γ είναι 15,5% στο σύνολο των μαθητών που απαντούν. Επιπλέον ένα μικρότερο ποσοστό 1,7%, περίπτωση Θ, εξηγεί ότι η πίεση που ασκεί ο περιεχόμενος στο μπαλόνι αέρας οφείλεται στην μοριακή δομή του αέρα και στην κίνηση των μορίων του.

Στην περίπτωση Δ, η εστίαση γίνεται στην πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας, στο άλλο μέλος της σχέσης των πιέσεων. Ο αιτιακός παράγοντας αποδίδεται σε ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης ή σε συνδυασμό της ατμοσφαιρικής πίεσης με το σφαιρικό σχήμα του μπαλονιού. «Η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται η ίδια σε όλες τις πλευρές του μπαλονιού», «η ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ μικρή», «το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του». Το ποσοστό των μαθητών που δίνουν αυτό τον τύπο απάντησης είναι 11,7% και είναι λίγο μικρότερο εκείνου της απάντησης Γ (15,6%).

Το παραπάνω χαρακτηριστικό στον τρόπο απάντησης, που αναφέρεται στον ένα παράγοντα μιας σχέσης και όχι στη σχέση δύο ή περισσότερων παραγόντων, εν προκειμένω στη σχέση των δύο πιέσεων, εμφανίζεται σε μεγάλο ποσοστό σε άτομα που δεν είναι ειδικοί σε ένα γνωστικό αντικείμενο. Αποτελεί χαρακτηριστικό της σκέρνης των μαθητών και έχει τεκμηριωθεί σε πολλά γνωστικά πεδία στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Οι Rollnick και Rutherford (1993) κατέγραψαν ότι δάσκαλοι πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης σε επιμόρφωση, για να εξηγήσουν γιατί το νερό σε ένα κύπελλο που αναποδογυρίζεται με ένα κομμάτι από χαρτόνι στο χείλος του δε χύνεται, εστίαστηκαν στην πίεση που ασκεί ο εξωτερικός αέρας στο χαρτόνι. Αυτή η εστίαση είναι ένας τύπος γραμμικού αιτιακού συλλογισμού με την έννοια ότι οι δάσκαλοι αποτυγχάνουν να αναγνωρίσουν τον άλλο παράγοντα στην σχέση, τον αέρα στο πάνω μέρος στο εσωτερικό του κυπέλλου, για να δομήσουν την εξήγησή τους.

Στην μελέτη ηλεκτρικού κυκλώματος οι Grotzer & Sudbury (2000), διαπίστωσαν ότι οι μαθητές θεωρούν ότι ένας λαμπτήρας ανάβει όταν ηλεκτρόνια ρέουν από τη μπαταρία προς αυτόν από τη μία (unipolar model) ή και από τις δύο κατευθύνσεις (clashing currents model).

Η Basca κ.ά. (2000) ανακάλυψαν ότι έννοιες οικοσυστημάτων που κατέχουν μαθητές της γ' τάξης γυμνασίου είχαν γραμμικότητα. Οι σπουδαστές εστίαζαν την προσοχή τους πάνω σε συγκεκριμένους οργανισμούς με ένα μονοδιάστατο τρόπο, όπως η αλεπού τρώει τα ποντίκια, παρά να σημειώνουν την αμοιβαιότητα της σχέσης ή τις εκτεταμένες επιδράσεις από την εξαφάνιση του ενός από τους δύο οργανισμούς. Σ' αυτή τη μελέτη δόθηκε στους μαθητές η ευκαιρία να μελετήσουν τις διαφορές στη φύση των



γραμμικών μοντέλων σε σχέση με ένα μοντέλο που έμοιαζε με ντόμινο και περιείχε μια μορφή αιτιακής σχέσης που δρούσε προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Αυτό τους ανέπτυξε μια ενημέρωση των αλληλεπιδράσεων που μοιάζει με το ντόμινο, όπου η εξαφάνιση ενός από τα είδη μπορεί να επηρεάσει ολόκληρο το οικοσύστημα. Οι μαθητές σημείωσαν ότι αν τα φυτά εξαφανιστούν, η επίδραση της εξαφάνισης τους θα μπορούσε να επεκτεινόταν σε οργανισμούς πέραν και από εκείνους που έτρωγαν μόνο φυτά. Αυτοί έμαθαν ότι οτιδήποτε μπορεί να είναι μια αιτία και ένα αποτέλεσμα ταυτόχρονα. Με το να κατανοήσουν αυτή τη σχέση, η ισορροπία και η ανισορροπία μεταξύ δύο ή περισσότερων ειδών, έκανε τους μαθητές ικανούς να αναγνωρίζουν την αμοιβαιότητα των οργανισμών – για παράδειγμα, τα ποντίκια αποτελούν πηγή ενέργειας στις κουκουβάγιες και ταυτόχρονα οι κουκουβάγιες βοηθούν τα ποντίκια να διατηρήσουν το μέγεθος του πληθυσμού τους.

Τέλος στους τύπους των απαντήσεων Ε και Β, γίνεται αναφορά σε δύο δυνάμεις ή σε δύο πιέσεις, δηλαδή σε δύο παράγοντες. Στο τύπο Β, «το μπαλόνι δεν τσαλακώνεται γιατί η δύναμη που ασκεί ο εξωτερικός αέρας εξισορροπείται από την δύναμη που ασκεί ο αέρας στο εσωτερικό του μπαλονιού». Το ποσοστό που δίνει αυτή την απάντηση είναι 5,5% στο σύνολο των μαθητών που απαντούν και την μεγαλύτερη συμμετοχή σ' αυτό έχουν οι μαθητές της α' λυκείου. Ας σημειωθεί ότι η μη διάκριση μεταξύ δύναμης και πίεσης από τους μαθητές όταν προσπαθούν να εξηγήσουν φαινόμενα σχετικά με την πίεση, κυρίως ρευστών έχει καταγραφεί και από άλλους ερευνητές (Kariotoglou & Psilos, 1993, EngelClough & Driver, 1985).

Ο τύπος Ε των απαντήσεων δίνεται από το 13,3% των μαθητών του δείγματος που απαντούν. Το ποσοστό των μαθητών της α' λυκείου (25,0%) είναι πάνω από το τριτάσιο του ποσοστού των μαθητών της α' (7,0%) και β' (7,8%) γυμνασίου, και δηλώνει ότι οι μαθητές αυτοί έχουν κατακτήσει ένα σύνθετο νοητικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό αναφέρονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ δύο πιέσεων, της εσωτερικής που ασκεί ο αέρας στο μπαλόνι και της εξωτερικής ατμοσφαιρικής πίεσης την οποία θεωρούν ως αιτία. Η εξισορρόπηση των δύο πιέσεων που ασκούνται στην ίδια επιφάνεια είναι η αιτιακή εξήγηση για τη μη τσαλάκωση του μπαλονιού.

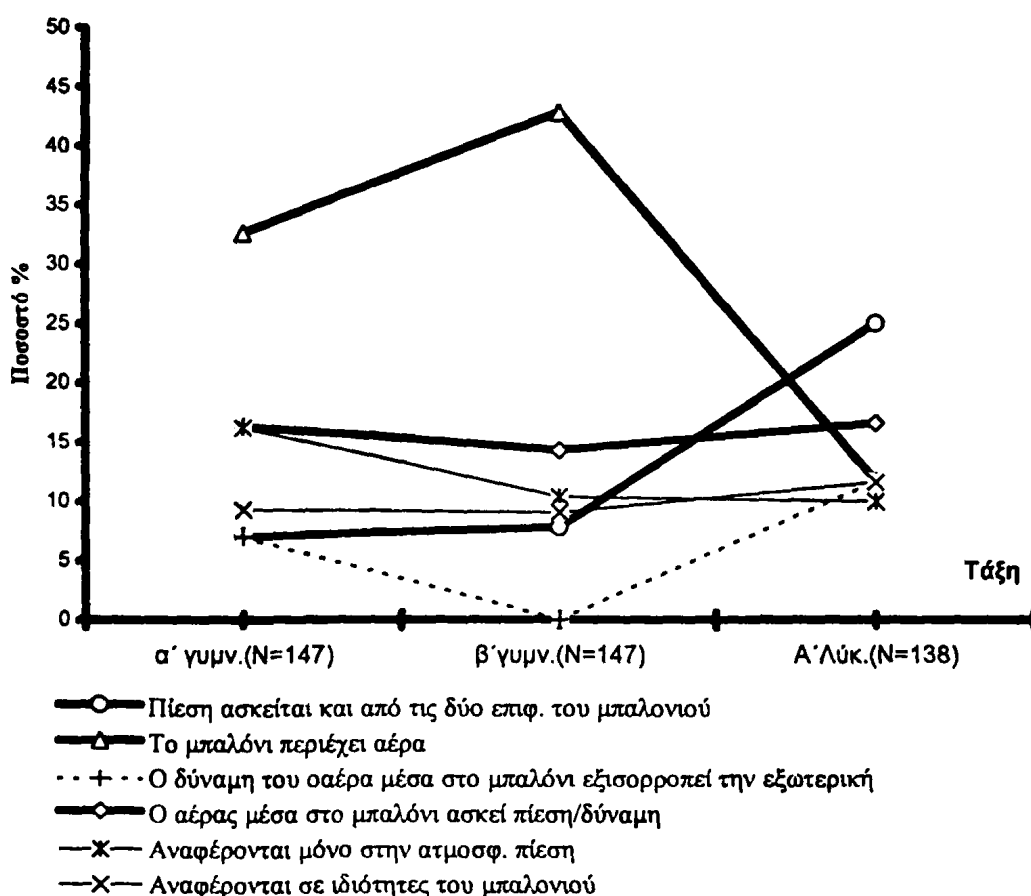
Τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων σε τέτοιου είδους προβλήματα που οι μαθητές καλούνται να εφαρμόσουν την έννοια της πίεσης είναι γενικά χαμηλά. Σε πρόσφατη έρευνα των Basca & Grotzer (2001) που διερευνώνται αιτιακά μοντέλα μαθητών στην εξήγηση φαινομένων που σχετίζονται με την πίεση, ετέθησαν σε 43 μαθητές β' λυκείου τρεις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, και ζητούσαν οι μαθητές να αιτιολογήσουν τις εξηγήσεις τους. Οι ερωτήσεις ήταν:

- α) Ένα φουσκωμένο μπαλόνι, το στόμιο του οποίου είναι σφικτά δεμένο με σπάγκο το μεταφέραμε από μια παραλιακή περιοχή σε ένα βουνό. Παρατηρήσαμε ότι το μπαλόνι είχε φουσκώσει περισσότερο. Πως εξηγείται το φούσκωμα του μπαλονιού;
- β) Τι προκαλεί το υγρό να ανέβει στο στόμα σου, όταν εσύ πίνεις με ένα καλαμάκι;
- γ) Όταν οι μετεωρολόγοι προειδοποιούν για θύελλα, συμβουλεύουν τους κατοίκους να ανοίγουν μερικώς τα παράθυρα στα σπίτια τους. Γιατί εσύ νομίζεις ότι οι μετεωρολόγοι λένε να γίνει αυτό;



Από τις 129 απαντήσεις που δόθηκαν από τους μαθητές για τις τρεις ερωτήσεις που έθεσαν, σχεδόν οι μισές (49%) δεν έκαναν αναφορά στην πίεση. Το 33% των απαντήσεων ανέφεραν την πίεση στο πλαίσιο είτε μιας οντότητας ή στο πλαίσιο ενός γραμμικού μοντέλου, ενώ το 19% χρησιμοποίησε την πίεση στο πλαίσιο ενός σχετικού μοντέλου δηλαδή τη συσχέτιση δύο πιέσεων. Τα ευρήματα είναι σε συμφωνία με εκείνα των Tyler (1998), Shepardon κ.ά. (1994), Benson, κ.ά. (1993) όπου οι σπουδαστές απέτυχαν να αναγνωρίσουν την πίεση ως μια μη προφανή αιτιακή μεταβλητή.

**Γράφημα 7Α.** Ποσοστό % των απαντήσεων ανά τύπο απάντησης και ανά τάξη, στην ερώτηση 7.



Οι απαντήσεις του τύπου Ε μπορούν να χαρακτηριστούν ως συσχετισμένα αιτιακά μοντέλα συλλογιστικής προς τα οποία η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στοχεύει να μετατοπίσει τους μαθητές. Αναφέρονται σε ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης μεταξύ αιτιών και αποτελεσμάτων (Perkins & Grotzer, 2000). Στα μοντέλα αυτά δεν υπάρχει ο παράγοντας Α ούτε ο Β μεμονωμένοι, αλλά η αλληλεπίδραση και των δύο που πρέπει να εξεταστεί. Σε πιο σύνθετα μοντέλα υπάρχει η αλληλεπίδραση περισσότερων παραγόντων. Για παράδειγμα, όταν οι επιστήμονες σκέπτονται σχετικά με την πίεση του αέρα σε ένα φαινόμενο, την σκέπτονται ως μια σχέση ή μια αλληλεπίδραση - ένα είδος αμφίδρομης συσχέτισης. Σκέπτονται περιοχές υψηλότερης και χαμηλότερης πίεσης και τις





συγκρίνουν. Η αιτία ενός φαινομένου είναι μια σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων πιέσεων. Στόχος της δικής μας δουλειάς ως δασκάλων είναι να βοηθηθούν οι μαθητές ώστε να μεταποπιστούν από μονομερή – γραμμικά μοντέλα συλλογιστικής σε μοντέλα που θα συσχετίζουν δύο ή περισσότερους παράγοντες εκ των οποίων ο ένας τουλάχιστον να μην είναι για αυτούς προφανής (π.χ. η ατμοσφαιρική πίεση).

### Ερώτηση 8

Η τελευταία ερώτηση είναι πιο απαιτητική από την προηγούμενη καθώς η φαινομενολογία του προβλήματος που τίθεται εγείρει «επιστημολογικά εμπόδια» που απαιτούν μια εκλεπτυσμένη κατανόηση του τρόπου που ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε μια λεπτή επίπεδη επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στον αέρα.

Η πρόταση που υπάρχει σε όλα τα σχολικά βιβλία, στην αρχή του μαθήματος «Η άνοση των αερίων - Αρχή του Αρχιμήδους» αναφέρει ότι: «όταν ένα σώμα είναι βυθισμένο ολόκληρο ή εν μέρει εντός αερίου μάζας, η οποία υπόκειται στην επίδραση της βαρύτητας, υφίσταται προς όλες τις διευθύνσεις δυνάμεις οι οποίες είναι κάθετες σε κάθε σημείο της επιφάνειάς του». Η πρόταση αυτή δεν είναι εύκολο να κατανοηθεί με προφορική διδασκαλία και παθητική συμμετοχή του μαθητή.

Όταν βυθίζουμε ένα στερεό σώμα σε ένα υγρό, είναι σχετικά εύκολο να αντιληφθούμε ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από το υγρό στο σώμα έχουν μια συνισταμένη δύναμη που διευθύνεται προς τα πάνω (άνωση), και αυτή αντισταθμίζεται στην περαιτέρω βύθισή του. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαφορά στην υδροστατική πίεση στα κατώτερα σημεία του σώματος είναι αισθητά μεγαλύτερη απ'ότι στα ανώτερα. Όμως στην περίπτωση που ένα σώμα βρίσκεται εντός του αέρα η μεταβολή η ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος, λόγω της μικρής πυκνότητας του αέρα (περίπου  $1300 \text{ g/m}^3$ , στους  $0^\circ\text{C}$  και πίεση  $1\text{atm}$ ) δεν γίνεται αντιληπτή. Για δύο σημεία πλησίον της επιφάνειας της Γης που έχουν υψομετρική διαφορά  $10\text{m}$  η υδραργυρική στήλη μειώνεται περίπου κατά  $1\text{mm}$  (θερμοκρασία αέρα γύρω στους  $20^\circ\text{C}$ ) (Κυριαζόπουλος & Λιβαδάς, 1974, σ. 145). Αυτός είναι και ο λόγος που όταν κρατάμε οριζόντιο μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα ένα φύλλο χαρτιού, η άνοση δεν παίζει κανένα ρόλο.

Στην ερώτηση 8 απάντησε το 34,5% του συνολικού δείγματος. Από τους μαθητές της α' και β' γυμνασίου απάντησαν περίπου ένας στους τέσσερις (27,4% και 25,8% αντίστοιχα) και από τους μαθητές της α' λυκείου απάντησαν λίγο παραπάνω από ένας στους δύο (58,6%) (πίνακας 8Α). Οι τύποι των απαντήσεων δείχνουν τα διαφορετικά μοντέλα που κατέχουν οι μαθητές σχετικά με τον τρόπο που ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση.

Στην περίπτωση των απαντήσεων του τύπου Α (πίνακας 8Α), που συγκεντρώνει το 28,1% των μαθητών που απάντησαν, γίνεται αναφορά μόνο στην βαρύτητα «που έλκει το χαρτί». Προφανώς οι μαθητές αυτοί δεν έχουν μια ορθή αντίληψη του τρόπου που δρα η βαρυτική δύναμη (περίπτωση Α4). Αν δεχθούμε ότι οι μαθητές αυτοί έχουν μια αντίληψη ότι «η βαρύτητα δρα προς τα κάτω» τότε θα πρέπει να υπονοούν ότι η ατμοσφαιρική πίεση δρα με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω στο οριζόντιο φύλλο χαρτιού και εξισορροπεί τη δύναμη της βαρύτητας. Τα ποσοστά των μαθητών που έχουν



αυτό το μοντέλο για την εξισορρόπηση του φύλλου χαρτιού στον αέρα, από την α' γυμνασίου (30,9%) στην α' λυκείου (10,3%) μειώνονται δραστικά.

Στον τύπο Β των απαντήσεων οι μαθητές αναφέρουν δύο παράγοντες, τη βαρύτητα και την ατμοσφαιρική πίεση. Οι απαντήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως διευκρινιστικές των απαντήσεων της περίπτωσης Α. Το μοντέλο αυτό, αν και συγκεντρώνει πολύ μικρό ποσοστό, το 3,6% στο σύνολο των μαθητών που απάντησαν, θεωρεί να δρουν στο φύλλο χαρτιού δύο δυνάμεις, η βαρύτητα και «η δύναμη της ατμοσφαιρικής πίεση που αντιστέκεται» στην πρώτη. Η ατμοσφαιρική πίεση φαίνεται στην σκέψη αυτών των μαθητών να δρα μόνο στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού, και προφανώς να έχει κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω.

Στον τύπο απαντήσεων Γ, που αναφέρεται από το 7,9% των μαθητών που απάντησαν, γίνεται αναφορά σε τρεις παράγοντες, στην ατμοσφαιρική πίεση, την άνωση και το βάρος. Η άνωση όπως προκύπτει από τις διατυπώσεις των απαντήσεων δρα προς τα πάνω και εξισορροπεί το βάρος του χαρτιού ή την ατμοσφαιρική πίεση. Συνεπώς και στο μοντέλο αυτό υπονοείται ότι η ατμοσφαιρική πίεση δρα στο χαρτί μόνο από πάνω προς τα κάτω.

Πίνακας 8 Α. Συνοπτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων ανά τάξη στην ερώτηση 8.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	α' γυμν.	β' γυμν.	Α' λύκ.
	(N=153)	(N=151)	(N=99)
	Ποσοστό %		
Απαντούν	27,4	25,8	58,6
1. Η ατμοσφαιρική πίεση στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού εξισορροπούνται.	19,0	17,9	17,2
2. Λόγω της έλξης της γης στο χαρτί (το χαρτί έχει βάρος).	30,9	23,1	10,3
3. Η ατμοσφαιρική πίεση / δεν το επηρεάζει / δεν είναι τόσο δυνατή.	11,9	17,9	20,7
4. Το φύλλο χαρτιού έχει μεγάλη επιφάνεια / είναι ελαφρύ / έχει μικρό όγκο.	9,5	15,4	17,2
5. Στο φύλλο ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο.	2,4	2,6	12,1
6. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση και το βάρος του χαρτιού υπάρχει και η άνωση.	9,5	5,1	8,6
7. Η βαρύτητα και η ατμοσφαιρική πίεση κρατούν το χαρτί οριζόντιο.	0,0	5,1	5,2
Αταξινόμητες	16,7	12,8	8,6

Στις περιπτώσεις των τύπων των απαντήσεων Δ και ΣΤ οι μαθητές αναφέρουν χαρακτηριστικά του χαρτιού και του άμεσου περιβάλλοντός του. Στον τύπο των απαντήσεων Δ, που δίνεται από το 17,3%, γίνεται αναφορά σε δύο δυνάμεις στη δύναμη του χεριού μας που κρατάει το χαρτί και στη δύναμη από την ατμοσφαιρική πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να θεωρηθεί εδώ ότι δρα από πάνω προς τα κάτω και είναι κατά τους μαθητές «μηδαμινή». Αν και η διατύπωση της ερώτησης, «γιατί παρά την ατμοσφαιρική πίεση μπορούμε...» υπονοεί τη μεγάλη τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης ( $10^5 \text{ N/m}^2$ , που αντιστοιχεί στην πίεση που ασκεί ένα σώμα μάζας 10 tn) αυτό φαίνεται να μην έγινε αντιληπτό από κανένα μαθητή. Η μεγάλη τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης όχι μόνο δε λαμβάνεται υπ' όψιν, αλλά από τους μαθητές που δίνουν τον τύπο της απάντησης Δ θεωρείται ότι έχει πάρα πολύ μικρή τιμή.

Είναι πολύ πιθανόν να ασκηθεί κριτική στον τρόπο που διατυπώθηκε η ερώτηση, αφού «για να κρατήσουμε οριζόντιο το χαρτί» πρέπει να ασκούμε σ' αυτό μια προς τα πάνω δύναμη, δεδομένο που εισάγει «θόρυβο». Αν κρατούσαμε το φύλλο χαρτιού από την άκρη της μιας πλευράς του κατακόρυφα και ρωτούσαμε, γιατί παρά την ατμοσφαιρική πίεση παραμένει κατακόρυφο, η ασκούμενη από το χέρι μας δύναμη δε θα έπαιξε πιθανώς ρόλο, ενδεχομένως και η άνωση. Όμως, και αν έτσι διατυπώνονταν η ερώτηση είναι πολύ πιθανόν όταν θα επεξεργαζόμαστε τις απαντήσεις των μαθητών να προέκυπτε κάποια ανάλογη κριτική. Η επιλογή της διατύπωσης μας υπαγορεύτηκε από την εικόνα 4 (σ. 89) στο βιβλίου του μαθητή «Ερευνώ το φυσικό κόσμο, δεύτερο μέρος» της Ε' τάξης του δημοτικού, ώστε οι μαθητές να βοηθηθούν στην απάντηση, ανακαλώντας κάποια παρόμοια εικόνα.

Η περίπτωση Ε, αναφέρεται από το 6,5% των μαθητών. Η στατική κατάσταση του χαρτιού, που το κρατάμε οριζόντιο, ανακαλεί στη σκέψη των μαθητών την συνθήκη ισορροπίας υλικού σημείου και ισχυρίζονται ότι «στο χαρτί ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο», χωρίς να τις αναφέρουν.

Στην περίπτωση ΣΤ, που δίνεται από το 14,4% των μαθητών που απάντησαν, γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί η τιμή της ατμοσφαιρική πίεση με χαρακτηριστικά του φύλλου χαρτιού. Για τους μαθητές αυτούς μπορούμε και κρατάμε το χαρτί οριζόντιο γιατί η ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται σ' αυτό «είναι αμελητέα», «επειδή το χαρτί έχει μεγάλη επιφάνεια» ή «μικρό όγκο» ή «είναι λεπτό». Προφανώς το μοντέλο αυτό θεωρεί την ατμοσφαιρική πίεση να ασκείται μόνο από πάνω προς τα κάτω και γίνεται ανάκληση της μαθηματικής έκφρασης του τύπου ορισμού της πίεσης, ως πηλίκο δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας, στη μεγάλη επιφάνεια του χαρτιού αντιστοιχεί μικρή πίεση.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις γίνεται αναφορά άμεσα ή έμμεσα στην ατμοσφαιρική πίεση, ως η μια πλευρά της σχέσης, και στην άλλη πλευρά παραθέτουν, τη βαρύτητα, την άνωση, τη δύναμη από το χέρι μας, άλλες δυνάμεις, ιδιότητες της επιφάνειας του χαρτιού. Από τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι, οι μαθητές δεν έχουν μια σαφή αντίληψη για το πώς ασκείται η ατμοσφαιρική πίεση σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στην ατμόσφαιρα.

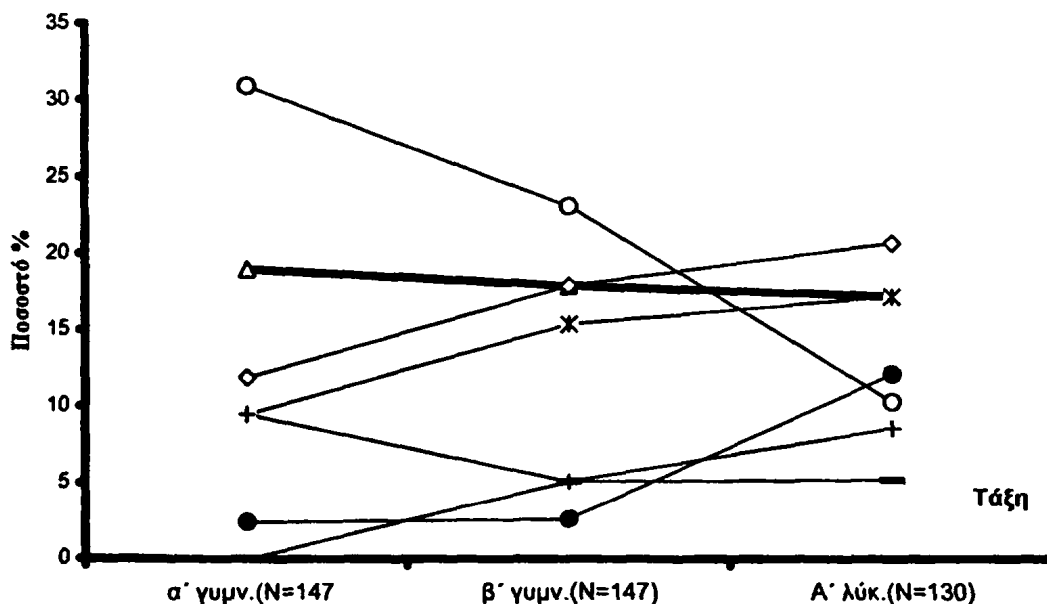
Στην τελευταία περίπτωση απαντήσεων, περίπτωση Η, που δίνεται από το 17,9% των μαθητών που απάντησαν, και με ποσοστά που δεν διαφέρουν σημαντικά για τους



μαθητές των τριών τάξεων (19,0%, 17,9% και 17,2%) γίνεται σαφή αναφορά σε δύο πιέσεις που αντισταθμίζονται και ασκούνται στις δύο επιφάνειες του χαρτιού. Οι μαθητές της περίπτωσης αυτής κατέχουν ένα σύνθετο μοντέλο και αντιλαμβάνονται την κατάσταση ισορροπίας ενός λεπτού φύλλου μέσα στον αέρα ως αποτέλεσμα της εξισορρόπησης των ίσων ατμοσφαιρικών πιέσεων που ασκούνται στις δύο επιφάνειές του.

Από τις παραπάνω αναφερθείσες απαντήσεις φαίνεται να υπάρχει σύγχυση μεταξύ της πίεσης που ασκεί μια δύναμη πάνω σε μια στερεά επιφάνεια και της πίεσης που ασκεί μια εξωτερική δύναμη σε ένα ρευστό που βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο. Σπάνια τα σχολικά βιβλία μπαίνουν σε μια τέτοια διευκρίνιση, έτσι οι μαθητές μεταφέρουν ότι έμαθαν για την πίεση που ασκείται σε μια στερεή επιφάνεια και στην περίπτωση των ρευστών. Στην πρώτη περίπτωση η έννοια της πίεσης είναι ισοδύναμη με την «ανηγμένη δύναμη» ανά μονάδα επιφάνειας, ως εκ τούτου δεν καλείται πίεση αλλά τάση, καταπόνηση, θλίψις κλπ, διότι έχει σαφώς χαρακτήρα δύναμης. Ο όρος πίεση αναφέρεται μόνον στα ρευστά (Κουγιουμζέλης & Περιστεράκης, 1969, σ. 337).

Γράφημα 8Α. Ποσοστό % των απαντήσεων ανά τύπο απάντησης και ανά τάξη, στην ερώτηση 8.



- ▲ Η ατμοσφ. πίεση στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού εξισορροπούνται
- Λόγω της έλξης της γης στο χαρτί
- ◇ Η ατμοσφ. πίεση / δεν το επηρεάζει / δεν είναι τόσο δυνατή
- × Το φύλλο χαρτιού έχει μεγάλη επιφάνεια / είναι ελαφρύ / έχει μικρό όγκο
- + Εκτός από την ατμοσφ. πίεση και το βάρος του χαρτιού υπάρχει και η άνωση
- Στο φύλλο ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο
- Η βαρύτητα και η ατμοσφ. πίεση κρατούν το χαρτί οριζόντιο

Στην περίπτωση των ρευστών η δύναμη που εφαρμόζεται σε έμβολο που φράσσει δοχείο που περιέχει ρευστό, αν διαιρεθεί με το εμβαδόν της επιφάνειας του εμβόλου καθορίζει μια πίεση η οποία θα ευρεθεί σε όλο το ρευστό ( $P=F/A$ ). Η πίεση στα ρευστά είναι καταστατικό μέγεθος και στερείται διευθύνσεως, εκφράζεται δε με τη δύναμη η οποία λόγω της πίεσης εμφανίζεται να δρα πάντοτε κάθετα στη θεωρούμενη επιφάνεια, με την οποία το ρευστό βρίσκεται σε επαφή και ανεξάρτητα του προσανατολισμού της. Επιπλέον, άπαξ και ένα ρευστό βρεθεί υπό πίεση θα ασκηθούν επί των τοιχωμάτων του δοχείου που βρίσκεται, δυνάμεις κάθετες προς αυτά και αυτές θα είναι τόσο μεγαλύτερες, όσο η πίεση ή το εμβαδόν της επιφάνειας είναι μεγαλύτερα ( $F= P.A$ ).

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Από την παρουσίαση των απαντήσεων των μαθητών στις τρεις ερωτήσεις που αναφέρονται στην ατμοσφαιρική πίεση, προκύπτει ότι οι μαθητές, σε πολύ μεγάλη ποσοστά, στην πρώτη βαθμίδα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έχουν δυσκολία να κατανοήσουν την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης και να την εφαρμόσουν για να απαντήσουν σε προβλήματα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση που ασκεί ο αέρας που περιέχεται σε κλειστές επιφάνειες καθώς και με τον τρόπο που η ατμοσφαιρική πίεση δρα σε ένα σώμα που βρίσκεται μέσα στον αέρα.

Οι τρεις ερωτήσεις ετέθησαν συνολικά σε 1198 μαθητές και από αυτούς έδωσαν απαντήσεις (αποδεκτές και μη αποδεκτές) σε ποσοστό 42,9% και εξ' αυτών των απαντήσεων μόνο το 25,05% είναι αποδεκτές.

Πίνακας 9. Ποσοστά μαθητών ανά τάξη που απαντούν στην ομάδα Γ των ερωτήσεων.

Ερώτηση	α' γυμν.	β' γυμν.	Α' λυκ.
<b>ΟΜΑΔΑ Γ - Βασικές ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης</b>			
6. Μεταβολή της ατμοσφ. πίεσης με την απόσταση από την επιφ. της Γης	43,0	45,3	66,7
7. Γιατί η ατμοσφ. πίεση δεν τσαλακώνει ένα φουσκωμένο μπαλόνι	29,2	52,4	58,2
8. Γιατί παρά την ατμοσφ. πίεση μπορούμε να κρατήσουμε οριζόντιο ένα φύλλο χαρτιού	27,4	25,8	58,6
<b>Συνολικό ποσοστό απαντήσεων</b>	<b>33,4</b>	<b>41,1</b>	<b>60,7</b>

Από τη σύγκριση της διαφοράς δύο ποσοστών σε δύο ανεξάρτητα δείγματα (πίνακας 9), με εφαρμογή του κριτηρίου Z προκύπτει ότι, το ποσοστό των μαθητών της Α' λυκείου που απαντά σε κάθε ερώτηση παρουσιάζει διαφορά σε σχέση με τους μαθητές της α' γυμνασίου που είναι στατιστικά σημαντική ( $Z=3,591$ ,  $Z=4,586$ ,  $Z=4,945$ ,  $p<0,01$ ,



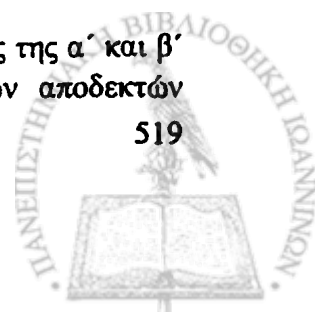
για τις ερωτήσεις 6, 7, 8, αντίστοιχα.). Όμως τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων που δίνουν οι μαθητές της Α΄ Λυκείου σε σχέση με τους μαθητές της α΄ γυμνασίου διαφέρουν στατιστικά μόνο για την ερώτηση 7 ( $Z=2,552$ ,  $p<0,05$ ) και στο σύνολο των τριών ερωτήσεων ( $Z=1,716$ ,  $p<0,1$ ).

Τα ποσοστά των μαθητών της Α΄ Λυκείου που δίνουν απαντήσεις σε σχέση με τα ποσοστά της β΄ γυμνασίου διαφέρουν στατιστικά μόνο στις ερωτήσεις 6 και 8 ( $Z=3,217$ ,  $Z=5,205$ ,  $p<0,01$ , για τις ερωτήσεις 6 και 8 αντίστοιχα) καθώς και στο σύνολο των ερωτήσεων ( $Z=5,211$ ,  $p<0,01$ ). Τα ποσοστά δε των αποδεκτών απαντήσεων, για τους μαθητές των παραπάνω τάξεων, διαφέρουν στατιστικά μόνο στην περίπτωση της ερώτησης 7 ( $Z=4,160$ ,  $p<0,1$ ) και στο σύνολο των ερωτήσεων ( $Z=2,699$ ,  $p<0,01$ ). Μεταξύ των μαθητών της α΄ και β΄ γυμνασίου, τα ποσοστά των μαθητών που δίνουν απαντήσεις διαφέρουν στατιστικά μόνο στην περίπτωση της ερώτησης 7 ( $Z=4,047$ ,  $p<0,01$ ) και στο σύνολο των απαντήσεων ( $Z=2,397$ ,  $p<0,05$ ), ενώ τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων για τους μαθητές των παραπάνω τάξεων σε καμιά από τις ερωτήσεις της ομάδας Γ δεν διαφέρουν στατιστικά.

- Πίνακας 10. Ποσοστά μαθητών ανά ερώτηση και ανά τάξη που έδωσαν αποδεκτές απαντήσεις στη ομάδα Γ των ερωτήσεων. Αναφέρονται επιπλέον οι πιο «δημοφιλείς» λανθασμένες (Δ.Λ.) αιτιολογήσεις.

Ερώτηση	α΄ γυμν.	β΄ γυμν.	Α΄ Λυκ.
<b>ΟΜΑΔΑ Γ - Βασικές ιδιότητες της ατμοσφαιρικής πίεσης</b>			
6. Μεταβολή της ατμοσφ. πίεσης με την απόσταση από την επιφ. της Γης Αποδεκτή (Δ. Λ.) Η ατμοσφ. πίεση αυξάνεται γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο.	32,4	33,8	41,7
7. Γιατί η ατμοσφ. πίεση δεν τσαλακώνει ένα φουσκωμένο μπαλόνι Αποδεκτή (Δ. Λ.) Το μπαλόνι περιέχει αέρα. Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί πίεση/δύναμη	14,0	7,8	36,7
8. Γιατί παρά την ατμοσφ. πίεση μπορούμε να κρατήσουμε οριζόντιο ένα φύλλο χαρτιού Αποδεκτή (Δ. Λ.) Λόγω έλξης της Γης/ το χαρτί έχει βάρος Η ατμοσφαιρική πίεση δεν το επηρεάζει / είναι αμελητέα	19,0	17,9	17,2
Ποσοστό αποδεκτών απαντήσεων στην ομάδα Γ	23,5	19,6	32,0

Οι μαθητές της α΄ λυκείου παρουσιάζουν σε σχέση με τους μαθητές της α΄ και β΄ γυμνασίου βελτίωση, όμως στις ερωτήσεις 6 και 8 τα ποσοστά των αποδεκτών



απαντήσεων δεν διαφέρουν σημαντικά. Η κατανόηση της μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος και η αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής με μια επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σ' αυτή φαίνεται να είναι ιδιαίτερα δυσνόητη για τους μαθητές.

Στην ερώτηση 6, η δημοφιλέστερη λανθασμένη απάντηση, «η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο» απαντάται και στους μαθητές των τριών τάξεων. Οι μαθητές που δίνουν αυτό τον τύπο απάντησης ξεκινούν από τη γνώση, ότι όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, «το οξυγόνο ελαττώνεται». Όμως η σύνδεση της ελάττωσης του οξυγόνου με την ελάττωση της ατμοσφαιρικής πίεσης, απαιτεί μια εικόνα της διαστρωμάτωσης της γήινης ατμόσφαιρας, που συμπεριλαμβάνει την ελάττωση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με το ύψος και επιπλέον, ότι στο «στατικό» υπολογισμό της ατμοσφαιρικής πίεσης λαμβάνουμε υπόψη το βάρος των στρωμάτων της ατμόσφαιρας από το ύψος αυτό και πάνω. Έτσι η μη ορθή συσχέτιση της μείωσης του οξυγόνου με το ύψος, οδηγεί ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών να ισχυρίζεται ότι σ' αυτό οφείλεται η μείωση της πυκνότητας (πίνακας 6Α, περίπτωση 2) και ένα άλλο επίσης σημαντικό ποσοστό στην αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης (πίνακας 6Α, περίπτωση 6).

Πολύ λίγοι δάσκαλοι συνειδητοποιούν, αναφέρει ο Bigge, «το γεγονός ότι κάθε επιμέρους απομνημονευμένο στοιχείο γνώσης μένει εντελώς γυμνό από κάθε νόημα, αν οι μαθητές δεν έχουν καταλάβει πως αυτό το επιμέρους στοιχείο υπάγεται σε μια γενικότερη αρχή και σημασιοδοτείται από αυτή, δηλαδή παίρνει το νόημα της. Ένα στοιχείο γνώσης πρέπει να θεωρηθεί είτε ότι στηρίζει είτε ότι βάζει σε αμφισβήτηση κάποια αρχή, γιατί αλλιώς αυτό το επιμέρους γνωριστικό στοιχείο μένει χωρίς νόημα». (Bigge, 1990, σ. 427)

Στην ερώτηση 7, από το 45,3% στο σύνολο των μαθητών που απαντούν το 18,9% δίνει αποδεκτές απαντήσεις. Η δημοφιλέστερη ελλιπής απάντηση για τους μαθητές της α' και β' γυμνασίου, με πολύ υψηλά ποσοστά (πίνακας 10) είναι «το μπαλόνι περιέχει αέρα», όπου οι μαθητές λαμβάνουν υπόψη τους μόνο ένα προφανή παράγοντα. Οι μαθητές της α' λυκείου αναφέρουν με μεγαλύτερη συχνότητα «ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί πίεση/ δύναμη». Η απάντηση αυτή αν και είναι πιο προχωρημένη σε σχέση με εκείνη των μαθητών των μικρότερων τάξεων, αγνοεί την ύπαρξη της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στην ερώτηση 8, που είναι πιο απαιτητική από τις δύο προηγούμενες απαντά το 34,5% στο σύνολο του δείγματος και εξ' αυτών δίνει αποδεκτές απαντήσεις το 17,9%. Οι δημοφιλέστερες λάθος απαντήσεις για τους μαθητές της α' και β' γυμνασίου, δείχνουν ότι οι μαθητές εστιάζουν την σκέψη τους στην ελκτική δύναμη της Γης που δέχεται το φύλλο χαρτιού, υπονοώντας ότι η ατμοσφαιρική δύναμη δρα μόνο στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού με κατεύθυνση προς τα πάνω. Οι μαθητές της α' λυκείου σε αντίθεση με τους μαθητές των δύο μικρότερων τάξεων αναφέρονται στην ατμοσφαιρική πίεση, αλλά θεωρούν ότι αυτή δεν επηρεάζει το φύλλο χαρτιού γιατί «είναι αμελητέα». Φαίνεται ότι δεν αρκεί η συνειδητοποίηση ύπαρξης της ατμοσφαιρικής πίεσης, αλλά εξίσου σημαντική για την εφαρμογή της έννοιας αυτής και η τιμή της.

Τα μικρά ποσοστά των μαθητών που κατανοούν την έννοια της ατμοσφαιρικής



πίεσης και μπορούν να την εφαρμόζουν για να απαντήσουν σε πραγματικά προβλήματα, αναδεικνύουν ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι δυσπρόσιτη. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της εξωτερικής ατμοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης του αέρα στο εσωτερικό κλειστών δοχείων, η αλληλεπίδραση στήλης υγρού με την ατμοσφαιρική πίεση καθώς και η πίεση που ασκεί αέριο που είναι περιορισμένο σε ορισμένο χώρο, είναι ζητήματα με τα οποία οι μαθητές θα πρέπει να εμπλακούν για να κατανοήσουν την έννοια της πίεσης. Τα παιδιά φαίνεται να βρίσκουν δυσκολία στο να μετατοπίσουν την εστίαση τους από τα άμεσα και προφανή χαρακτηριστικά του αέρα στην ατμοσφαιρική πίεση.

Σε μια τυπική διδασκαλία η παρουσίαση μιας σειράς γεγονότων, περιγραφών και ορισμών δεν είναι αρκετή για την κατανόηση των εννοιών. Η παρουσίαση και η διερεύνηση απλών πειραμάτων με υλικά από το περιβάλλον της καθημερινής ζωής, όπως αυτά που περιγράφουν οι τεθείσες ερωτήσεις φέρνουν τους μαθητές αντιμέτωπους με κάτι προβληματικό γι' αυτούς λόγω των ατελών τους γνώσεων ή λόγω της πολυπλοκότητας που εμπεριέχει μια πειραματική ή πραγματική κατάσταση. Στο πλαίσιο μιας τέτοιας διδακτικής μεθοδολογίας οι μαθητές εξετάζουν τα υπάρχοντα δεδομένα και τις γενικεύσεις που έχουν στη διάθεσή τους και στηριζόμενοι σ' αυτά αναζητούν νέα γεγονότα, συνδέσεις σχέσεων και γενικεύσεις.

Μια τέτοια προσέγγιση αναβαθμίζει το ρόλο του μαθητή που καθιστά τη διδασκαλία μαθητοκεντρική, επιπλέον αναβαθμίζεται και το περιεχόμενο των μαθησιακών δραστηριοτήτων. Ο προβληματισμός που αναπτύσσεται στην αίθουσα διδασκαλίας κινητοποιεί το ενδιαφέρον των μαθητών και μέσα από διαδικασίες αλληλεπικοινωνίας με τα δεδομένα, τη μαθητική ομάδα και τη διαμεσολάβηση του διδάσκοντος ενεργοποιεί τις ανώτερες πνευματικές ικανότητες (κριτική σκέψη, φαντασία, επινόηση, δημιουργικότητα) των εμπλεκομένων. Επίσης το κλίμα που δημιουργείται στη τάξη, στο πλαίσιο μιας τέτοιας διερευνητικής διδασκαλίας σπάει τη μονοτονία της δασκαλοκεντρικής διδασκαλίας, αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών, είναι περισσότερο κριτική και διεισδυτική, καθώς και πιο ανοιχτή σε νέες και πρωτότυπες ιδέες. (Bigge, 1982, σ. 426-432 και Ματσαγγούρας, 1998, 297-300).

Μέσα από μια τέτοια διδακτική μεθοδολογία ενισχύεται η κατανόηση των εννοιών και ο μαθητής ασκείται στο να εφαρμόζει με τρόπο παραγωγικό ένα πλέγμα επιμέρους γεγονότων και εννοιών στο πλαίσιο κάποιων γενικών αρχών.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 6B.** Αναλυτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 6

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ	α' γυμν.	β' γυμν.	Α' Λυκ.
	N=158	N=150	N=90
Ποσοστό %			
Απαντούν	43,0	45,3	66,7
<b>A. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται επειδή ελαττώνεται η πυκνότητα του αέρα</b>	<b>16,2</b>	<b>13,2</b>	<b>28,3</b>
Επειδή ο αέρας είναι αραιός, τα μόρια αραιώνουν/			
1. Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα ελαττώνεται.			
2. Γιατί όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε / τόσο λιγότερος αέρας υπάρχει / δεν υπάρχει αέρας. / λιγοστεύει η μάζα του αέρα			
3. Γιατί ο αέρας είναι βαρύτερος μένει χαμηλά στη γη.			
<b>B. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται</b>	<b>10,3</b>	<b>11,8</b>	<b>11,7</b>
1. Γιατί το οξυγόνο λιγοστεύει, όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε			
2. Γιατί στη γη υπάρχει πολύ οξυγόνο και λίγο άζωτο. / Όσο πιο ψηλά πηγαίνουμε ελαττώνεται το οξυγόνο και αυξάνεται το άζωτο.			
3. Γιατί όσο ανεβαίνουμε προς το διάστημα δεν υπάρχει οξυγόνο και αναπνέουμε πιο πολύ			
4. Γιατί από την ατμόσφαιρα και μετά το οξυγόνο ελαττώνεται, τα άλλα αέρια αυξάνουν.			
<b>Γ. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί απομακρυνόμαστε από την έλξη της γης</b>	<b>5,9</b>	<b>8,8</b>	<b>18,3</b>
1. Γιατί παύει να υπάρχει βαρύτητα, φεύγουμε από την έλξη της γης.			
2. Γιατί απομακρυνόμαστε από το κέντρο της γης / από την επιφάνεια της γης.			
3. Η βαρύτητα ελαττώνεται γι' αυτό και στο διάστημα δεν υπάρχει βαρύτητα.			
4. Γιατί όσο πιο ψηλά πηγαίνουμε το ίδιο το βάρος ελαττώνεται.			
<b>Δ. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί απομακρυνόμαστε από την ατμόσφαιρα της γης</b>	<b>13,2</b>	<b>7,3</b>	<b>1,7</b>
1. Γιατί όσο ψηλότερα ανεβαίνουμε τόσο πιο κοντά στο διάστημα βρισκόμαστε και στο διάστημα δεν υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση.			
2. Γιατί όσο ανεβαίνουμε φεύγουμε από την ατμοσφαιρική πίεση και ο άνθρωπος δεν μπορεί να ζήσει χωρίς την ατμόσφαιρα.			
3. Γιατί αρχίζουμε να βγαίνουμε έξω από την γη, έξω από τα σύννεφα.			
4. Γιατί απομακρυνόμαστε από την ατμόσφαιρα της γης.			
5. Από ένα ύψος και μετά η ατμόσφαιρα αρχίζει να χάνεται.			
<b>Ε. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται γιατί αλλάζουν τα στρώματα τις ατμόσφαιρας</b>	<b>7,3</b>	<b>4,4</b>	<b>8,3</b>
1. Η γη περιέχει διάφορα στρώματα αέρα που όσο πιο πάνω πας, τόσο η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται.			
2. Τα στρώματα τις ατμόσφαιρας δεν είναι τόσο πυκνά όσο πηγαίνουμε ψηλότερα			
3. Η αέρια στήλη είναι μικρότερη σε μεγάλο ύψος			
4. Όλο και πιο πολύ μικραίνουν τα στρώματα του αέρα			



<b>ΣΤ. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί ελαττώνεται το οξυγόνο</b>	11,8	16,2	11,7
1. Γιατί το οξυγόνο λιγοστεύει όσο πιο ψηλά ανεβαίνουμε.			
2. Γιατί από την ατμόσφαιρα και μετά το οξυγόνο ελαττώνεται ενώ τα άλλα αέρια αυξάνουν.			
3. Γιατί δεν υπάρχει οξυγόνο.			
<b>Η. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί συναντάμε διαφορετικά στρώματα ατμόσφαιρας</b>	13,2	8,8	3,3
1. Γιατί όσο ανεβαίνουμε βρισκόμαστε διαφορετικά / καινούργια στρώματα αέρα.			
2. Γιατί ανεβαίνουμε πιο κοντά / πάνω στην ατμόσφαιρα.			
3. Διότι τα στρώματα του αέρα είναι μεγαλύτερα και πιο χοντρά.			
4. Γιατί η ατμόσφαιρα αποτελείται από διαφορετικά κομμάτια από τα οποία το καθένα ασκεί διαφορετική πίεση.			
<b>Θ. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος</b>	5,9	5,9	8,3
1. Γιατί όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα δεχόμαστε μεγαλύτερη πίεση.			
2. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με το ύψος.			
<b>Ι. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί υπάρχει περισσότερος αέρας</b>	2,9	11,8	1,7
1. Γιατί ο αέρας γίνεται πιο πυκνός όσο αναβαίνουμε / η ατμόσφαιρα γίνεται πιο πυκνή			
2. Γιατί όσο πάμε πιο ψηλά τόσο περισσότερο αέρα έχει.			
3. Γιατί όλος ο ατμοσφαιρικός αέρας ανεβαίνει προς τα πάνω			
<b>Κ. Η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται λόγω της ελκτικής δύναμης της γης</b>	5,9	5,9	3,3
1. Όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται γιατί σε τραβάει η γη με τη βαρύτητα.			
2. Γιατί έχει την ιδιότητα να έλκει όλα τα σώματα προς αυτή.			
3. Γιατί η γη έλκει προς τα κάτω και όταν ένα σώμα πάει προς τα πάνω πέφτει. Τα διαστημόπλοια ανεβαίνουν προς τα πάνω με μεγάλη ταχύτητα και περνούν την ατμοσφαιρική πίεση.			
<b>Αταξινόμητες</b>	7,3	5,9	3,3

**Πίνακας 7B.** Αναλυτική παρουσίαση των τύπων των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 7

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ	α' γυμν.	β' γυμν	Α' λύκ.
	N=147	N=147	N=103
Ποσοστό%			
Απαντούν	29,2	52,4	58,2
<b>A. Το μπαλόνι έχει στο εσωτερικό του αέρα</b>	<b>32,6</b>	<b>42,8</b>	<b>11,7</b>
1. Το μπαλόνι έχει στο εσωτερικό του αέρα / είναι γεμάτο αέρα / είναι φουσκωμένο αέρα.			
2. Ο αέρας του μπαλονιού εμποδίζει τον αέρα της ατμόσφαιρας εκτός και αν αφήσουμε το στόμιο του μπαλονιού.			
3. Ο αέρας που υπάρχει στο μπαλόνι μοιράζεται σ' όλο το μπαλόνι.			
<b>B. Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί δύναμη και εξισορροπεί την ασκούμενη από τον εξωτερικό αέρα</b>	<b>7,0</b>	<b>0,0</b>	<b>11,7</b>
1. Δημιουργούνται και από μέσα στο μπαλόνι δυνάμεις, έτσι συγκρούονται με τις δυνάμεις του αέρα απ' έξω / Δημιουργείται αντίσταση από τον αέρα που υπάρχει στο εσωτερικού του μπαλονιού.			
2. Μέσα στα τοιχώματα του μπαλονιού ασκείται ίση δύναμη από τον αέρα που υπάρχει σ' αυτό / Οι εσωτερικές δυνάμεις που ασκεί ο αέρας στα εσωτερικά τοιχώματα του μπαλονιού αντιστέκονται στην εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι οι δύο δυνάμεις αντισταθμίζονται και αποφεύγεται η τσαλάκωση του μπαλονιού.			
<b>Γ. Ο αέρας μέσα στο μπαλόνι ασκεί πίεση / δύναμη</b>	<b>16,3</b>	<b>14,3</b>	<b>16,6</b>
1. Το φουσκωμένο μπαλόνι είναι γεμάτο αέρα οπότε υπάρχει και μέσα σ' αυτό πίεση.			
2. Στο μπαλόνι υπάρχει αέρας ο οποίος / πιέζει τα τοιχώματα του μπαλονιού / ασκεί πίεση στα τοιχώματα του μπαλονιού.			
3. Ο αέρας στο εσωτερικό του μπαλονιού ασκεί επίσης πίεση προς τα έξω.			
4. Γιατί στο μπαλόνι υπάρχει αέρας και από το εσωτερικό του ασκεί δύναμη / ωθεί προς τα έξω / Λόγω της δύναμης που ασκεί ο αέρας που υπάρχει μέσα στο μπαλόνι.			
<b>Δ. Αναφέρονται μόνο στην ατμοσφαιρική πίεση</b>	<b>16,2</b>	<b>10,4</b>	<b>10,0</b>
1. Η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται από όλες τις μεριές η ίδια και όχι μόνο απ' τη μια.			
2. Γιατί η ατμοσφαιρική πίεση είναι πάρα πολύ μικρή / δεν είναι τόσο μεγάλη.			
3. Η πίεση αυτή είναι η ίδια σ' όλα τα σημεία του μπαλονιού / Το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του.			
<b>Ε. Πίεση ασκείται και από τις δύο επιφάνειες του μπαλονιού</b>	<b>7,0</b>	<b>7,8</b>	<b>25,0</b>
1. Ο αέρας που υπάρχει στο μπαλόνι ασκεί και αυτός πίεση στα τοιχώματα κι έτσι οι δύο πιέσεις εξουδετερώνονται / αντισταθμίζονται.			
2. Το μπαλόνι περιέχει αέρα οπότε στο εσωτερικό του δημιουργείται πίεση προς τα έξω και από έξω προς τα μέσα, έτσι έχουμε ισορροπία.			
3. Το μπαλόνι δέχεται πιέσεις εσωτερικά από τον αέρα που έχει μέσα και εξωτερικά από την ατμοσφαιρική πίεση.			
4. Στο μπαλόνι υπάρχει αέρας ο οποίος ασκεί πίεση προς τα έξω ίδια / μεγαλύτερη / με την εξωτερική ατμοσφαιρική			



<b>ΣΤ. Αναφέρονται σε ιδιότητες του μπαλονιού</b>	<b>9,3</b>	<b>9,1</b>	<b>11,6</b>
1. Το φουσκωμένο μπαλόνι είναι πιο ελαφρύ από την πίεση που υπάρχει στην ατμόσφαιρα.			
2. Το μπαλόνι είναι στρογγυλό και ασκείται η ίδια πίεση σ' όλα τα μέρη του / σ' όλη την επιφάνεια του.			
3. Το μπαλόνι είναι ελαστικό και ξαναγυρίζει την ατμοσφαιρική πίεση / Το μπαλόνι αφήνει να περάσει η ατμοσφαιρική πίεση.			
<b>Η. Αναφέρονται σε ιδιότητες του αέρα που περιέχεται στο μπαλόνι</b>	<b>7,0</b>	<b>5,2</b>	<b>6,7</b>
1. Γιατί το μπαλόνι περιέχει / ζεστό αέρα / διοξείδιο του άνθρακα / οξυγόνο.			
2. Ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο μπαλόνι / είναι συμπιεσμένος, ενώ ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι αραιός και έχει μικρότερη δύναμη / μοιράζεται σ' όλο το μπαλόνι.			
3. Ο αέρας που βρίσκεται μέσα στο μπαλόνι έχει αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.			
<b>Θ. Αναφορά στην μοριακή δομή του περιεχόμενου αέρα</b>	<b>2,3</b>	<b>0,0</b>	<b>3,3</b>
1. Τα μόρια του αέρα που υπάρχει μέσα σ' αυτό ασκούν πίεση.			
2. Τα μόρια του αέρα στο μπαλόνι κινούνται και το μπαλόνι παραμένει φουσκωμένο.			
<b>Αταξινόμητες</b>	<b>2,3</b>	<b>10,4</b>	<b>3,3</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8B.** Αναλυτική παρουσίαση των απαντήσεων των μαθητών ανά τάξη στην ερώτηση 8.

ΤΥΠΟΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ	α' γυμν.	β' γυμν.	Α' Λύκ.
	N=153	N=151	N=99
Ποσοστό %			
Απαντούν	27,4	25,8	58,6
<b>A. Λόγω της έλξης της γης στο χαρτί / το χαρτί έχει βάρος</b>	<b>30,9</b>	<b>23,1</b>	<b>10,3</b>
1. Εξαιτίας της βαρύτητας έλκεται από την γη			
2. Η γη έχει την ιδιότητα να έλκει τα πράγματα			
3. Οφείλεται στο βάρος του χαρτιού			
4. Λόγω της γης που έλκει το χαρτί απ' όλες τις πλευρές			
<b>B. Η βαρύτητα και η ατμοσφαιρική πίεση κρατούν το χαρτί οριζόντιο</b>	<b>0,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,2</b>
1. Η βαρύτητα αντιστέκεται στην δύναμη της ατμοσφαιρικής πίεσης			
2. Η έλξη της γης είναι πιο δυνατή από την ατμοσφαιρική πίεση			
3. Το βάρος του χαρτιού είναι μικρότερο από την ατμοσφαιρική πίεση			
4. Δεν ασκείται σ' αυτό μόνο η ατμοσφαιρική πίεση αλλά και το βάρος του			
<b>Γ. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση και το βάρος του χαρτιού υπάρχει και η άνωση</b>	<b>9,5</b>	<b>5,1</b>	<b>8,6</b>
1. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση υπάρχει και η άνωση του αέρα που σπρώχνει το σώμα προς τα πάνω			
2. Το βάρος του χαρτιού είναι αμελητέο και η άνωση που δέχεται είναι συγκρίσιμη με το βάρος του			
3. Οφείλεται στην άνωση του αέρα			
4. Ο αέρας που περνάει από κάτω ανασηκώνει το φύλλο χαρτιού και το κρατάει προς τα πάνω			
<b>Δ. Η ατμοσφαιρική πίεση / δεν το επηρεάζει / δεν είναι τόσο δυνατή</b>	<b>11,9</b>	<b>17,9</b>	<b>20,7</b>
1. Η ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι τόσο ισχυρή / είναι μηδαμινή			
2. Η πίεση του χεριού μας εξουδετερώνει την ατμοσφαιρική πίεση			
3. Η ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι τόσο δυνατή ώστε να μην μπορούμε να κρατήσουμε ένα λεπτό φύλλο οριζόντιο			
<b>Ε. Στο φύλλο ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>12,1</b>
1. Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο φύλλο είναι αντίθετες και εξουδετερώνονται			
2. Εκτός από την ατμοσφαιρική πίεση ασκούνται και άλλες δυνάμεις που το βοηθούν να κρατιέται οριζόντιο			
3. Υπάρχει και η αντίσταση του αέρα / ασκούνται σ' αυτό παράλληλες δυνάμεις			



<b>ΣΤ. Το φύλλο χαρτιού έχει μεγάλη επιφάνεια / είναι ελαφρύ / έχει μικρό / όγκο</b>	<b>9,5</b>	<b>15,4</b>	<b>17,2</b>
1. Η επιφάνεια του είναι μεγάλη και η ατμοσφαιρική πίεση που ασκείται δεν είναι τόσο ισχυρή / είναι αμελητέα			
2. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ανάλογη με τον όγκο του σώματος και το σώμα έχει ελάχιστο όγκο			
3. Το λεπτό φύλλο έχει μεγάλη επιφάνεια αλλά μηδαμινό βάρος έτσι η ατμοσφαιρική πίεση είναι αμελητέα			
4. Το φύλλο χαρτιού είναι λεπτό και η ατμοσφαιρική πίεση δεν το επηρεάζει.			
<b>Η. Η ατμοσφαιρική πίεση στην πάνω και στην κάτω επιφάνεια του χαρτιού εξισορροπούνται</b>	<b>19,0</b>	<b>17,9</b>	<b>17,2</b>
1. Το χαρτί δέχεται την ίδια πίεση και στο κάτω και στο πάνω μέρος του και έτσι ισορροπεί			
2. Το χαρτί δέχεται ατμοσφαιρική πίεση απ' όλες τις επιφάνειες του			
3. Υπάρχει και η ατμοσφαιρική πίεση κάτω από το χαρτί και αντισταθμίζει την ατμοσφαιρική πίεση από πάνω			
4. Το χαρτί δέχεται ατμοσφαιρική πίεση απ' όλες τις επιφάνειες του			
<b>Αταξινόμητες</b>	<b>16,7</b>	<b>12,8</b>	<b>8,6</b>

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αλεξόπουλος, Β., Θεριανός, Ο., Κώνστας, Κ. (1994). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο- Φυσικά ΣΤ' Τάξης, πρώτο και δεύτερο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
2. Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπεροπούλου, Σ., Σπηλιώτης, Μ. (1993). Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο- Φυσικά Ε' Τάξης, πρώτο και δεύτερο μέρος. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
3. Ζενάκος, Α., Λεκάτης, Ν., Σχοινάς, Α. (1994). Φυσική Α', Β' Γυμνασίου. Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.
4. Καραπιτέρης, Α. (1967). Περιγραφική μετεωρολογία, Αθήνα.
5. Κουγιουμζέλης, Θ. Γ., Περιστεράκης, Σ. Γ. (1969). Στοιχεία φυσικής (τόμος Ι – Μηχανική & Θερμότητα). Εκδ. 7<sup>η</sup>, Αθήνα.
6. Κυριαζόπουλος, Β. Δ., Λιβαδάς, Γ. Κ. (1974). Πρακτική μετεωρολογία. Εκδ. 3<sup>η</sup>, Θεσσαλονίκη.
7. Ματσαγγούρας, Η. (1998). Οργάνωση και διεύθυνση της σχολικής τάξης – Εφαρμογές της σύγχρονης διδακτικής. Εκδ.: Μ. Π. Γρηγόρης. Αθήνα.
8. Σπυροπούλου, Δ. (1994). Καιρικά φαινόμενα – πως τα αντιλαμβάνονται οι μαθητές. Φυσικός Κόσμος 144, 14-15. Εκδ. της Ε.Ε.Φ., Αθήνα.
9. Τσαπαρλής, Γ., Καμπουράκης, Κ. (2003). Εισαγωγή στις φυσικές επιστήμες (Φυσική – Χημεία), για την Α' τάξη γυμνασίου. Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων – Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (Ενέργεια 1.1.α – Προγράμματα – Βιβλία – Έργο Σ.Ε.Π.Π.Ε.). Ιωάννινα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Arons, A. B. (1990). A guide to introductory physics teaching. John Wiley & Sons, Inc. (Για την ελληνική γλώσσα: Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής. Μετάφ.: Α. Βαλαδάκης, Εκδ. Τροχαλία, 1992, Αθήνα).
2. Basca, B. B., Grotzer, T. A. (2001). Focusing on the nature of causality in a unit on pressure: How does it affect students understanding? Presented at the American Educational Research Association (AERA), Seattle, April 10-14.
3. Bell-Basca, B., Grotzer, T. A., Donis, K., & Shaw, S. (2000). Using domino and relational causality to analyze ecosystem: realizing that what goes around comes around. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans, L.A.
4. Benson, D. L., Wittrock, M. C. & Bauer, M. E. (1993). Students' perceptions of the nature of gases. Journal of Research in Science Teaching, 30(6), 587-597.
5. Bigge, M. L. (1982). Learning theories for teachers. Harper & Row, Publishers, Inc. (Στην ελληνική: Θεωρίες μάθησης για εκπαιδευτικούς. Μετάφ.: Α. Κάντας και Α. Χαντζή. Εκδ. Παττάκη, Αθήνα 1986).
6. Brook, A., Driver, R. (1988). Progression in Science: The development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16 years. Leeds: University of Leeds, Children's Learning in Science Project.



7. **Borghi, L., DeAmbrosis, A., Massara, C. I., Grossi, M. G., Zoppi, D. (1988).** Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education*, Vol. 10, No. 2, 179-188.
8. **Carey, S. (1985a).** Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? In S. Chipman, J. Segal and R. Glaser (eds), *Thinking and Learning Skills*, Vol. 2 (Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum), 485-514.
9. **Carey, S. (1986b).** Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41 (10), 1123-1130.
10. **Crombie, A. (1979).** Augustino to Galileo - Science in Later Middle Ages and Early Modern Times, 13<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> centuries). Vol. II. Heinemann Education Books, London. (Από τον Αυγουστίνο στο Γαλιλαίο - Η Επιστήμη στον Ύστερο Μεσαίωνα και στις αρχές των Νέων Χρόνων, 13<sup>ος</sup> -17<sup>ος</sup> αιώνας. Τόμος Β', Μετάφρ. στα ελληνικά: Μ. Ιατρίδου, Δ. Κούρτοβικ., Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης: Αθήνα 1992).
11. **DeBerg, K. C. (1995).** Student understanding of the volume, mass, and pressure of air within a sealed syringe in different states of compression. *Journal of Research in Science Teaching*. 23(8), 871-884.
12. **DeBerg, K. C. (1992).** Students thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: The semi-quantitative context. *International Journal of Science Education*. 14(3), 295-303.
13. **EngelClough, E., Driver, R. (1985).** What do children understanding about pressure in fluids, *Research in Science & Technological Education?* 3(2), 133-144.
14. **EngelClough, E., Driver, R. (1986).** A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*. 70(4), 473-496.
15. **Demastes, S., Good, R., Peebles, P. (1995).** Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666.
16. **DiSessa, A. (1988).** Knowledge in pieces. In G. Forman and P. B. Pufall (eds), *Constructivism in the Computer Age* (Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum), 49-70.
17. **DiSessa, A. (1993a).** Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(23), 105-226.
18. **Garnett, P. J., Garnett, P. J., Hacking, M. W. (1995).** Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education* 25, 69-95.
19. **Ginns, I. S., Watters, J. J. (1995).** An analysis of scientific understandings of preservice elementary teacher education students. *Journal of Research in Science Teaching*. 32(2), 205-222.
20. **Gough, J. (1981).** The origins of Lavoisier's theory of gaseous state. Ithaca.
21. **Grotzer, T.A., Sudbury, M. (2000).** Moving beyond underlying linear models of electrical circuits. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans, L.A.
22. **Hanson, R N. (1958).** Patterns of discovery. Cambridge University Press.
23. **Hanson, R N. (1969).** Perception and discovery. Freeman Cooper & Co., San Francisco.
24. **Kariotoglou, P., Psillos, D. (1993).** Pupils pressure models and their implication for instruction. *Research in Science & Technological Education*. 11(1), 95-108.





25. **Kunh, T. S. (1959).** The essential tension: Tradition and innovation in scientific research. Reprinted in his "The Essential Tension, University of Chicago Press, pp. 225-239.

26. **McClelland, J. (1987).** Pressure points. *Physics Education*. 22, 107-109.

27. **Miller, F. (1987).** J. Priestley, preeminent amateur chemist. *Journal of Chemical Education*, 64 (9), 745-747.

28. **Moyle, R. (1980).** Weather. LISP working paper 21, Science Education Research Unit, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.

29. **Newton, D. P., Newton, L. D. (2000).** Do teachers support causal understanding through their discourse when teaching primary science? *British Educational Research Journal*. 26 (5), 599-613.

30. **Perkins, D. N., Grotzer, T. A. (2000).** Models and moves: Focusing on dimensions of complex causality to achieve deeper scientific understanding. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans, L.A.

31. **Piaget, J. (1929).** The child's conception of the world. Routledge and Kegan Paul: London.

32. **Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982).** Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66, 211-227.

33. **Rollnick, M., Rutherford, M. (1990).** African primary school teachers – what do they hold on air and air pressure? *International Journal of Science Education*. 12(1), 101-113.

34. **Rollnick, M., Rutherford, M. (1993).** The use of a conceptual change model and mixed language strategy for remediating misconceptions on air. *International Journal of Science Education*, 15 (4), 363-381.

35. **Sere, M. (1982).** A study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (aged 11-13) when they interpret experiments about air pressure. *European Journal of Science Education* (4), 299-309.

36. **Sere, M. (1986).** Children's conception of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education* 8(4), 314-425.

37. **Shepardson, D. P., Moj, E. B., Kennard-McClelland, A. M. (1994).** The impact of a science demonstration on children's understanding of air pressure. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 243-258.

38. **Solomon, J. (1989).** The big squeeze. Association for Science Education, Hatfield.

39. **Stavy, R. (1990).** Children's conception of changes in the state of matter: from liquid or solid to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.

40. **Sutton, C. (1992).** Words, Science and Learning. Open University Press: Buckingham. (Οι λέξεις, οι Φυσικές Επιστήμες και η Μάθηση. Μετάφ.: Μ. Ν. Κασούτας – Δ. Π. Λαθούρης. Εκδ. Τυπωθήτω, 2002, Αθήνα.)

41. **Tsaparlis, G., Kampourakis, C. (1999).** An integrated physical-science (physics and chemistry) introduction for lower-secondary level) grade 7). 5<sup>th</sup> ECRICE, Programme and Book of Abstracts, p. 103. Ioannina: University of Ioannina. and full paper in CERAPIE (Chemistry Education Research and Practice in Europe), Vol. 1, No. 2, pp. 281-294.



42. Tyler, R. (1998). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*. Vol. 20, No. 8, 929-958.

43. Tyler, R. (1992). Children's explanations of air pressure generated by small group activities. *Research in Science Education*. 22, 393-402.

44. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.



## ΠΡΟΕΡΕΥΝΑ ΙΙΙ

**Εκτίμηση της εννοιολογικής κατανόησης μαθητών (α' λυκείου) της αέριας κατάστασης - έμφαση στην ατμοσφαιρική πίεση με τη χρήση πειραμάτων επίδειξης**

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανόηση των θεμελιωδών ιδιοτήτων της αέριας κατάστασης είναι ένας από τους στόχους της διδασκαλίας των φυσικών μαθημάτων στη μέση εκπαίδευση. Σε μαθητές που είχαν διανύσει την α' λυκείου έγινε επίδειξη δύο πειραμάτων που σχετίζονται κυρίως με έννοιες της αέριας κατάστασης καθώς και με την ατμοσφαιρική πίεση. Οι γραπτές απαντήσεις-ερμηνείες των πειραμάτων από τους μαθητές ταξινομήθηκαν σε ομάδες και αυτές περαιτέρω σε κατηγορίες με εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης περιεχομένου. Από την ανάλυση των απαντήσεων προέκυψε ότι οι μαθητές, αν και ευρίσκοντο στην ίδια τάξη κατείχαν ένα ευρύ φάσμα ιδεών οι οποίες εκτεινόταν από πρωτογενείς διαισθητικές μέχρι επιστημονικά αποδεκτές. Η στάση των μαθητών απέναντι στη διαδικασία αυτή υπήρξε πολύ θετική και φαίνεται να δημιουργεί ένα εποικοδομητικό διδακτικό κλίμα.

**Λέξεις κλειδιά:** Ατμοσφαιρική πίεση, καύση, υγροποίηση υδρατμών, διαφορά πίεσης, κενό, διαφορά θερμοκρασίας, πείραμα επίδειξης

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα έρευνα γίνεται μια απόπειρα να εκτιμηθεί η εννοιολογική κατανόηση μαθητών α' λυκείου, εννοιών που αναφέρονται στην αέρια κατάσταση και ιδιαίτερα η αλληλεπίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης με την πίεση αερίου στο εσωτερικό κλειστού δοχείο. Για το σκοπό αυτό επιδείχθηκαν στους μαθητές δύο πειράματα και στη συνέχεια ζητήθηκε να διατυπώσουν γραπτώς τις ερμηνείες των πειραμάτων που παρακολούθησαν. Οι ερμηνείες των μαθητών ταξινομήθηκαν σε ομάδες και η κάθε ομάδα σε κατηγορίες με βάση τα κοινά εννοιολογικά χαρακτηριστικά που παρουσίασαν. Οι ομάδες διατάχθηκαν με κριτήριο την απόστασή τους από τη επιστημονικά αποδεκτή ερμηνεία.

Επιπλέον καταγράφεται η στάση των μαθητών απέναντι στο πείραμα επίδειξης και η ικανότητα τους να παρατηρούν, να περιγράφουν τις παρατηρήσεις τους χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λεξιλόγιο και να συνάγουν ερμηνείες και συμπεράσματα. Οι απαντήσεις-ερμηνείες των μαθητών είναι αναμενόμενο να ξετυλίγουν τις



εναλλακτικές τους ιδέες που σχετίζονται με φαινόμενα που εμπεριέχουν τα πειράματα. Οι ιδέες αυτές, ως εννοιολογικά εμπόδια, επισημαίνονται για την συναγωγή συμπερασμάτων που συμβάλουν στη βελτίωση της διδασκαλίας.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τα δύο πειράματα ήταν απλά ώστε να μη διαχέεται η προσοχή των μαθητών σε περιφερειακές εντυπώσεις. Οι ερμηνείες των πειραμάτων απαιτούν κατανόηση της αέριας κατάστασης και επιπλέον να λάβουν υπόψη τους οι μαθητές την ύπαρξη και τη δράση της ατμοσφαιρικής πίεσης.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### Η επίδειξη πειράματος ως εργαλείο μάθησης

Οι επιδείξεις πειραμάτων χρησιμοποιούνται πάρα πολλά χρόνια στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (Radford, et al., 1995, Angelo & Cross, 1993, Deese, et al., 2000, Bowen & Phelps, 1997). Σε μαθητές, των κατώτερων βαθμίδων εκπαίδευσης (δημοτικό και γυμνάσιο), που έρχονται για πρώτη φορά αντιμέτωποι με μια συστηματική μελέτη του φυσικού κόσμου τα πειράματα μπορούν να παίξουν πολλαπλούς ρόλους στη μάθηση των φυσικών μαθημάτων.

- Να διεγείρουν το ενδιαφέρον των μικρών μαθητών.
- Να δημιουργήσουν αξιομνημόνευτες εικόνες.
- Να θέσουν ερωτήματα προς συζήτηση.
- Να εισάγουν τους μαθητές στη διαδικασία της ακριβούς παρατήρησης καθώς και σε μια πρώτη απόπειρα καταγραφής και ερμηνείας των φαινομένων που παρατήρησαν.

Σε μεσαίες βαθμίδες εκπαίδευσης, όπως στη λυκειακή, τα πειράματα επίδειξης, εξακολουθούν να παίζουν τους παραπάνω ρόλους. Επιπλέον όμως παρουσιάζονται για να διευκρινίσουν θεμελιώδεις χημικές αρχές, να προάγουν τη συζήτηση που συσχετίζει μακροσκοπικές παρατηρήσεις με τη μοριακή και εν γένει υπομικροσκοπική δομή της ύλης καθώς και να υποβοηθήσουν τη συμβολική αναπαράσταση και έκφραση των νόμων που περιγράφουν ποσοτικά τα φαινόμενα.

Το μοντέλο διδασκαλίας, που περιλαμβάνει επίδειξη πειραμάτων - συζήτηση, σπάει τη μονοτονία του παραδοσιακού μοντέλου της διδασκαλίας-διάλεξης και κάνει τη διδακτική εμπειρία πιο ευχάριστη. Επιπροσθέτως ενθαρρύνει την ανάπτυξη μιας πιο προσωπικής σχέσης μεταξύ του δασκάλου και του μαθητή και επιτρέπει στους μαθητές να κάνουν μια καλύτερη σύνδεση μεταξύ πειράματος και όσων έχουν διδαχθεί στην αίθουσα διδασκαλίας.

Η παρουσίαση πειραμάτων από τους διδάσκοντες και η εν συνεχεία περιγραφή και ερμηνεία τους από τους μαθητές έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εννοιολογικής τους κατανόησης καθώς και για την εκτίμηση της κριτικής τους σκέψης (Radford et al., 1995). Σε ένα τέτοιο μοντέλο διδασκαλίας και μάθησης ο δάσκαλος διαπιστώνει το επίπεδο των υπαρχουσών γνώσεων καθώς και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Η μάθηση στην περίπτωση αυτή είναι μια ερμηνευτική διαδικασία που συμπεριλαμβάνει ατομική δόμηση και κοινωνική συνεργασία (Tobin et al., 1990, p. 411).



Η παρουσίαση πειραμάτων και στη συνέχεια η αξιολόγηση και ερμηνεία τους μπορεί επίσης να δράσει ανατροφοδοτικά και να επηρεάσει τη διδασκαλία. Ο δάσκαλος π.χ. μπορεί να παρέχει επιπρόσθετες εμπειρίες που θα βελτιώσουν την κατανόηση των μαθητών. Η εκτίμηση του επιπέδου μάθησης των μαθητών είναι μια διαδικασία που είναι αμοιβαία επωφελής για τους διδάσκοντες και για τους διδασκόμενους (Angelo & Cross, 1993).

Σύμφωνα με τους Steadman και Sviwicki (1998) τρεις διαδικασίες κλειδιά είναι απαραίτητες για να οικοδομήσουν οι μαθητές συνδέσεις μεταξύ των εννοιών.

1. Να εστιάζουν την προσοχή τους σε πληροφορίες που πρέπει να μαθευτούν.
2. Να κωδικοποιούν τις πληροφορίες μέσα από καλά οργανωμένες διαδικασίες που περιλαμβάνουν λεπτομερή ανάπτυξη των εννοιών με δικά τους λόγια και να δημιουργούν αξιομνημόνευτες οπτικές εικόνες.
3. Να προάγουν την ικανότητα των μαθητών για να μπορούν να παρακολουθούν την δική τους μάθηση (μεταγνώση).

Η επίδειξη πειραμάτων και στην συνέχεια η αξιολόγηση και ερμηνεία τους από τους μαθητές, ενσωματώνει και τις τρεις αυτές διαδικασίες κλειδιά.

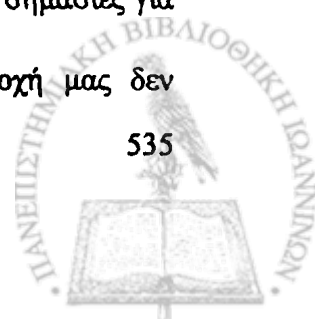
Η έρευνα έχει δείξει ότι οι σπουδαστές που παίρνουν μέρος σε συζητήσεις επίδειξης πειραμάτων κερδίζουν μεγαλύτερη εννοιολογική κατανόηση μιας σειράς μαθημάτων απ' ό,τι μια ισοδύναμη ομάδα που παρακολουθεί μια παραδοσιακή διδασκαλία-διάλεξη (Deese, et al., 2000). Οι Bowen και Phelps (1997) αναφέρονται σε σπουδαστές που εργάζονταν σε συνεργαζόμενες ομάδες για να απαντήσουν σε ερωτήσεις που βασιζόνταν σε επίδειξεις πειραμάτων. Υπογραμμίζουν ότι στην περίπτωση αυτή δεν εκτιμάται μόνο η αποτελεσματικότητα του τρόπου παρουσίασης των πειραμάτων, ως εργαλεία μάθησης, αλλά η μέθοδος καθ' εαυτή επαυξάνει την εννοιολογική κατανόηση και την κριτική σκέψη των μαθητών.

### **Η παρατήρηση σε σχέση με τη διδασκαλία και τη μάθηση**

Η παρατήρηση ως δεξιότητα σχετίζεται άμεσα με τη νοητική λειτουργία της αντίληψης και συνίσταται στη συνειδητή επικέντρωση της προσοχής του ατόμου σε ένα αντικείμενο με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών μέσω των αισθήσεων (Ματσαγγούρας, 1998, σ. 464). Πρόκειται για φυσική δεξιότητα, που έχει όμως ανάγκη εξάσκησης για να αποβεί συστηματική και ακριβής. Η σημασία και ο ρόλος της συστηματικής παρατήρησης και καταγραφής βρίσκεται στον πυρήνα της επιστημονικής διαδικασίας και η σημερινή πρόοδος της επιστήμης και της τεχνολογίας προήλθε από την συσσώρευση συστηματικών και επίπονων παρατηρήσεων των επιστημόνων στους αιώνες που προηγήθηκαν.

Οι Gunstone και White (1981) επισημαίνουν ότι ένα σημαντικό στοιχείο που αγνοείται στη διδασκαλία της επιστήμης είναι ότι, ενώ η επιστήμη εμπλέκει παρατηρήσεις, αυτές επηρεάζονται από την θεωρία. Άτομα που έχουν διαφορετικές πεποιθήσεις θα δουν διαφορετικά πράγματα και θα δομήσουν διαφορετικές σημασίες για το τι αυτοί βλέπουν.

Ο Neisser (1976) υποστήριξε ότι, όταν παρατηρούμε, η προσοχή μας δεν



φιλτράρει τις πληροφορίες αλλά ψάχνει ενεργά βασιζόμενη στις προηγούμενες εμπειρίες και στις προσδοκίες μας. Ο αντιληπτικός κύκλος δείχνει ότι δεν προσλαμβάνουμε απλώς πληροφορίες παθητικά. Αναπτύσσουμε προβλεπτικά σχήματα (anticipatory schema), τα οποία μας προμηθεύουν με ένα είδος «σχεδίου» για το τι είναι πιθανό να συμβεί. Αυτό μας καθοδηγεί στο να επιλέξουμε τι θα προσλάβουμε από το περιβάλλον μας. Με τη σειρά της, η πληροφορία που προσλαμβάνουμε προσαρμόζεται και διαφοροποιεί τα νοητικά σχήματά μας και καθορίζει τι θα ψάξουμε στην συνέχεια. Η πληροφορία, που θα προσελκύσει την αντίληψη μας, στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι εκείνη που αντιφάσκει ή διαφωνεί με ένα προβλεπτικό σχήμα και αυτό μας κάνει να επαναπροσδιορίσουμε την προσοχή μας.

Ο Spaw (1993) επισημαίνει ότι «ένα μεγάλο μέρος των ατομικών διαφορών, που παρατηρούνται μεταξύ των μαθητών στη διαδικασία της μάθησης, οφείλονται στο γεγονός ότι μερικοί μαθητές είναι παθητικοί παρατηρητές και πέφτουν θύματα της οργάνωσης του πεδίου, ενώ άλλοι που είναι ενεργητικοί παρατηρητές έχουν την ικανότητα να αναλύουν τα στοιχεία του πεδίου». Οι διαφοροποιήσεις όμως αυτές δεν έχουν γενετική βάση αλλά είναι αποτέλεσμα της μάθησης. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί και πρέπει η δεξιότητα της παρατήρησης να αποτελεί αντικείμενο διδασκαλίας. Η χρήση σχημάτων και γραφικών οργανωτών αποτελεί καλό μέσο για τη διδασκαλία των διαδικασιών παρατήρησης, συλλογής και καταχώρησης στη μνήμη πληροφοριακών στοιχείων (Clarke, 1990, σ. 68).

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### Υποκείμενα της έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε δύο διαδοχικές σχολικές χρονιές, προς το τέλος των σχολικών ετών 2000-01 και 2001-02, με μαθητές της α' λυκείου (μέση ηλικία 16 ετών). Οι μαθητές που αποτέλεσαν το δείγμα μας προέρχονταν από πέντε διαφορετικά σχολεία.

Το πρώτο πείραμα επίδειξης (πείραμα α), σύνθλιψη αλουμινένιου κουτιού, παρακολούθησαν 143 μαθητές, από πέντε διαφορετικά λύκεια. Ένα τμήμα μαθητών προέρχονταν από λύκειο αστικής περιοχής, ένα τμήμα από λύκειο αγροτικής και τέσσερα τμήματα από τρία διαφορετικά λύκεια ημιαστικής περιοχής. Το δεύτερο πείραμα (πείραμα β), καύση κεριού που στηρίζεται σε δοχείο με νερό και είναι καλυμμένο με ανεστραμμένο κύλινδρο συλλογής αερίων, παρακολούθησαν 107 μαθητές, εκ των 143 που παρακολούθησαν το πρώτο πείραμα. Ο μικρότερος αριθμός μαθητών στο δεύτερο πείραμα οφείλεται στη μη συμμετοχή ενός τμήματος από λύκειο ημιαστικής περιοχής. Η κατανομή των μαθητών που πήραν μέρος στην έρευνα για κάθε πείραμα και ανά περιοχή που βρίσκεται το σχολείο παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).



**Πίνακας 1.** Ποσοστιαία κατανομή του αριθμού των μαθητών του δείγματος ανά πείραμα και ανά περιοχή σχολείου.

Σχολείο	Πείραμα α (N=143)	Πείραμα β (N=107)
Αστικής περιοχής	20,3	27,1
Ημιαστικής περιοχής	69,2	58,9
Αγροτικής περιοχής	10,5	14,0

Στα σχολεία αυτά η διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων γίνεται με την παραδοσιακή μέθοδο της διδασκαλίας-διάλεξης, δεν διαθέτουν οργανωμένα εργαστήρια και η παρουσίαση πειραμάτων από τους διδάσκοντες είναι σπάνια. Γενικά το πείραμα δεν συμμετέχει συστηματικά στη διδασκαλία. Η παραπάνω μέθοδος διδασκαλίας εξακολουθεί να είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση και ιδιαίτερα στην λυκειακή βαθμίδα εκπαίδευσης. Οι μαθητές λουπόν, που πήραν μέρος στην έρευνα δεν είχαν αντιμετωπίσει παρόμοια διαδικασία.

#### Εκτέλεση των πειραμάτων

Σε όλα τα τμήματα έγινε η επίδειξη των δύο πειραμάτων χωρίς να έχει γίνει προηγουμένως κάποια προετοιμασία ή προειδοποίηση των μαθητών. Σε τρία σχολεία η επίδειξη έγινε από τον γράφοντα (Κ. Καμπουράκης), που δεν δίδασκε στα σχολεία αυτά, με την παρουσία του καθηγητή που δίδασκε το μάθημα της χημείας. Στα υπόλοιπα σχολεία η επίδειξη έγινε από τον καθηγητή που δίδασκε το μάθημα της χημείας, αφού προηγουμένως είχε συστηματικά καθοδηγηθεί από τον γράφοντα για την επίδειξη και για την όλη διαδικασία που θα ακολουθούσε.

Στην αρχή ο διδάσκων καθηγητής εξήγησε στους μαθητές ότι αντί για το μάθημα που είχαν, θα γίνει παρουσίαση κάποιων πειραμάτων και ζήτησε την προσοχή των μαθητών. Επειδή οι επιδείξεις έγιναν στην αίθουσα διδασκαλίας, πριν την επίδειξη έγινε κάποια μετακίνηση καθισμάτων και θρανίων ώστε όλοι οι μαθητές να μπορέσουν να τα παρακολουθούν με άνεση. Τα δύο πειράματα που παρουσιάστηκαν εμπειρείχαν ένα στοιχείο έκπληξης που να προκαλεί τη σκέψη των μαθητών.

Το πρώτο πείραμα που παρουσιάστηκε, ήταν η σύνθλιψη αλουμινένιου κουτιού. Σε ένα άδειο κοινό αλουμινένιο κουτί αναψυκτικού των 0,33 L που από την πάνω επιφάνειά του είχε αφαιρεθεί το άνοιγμα προστέθηκε μικρή ποσότητα νερού, περίπου 20 ml με τη βοήθεια μικρού ογκομετρικού κυλίνδρου. Στη συνέχεια το κουτί θερμάνθηκε κοντά στη βάση του με τη φλόγα ενός λύχνου Bunsen μέχρις ότου όλη η ποσότητα του νερού ατμοποιήθηκε. Οι εξερχόμενοι υδρατμοί ήταν ορατοί στους μαθητές. Στη συνέχεια το κουτί βυθίστηκε ανεστραμμένο, σε γυάλινο δοχείο με κρύο νερό και παγάκια. Το κουτί συνεθλίβη με ένα χαρακτηριστικό και αναπάντεχο ήχο για τους μαθητές. Στην αίθουσα επικράτησε ενθουσιασμός και ζωηρό ενδιαφέρον. Σε όλη τη διαδικασία, η οποία διάρκεσε περίπου πέντε λεπτά, το μόνο που ζητήθηκε από τους μαθητές ήταν να παρατηρούν προσεχτικά την επίδειξη του πειράματος.



Δεδομένης της απουσίας εμπειρίας των μαθητών σε πειράματα επίδειξης η πρώτη επίδειξη θεωρήθηκε ως προσαρμοστική. Για να επιτευχθεί καλύτερη εστίαση της προσοχής των μαθητών το πείραμα επαναλήφθηκε δύο φορές, από δύο διαφορετικές ομάδες μαθητών (ένα αγόρι και ένα κορίτσι) οι οποίοι κατά την εκτέλεση των πειραμάτων εξηγούσαν στους συμμαθητές τους τι ακριβώς έκαναν. Με την επανάληψη του πειράματος από τους μαθητές ενισχύονται οι οπτικές εικόνες και βοηθούνται οι μαθητές να μετατοπιστούν από την κατάσταση του θεατή σε εκείνη του παρατηρητή και επιπλέον να εδραιώσουν τη σειρά των γεγονότων που αυτοί παρακολούθησαν.

Στη συνέχεια μοιράστηκε σε κάθε μαθητή ένα φύλλο, στο οποίο οι μαθητές έπρεπε να συμπληρώσουν τα ατομικά τους στοιχεία και να απαντήσουν στην παρακάτω ερώτηση. «Στο πείραμα που παρακολούθησες, θερμάναμε το αλουμινένιο κουτί, μέχρις ότου όλη η μικρή ποσότητα νερού, που είχαμε βάλει σ' αυτό, να μετατραπεί σε ατμό. Κατόπιν, όπως παρατήρησες γυρίσαμε ανάποδα το κουτί βυθίζοντας το μεγαλύτερο μέρος του μέσα σε δοχείο με κρύο νερό. Το κουτί τσαλακώθηκε. Γιατί κατά την γνώμη σου συνέβη αυτό;» Δόθηκε χρόνος δέκα λεπτά για να διατυπώσουν την εξήγησή τους και τα φύλλα μαζεύτηκαν.

Ακολούθησε η επίδειξη του δεύτερου πειράματος. Στον πυθμένα ενός στεγνού κρυσταλλωτήριου στερεώθηκε ένα λεπτό κερί ύψους περίπου 8 cm. Στη συνέχεια προστέθηκε νερό μέχρι η στάθμη του να ανέβει 1,5 cm περίπου από τη βάση του κρυσταλλωτηρίου και το κερί ανάφθηκε. Όταν η φλόγα του κεριού σταθεροποιήθηκε καλύφθηκε με ένα κύλινδρο συλλογής αερίων που το ανοιχτό του άκρο ήταν σε επαφή με τον πυθμένα του κρυσταλλωτηρίου. Η φλόγα του κεριού διατηρήθηκε για λίγο και κατόπιν έσβησε, ταυτόχρονα η στάθμη του νερού στο σωλήνα ανέβηκε.

Το πείραμα επαναλήφθηκε, όπως και το πρώτο πείραμα, δύο φορές από μαθητές και ξαναμοιράστηκαν τα φύλλα στους μαθητές, όπου στην πίσω σελίδα τώρα εξητείτο να απαντήσουν στο παρακάτω ερώτημα. «Όπως παρατήρησες, μόλις η φλόγα του κεριού έσβησε, η στάθμη του νερού ανέβηκε στο γυάλινο κύλινδρο. Γιατί κατά τη γνώμη σου συνέβη αυτό;». Ο χρόνος για να διατυπώσουν την εξήγησή τους ήταν και για το δεύτερο πείραμα δέκα λεπτά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η συμμετοχή των μαθητών στην παραπάνω περιγραφείσα διαδικασία δεν είχε γι' αυτούς εξωτερικό κίνητρο, προσδοκώμενη αμοιβή (π.χ. βαθμολόγηση ή κάποια μορφή διάκρισης). Η θετική στάση όμως των μαθητών σε όλη την διάρκεια της διαδικασίας και το ενδιαφέρον που έδειξαν για τις εξηγήσεις των πειραμάτων μετά το τέλος της προαναφερθείσας διαδικασίας βεβαιώνουν ότι οι επιδείξεις των πειραμάτων αυτών δημιούργησαν μια «συντηρούμενη προσοχή» (Hayes, 1993, σ. 12). Επιπλέον, επειδή τα έργα που τους ζητήθηκαν να ερμηνεύσουν δεν είχαν προφανή απάντηση, αυτό ενίσχυσε την προσπάθειά τους. Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ότι το κίνητρο για τις απαντήσεις που μας έδωσαν είναι εσωτερικό (Deci, 1972 a, b). Ο μαθητής αποπειράται να δοκιμάσει τις μεταγνωστικές του ικανότητες, και να εκτιμήσει τη μάθηση του καθ'εαυτή. Μια τέτοια διαδικασία έχει ιδιαίτερη σημασία για μαθητές λυκειακής βαθμίδας και για φοιτητές, όπου το ζητούμενο είναι να επιδίδονται σε έργα μάθησης για την αξία που αυτά έχουν, και που δεν είναι άμεσα ορατή σ' αυτούς η εξωτερική αμοιβή,





κάτι που είναι πιο σύνθητες σε μαθητές των πρώτων βαθμίδων εκπαίδευσης (Κωσταρίδου-Ευκλείδη, 1997, σ. 201-209).

### ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η ερμηνεία και των δύο πειραμάτων προϋποθέτει ότι ο μαθητής έχει εδραιωμένη την αντίληψη της παρουσίας του αέρα σε κλειστά και ανοιχτά δοχεία, των βασικών φυσικών ιδιοτήτων των αερίων (συμπιεστότητα, ελαστικότητα, εκτατικότητα, βάρος), τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα και το ρόλο του οξυγόνου στην καύση. Επιπλέον ότι ο αέρας, και γενικά τα αέρια, ασκούν πιεστική δύναμη κάθετη στα τοιχώματα των δοχείων που περιέχονται με φορά από μέσα προς τα έξω, καθώς και σε κάθε επιφάνεια με την οποία έρχονται σε επαφή. Οι υδρατμοί, που περιέχονται σε ένα κλειστό δοχείο ως αέριο, ασκούν πίεση, και όταν υγροποιούνται με ψύξη η πίεση στο χώρο ελαττώνεται. Ο μαθητής επιπροσθέτως πρέπει να αναγνωρίζει την ύπαρξη της ατμοσφαιρικής πίεσης και να λαμβάνει υπόψη του ότι ασκεί πίεση στις επιφάνειες με τις οποίες έρχεται σε επαφή και να έχει μια αντίληψη της τιμής της.

- Οι επιμέρους έννοιες, που εμπλέκονται στο πρώτο πείραμα, όπως η ατμοποίηση του νερού με θέρμανση σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική, η συμπύκνωση των υδρατμών, όταν ψυχθούν, η ύπαρξη της ατμοσφαιρικής πίεσης και η παραμόρφωση ενός δοχείου λόγω διαφοράς πίεσης μέσα και έξω απ' αυτό, είναι γνωστές στους μαθητές α' λυκείου από πολλαπλές εκθέσεις σ' αυτές όχι μόνο στο μάθημα της χημείας αλλά και από άλλα μαθήματα, όπως στη φυσική, στη βιολογία και γενικά από τα φυσιογνωστικά μαθήματα από το δημοτικό σχολείο. Όμως η μείωση της πίεσης σε ένα κλειστό χώρο που περιέχει μεγάλη ποσότητα υδρατμών και μικρή ποσότητα αέρα, λόγω απότομης ψύξης, και η συσχέτισή της με τη σταθερή εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση, για να εξηγηθεί η σύνθλιψη του κουτιού, απαιτεί ένα εννοιολογικό άλμα και ικανότητα τυπικής συλλογιστικής.

Στο δεύτερο πείραμα εμπλέκεται το φαινόμενο της καύσης, η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, και η ελάττωση της πίεσης στο εσωτερικό ενός κλειστού δοχείου λόγω ελάττωσης της ποσότητας του αερίου που περιέχει. Φαινόμενα επίσης γνωστά στους μαθητές από πολλαπλές παρουσιάσεις τους στα φυσικά μαθήματα από τις τελευταίες τάξεις του δημοτικού σχολείου μέχρι την α' λυκείου. Περαιτέρω όμως η συσχέτιση της μείωσης της πίεσης στο εσωτερικό του κυλίνδρου λόγω συμμετοχής του οξυγόνου στην καύση του κεριού με τη σταθερή εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση, για να ερμηνευτεί η άνοδος της στάθμης του νερού στο κύλινδρο, είναι και στην περίπτωση του δεύτερου πειράματος ένα ποιοτικό άλμα που ασφαλώς δεν είναι αναμενόμενο να γίνει από μεγάλο ποσοστό μαθητών.

Και στις δύο περιπτώσεις πειραμάτων ένα αποδεκτό ερμηνευτικό μοντέλο σαφώς θα πρέπει να αναφέρεται στη διαφορά πίεσης ως αιτία σύνθλιψης του κουτιού ή ανόδου της στάθμης του νερού στον ανεστραμμένο σωλήνα. Ας σημειωθεί ότι οι μαθητές του δείγματος είχαν διδαχθεί πρόσφατα στοιχεία από την κινητική θεωρία των αερίων, το νόμο του Ανογάδο, τους νόμους των αερίων και την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων.



## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ-ΕΡΜΗΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

### Ανάλυση περιεχομένου

Για την επεξεργασία, μελέτη και ομαδοποίηση των απαντήσεων-ερμηνειών των μαθητών, εφαρμόσαμε την μέθοδο της ανάλυσης περιεχομένου (content analysis). Η ανάλυση περιεχομένου θεωρείται από τις πιο αξιόλογες ερευνητικές τεχνικές, χρησιμοποιεί ένα σύνολο διαδικασιών κατηγοριοποίησης για να εξάγει συμπεράσματα από δεδομένα (κείμενο ή εικόνες ή προφορικό λόγο) που προκύπτουν από διάφορες περιστάσεις επικοινωνίας, σε σχέση με το γλωσσικό ή εικονικό περιβάλλον που βρίσκονται (Roberts, 1997). Η μέθοδος συνδυάζει ποιοτικές (προσδιορίζει κατηγορίες) και ποσοτικές (προσδιορίζει αριθμούς μέσα στις κατηγορίες) πλευρές. Οι κατηγορίες πρέπει να εξαντλούνται και αμοιβαία να αποκλείονται (Hodson, 1999, Weber, 1990).

Οι γραπτές απαντήσεις-ερμηνείες των μαθητών αριθμήθηκαν και στη συνέχεια μελετήθηκαν ανεξάρτητα από δύο έμπειρους εκπαιδευτικούς (Κ. Καμπουράκης, Κ. Γεωργούση) με ειδίκευση στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Η κατανόηση του περιεχομένου των απαντήσεων σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν εύκολη. Σύμφωνα με τη μέθοδο της ανάλυσης περιεχομένου, η λέξη θεωρείται η μικρότερη μονάδα ανάλυσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Έτσι επισημάνθηκαν δύο ή περισσότερες λέξεις-κλειδιά σε κάθε απάντηση των μαθητών και χρησιμοποιήθηκαν για την κωδικοποίηση (coding) των απαντήσεων. Τέτοιες λέξεις, όπως π.χ.: διαφορά πίεσης, συστολή, διαστολή, καύση, δημιουργία κενού, έλλειψη οξυγόνου, ατμοσφαιρική πίεση, θερμό, ψυχρό, κ.ά, επισημαίνονται με έντονα γράμματα στους πίνακες 2 και 3.

Οι μεμονωμένες λέξεις-κλειδιά από μόνες τους δεν είναι επαρκείς για σημασιολογική εκτίμηση των απαντήσεων-ερμηνειών, γι' αυτό στη συνέχεια εξετάστηκε αν οι προτάσεις-ερμηνείες των μαθητών που περιείχαν τις ίδιες λέξεις-κλειδιά ανήκουν σε αιτιολογήσεις με την ίδια σημασία. Κάποιες αναθεωρήσεις στην κωδικοποίηση που έγινε στο προηγούμενο βήμα, όπου ήταν αναγκαίες, πραγματοποιήθηκαν. Με τον τρόπο αυτό σχηματίστηκαν κατηγορίες (categorizing) απαντήσεων που η καθεμιά συγκροτούσε μια νοητική εικόνα για την ερμηνεία του πειράματος. Στο βήμα αυτό υπήρξαν δυσκολίες καθώς πολλές από τις απαντήσεις των μαθητών δεν ήταν διατυπωμένες με σαφήνεια και η σημασία των προτάσεων τους αμφίσημη.

Στο επόμενο βήμα οι κατηγορίες απαντήσεων τοποθετήθηκαν σε ευρύτερες ομάδες, ομαδοποίηση (classifying) με κριτήριο τη χρησιμοποίηση ή μη επιστημονικών εννοιών που σχετίζονται με την ερμηνεία του πειράματος. Έτσι σχηματίστηκε μια πρώτη ομάδα (κατηγορίες α. Α1-α. Α3, πίνακας 2 και κατηγορίες β. Α1- β. Α3, πίνακας 3) που περιελάμβανε λέξεις και ερμηνείες που δεν έχουν σχέση με τη σύγχρονη επιστήμη, πολλές δε απ' αυτές βρίσκονται σε παραλληλία με απόψεις που ήταν κυρίαρχες σε παλαιότερες επιστημονικές περιόδους. Αυτές οι ερμηνείες-απαντήσεις αποτέλεσαν την ομάδα με τίτλο «προ-επιστημονικές ερμηνείες» και οι απαντήσεις έχουν ένα χαρακτήρα προ-δομικό.

Μια δεύτερη ομάδα (κατηγορίες β. Β1 & β. Β2 και κατηγορίες β. Β1 & β. Β2,



πίνακας 3) αποτέλεσαν απαντήσεις που οι μαθητές ανέφεραν μόνο μια επιστημονική έννοια σχετική με το πείραμα, η οποία όμως δεν το ερμηνεύει με αποδεκτό τρόπο. Οι μαθητές της ομάδας αυτής έχουν να διανύσουν αρκετή απόσταση μέχρι να προσεγγίσουν την επιστημονικά αποδεκτή ερμηνεία. Αυτές οι απαντήσεις-ερμηνείες αποτέλεσαν την ομάδα με τίτλο «αναφορά σε επιστημονικές έννοιες» και οι απαντήσεις αυτές έχουν χαρακτήρα μονοδομικό.

Στην τρίτη ομάδα (κατηγορίες α. Γ1 – α. Γ4, πίνακας 2 και κατηγορία β. Γ, πίνακας 3) εντάχθηκαν απαντήσεις που συσχέτιζαν δύο ή περισσότερες σχετικές με τα πειράματα επιστημονικές έννοιες προκειμένου να τα ερμηνεύσουν. Οι απαντήσεις της ομάδας αυτής που ονομάστηκε «συσχέτιση επιστημονικών εννοιών» έχουν πολυδομικό χαρακτήρα. Οι ομάδες αυτές δείχνουν ότι οι μαθητές της έρευνας έχουν μια ποικιλία πληροφόρησης επιστημονικών εννοιών τις οποίες εφαρμόζουν για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες πλευρές των πειραμάτων που παρακολούθησαν.

Τέλος οι απαντήσεις που περιέχουν εν μέρει επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες των πειραμάτων (κατηγορία α. Δ, πίνακας 2 και κατηγορία β. Δ, πίνακας 3) δείχνουν ότι οι μαθητές της ομάδας αυτής έχουν σχηματίσει ένα ικανοποιητικό εννοιολογικό πλέγμα το οποίο όμως χρειάζεται περαιτέρω ενίσχυση και βελτίωση. Οι απαντήσεις αυτές αποτέλεσαν την ομάδα με τις «μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες».

Για τον έλεγχο της ταξινόμησης των απαντήσεων των μαθητών αντιστοιχήθηκε ο αύξων αριθμός κάθε γραπτού στις κατηγορίες κάθε ομάδας, όπως αυτές προέκυψαν από τους δύο εκπαιδευτικούς ξεχωριστά. Στη συνέχεια ελέγχθηκε ο βαθμός συμφωνίας της ταξινόμησης για κάθε γραπτό. Για τις απαντήσεις που υπήρξε συμφωνία ότι ανήκουν στην ίδια κατηγορία δεν έγινε καμιά συζήτηση. Στη συνέχεια συζητήθηκαν οι περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε κατ' αρχήν συμφωνία ως προς την τοποθέτησή τους στην ίδια ομάδα. Η άποψη του εκπαιδευτικού που ήταν πειστικότερη έγινε αποδεκτή. Απαντήσεις που είχαν νεφελώδη σημασία κατατάχθηκαν στην κατηγορία των αταξινόμητων (κατηγορία α. Ε, πίνακας 2 και κατηγορία β. Ε, πίνακας 3). Επίσης στην κατηγορία «δεν απαντούν» μετρήθηκαν οι περιπτώσεις όχι μόνο που οι μαθητές δεν έγραψαν καμιά απάντηση αλλά και αυτές που δεν απαντούσαν στο ερώτημα που τους ετέθη. Π.χ. στο δεύτερο πείραμα ένα ποσοστό μαθητών δεν απαντά γιατί η στάθμη του νερού μετά το σβήσιμο του κεριού ανέβηκε, αλλά γράφει ότι «το κεριό έσβησε γιατί κάηκε / τελείωσε το οξυγόνο» (κατηγορία α. ΣΤ, πίνακας 2 και κατηγορία β. ΣΤ, πίνακας 3).

Τέλος, για τον έλεγχο της αξιοπιστίας της ομαδοποίησης των απαντήσεων τα γραπτά των απαντήσεων των μαθητών δόθηκαν και σε ένα τρίτο έμπειρο εκπαιδευτικό ο οποίος δεν είχε καθόλου εμπλακεί στην προηγηθείσα συζήτηση και ομαδοποίηση των διαφόρων απαντήσεων των μαθητών και του ζητήθηκε να τοποθετήσει τις απαντήσεις στις διάφορες κατηγορίες χρησιμοποιώντας έναν κατάλογο με τη συνοπτική περιγραφή των ερμηνειών του πειράματος κατά ομάδες και κατηγορίες όπως είχαν διατυπωθεί από τους προηγούμενους εκπαιδευτικούς (βλέπε, πίνακες 2,3). Αν και δεν υπήρξε πλήρης ταύτιση, ωστόσο η αντιστοίχιση αύξοντα αριθμού γραπτού ανά κατηγορία υπήρξε πολύ ικανοποιητική. Κυρίως στις κατηγορίες που παίρνουν το μικρότερο ποσοστό απαντήσεων εντοπίστηκαν κάποιες διαφοροποιήσεις.



Με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε έλαβε μέρος στην έρευνα ένα σχετικά μεγάλο σύνολο υποκειμένων που αν και βρίσκονταν στην ίδια σχολική τάξη βρίσκονταν σε διαφορετικά σημεία στην καμπύλη της νοητικής ανάπτυξης, (Shayer, 1991), προέρχονταν από διαφορετικά πολιτιστικο-οικονομικά περιβάλλοντα και είχαν διαφορετικές εμπειρίες και μαθησιακό στυλ. Η καταγραφή των ερμηνειών των πειραμάτων που έδωσαν οι μαθητές και η ταξινόμησή τους με βάση το σημασιακό τους περιεχόμενο δίνει, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω ένα ευρύ φάσμα ιδεών που κατέχουν οι μαθητές και επιπλέον καταγράφονται τα διαφορετικά επίπεδα κατανόησης των εννοιών της αέριας κατάστασης.

## ΠΕΙΡΑΜΑ α – ΣΥΝΘΛΙΨΗ ΑΛΟΥΜΙΝΕΝΙΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ

### Προεπιστημονικές έννοιες – Προδομικές ερμηνείες

Οι κατηγορίες α. Α<sub>1</sub>, α. Α<sub>2</sub>, και α. Α<sub>3</sub>, κινούνται μεταξύ των αντιθετικών πόλων θερμό / ψυχρό και η «αντίθεση», ή η «επαφή» ή η «αντίδραση» των δύο ιδιοτήτων βρίσκονται στη βάση της ερμηνείας αυτών των μαθητών. Η δόμηση των ερμηνειών δεν γίνεται με τη χρήση επιστημονικών εννοιών (προ-δομικές έννοιες), τέτοιες ερμηνείες κατατάχτηκαν στην ομάδα των προεπιστημονικών και δόθηκαν από το 10,5% των μαθητών του δείγματος (πίνακας 2).

Η παραπάνω ομάδα απαντήσεων υποστηρίζει την άποψη ότι υπάρχουν σημαντικές ομοιότητες στην εννοιολογική αλλαγή που συμβαίνει στην σκέψη των παιδιών κατά την διάρκεια της ανάπτυξής τους και της ιστορικής εξέλιξης των ιδεών της επιστήμης (Matthews, 1989, Sequeira & Leite, 1991). Οι παραπάνω ερμηνείες ανακαλούν τα ζεύγη των αντιθέτων «στοιχείων» (πρώτες ύλες) θερμό / ψυχρό και υγρό / ξηρό, που κατά την φιλοσοφία των Ιώνων Φυσικών, συνυπάρχουν παντού, και η διαρκής πάλη τους δικαιολογεί τις αλλαγές στη φύση. Αυτή βρίσκεται στη βάση της κοσμολογικής τους ερμηνείας (Vernant, 1974, Guthrie, 1984, Snell, 1972). Η μετέπειτα Αριστοτελική προσέγγιση θεωρεί το ψυχρό και το θερμό, το υγρό και το ξηρό ως «πρωταρχικές ποιότητες» των σωμάτων και εξηγεί ότι οι αλλαγές συμβαίνουν στα σώματα όταν αυτά έρχονται σε επαφή και ανταλλάσσουν τις «ποιότητες» τους για να δημιουργούν νέα σώματα. Οι ιδέες αυτές ήταν κυρίαρχες στη περίοδο της μεσαιωνικής αλχημείας και έδιναν εξηγήσεις για τις μεταβολές καθώς και για τις ιδιότητες των μιγμάτων (Cromdie, 1979, σ. 139-142).

Στις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα, θεωρούσαν τη θερμότητα και το ψύχος ως «δυνάμεις». Οι δυνάμεις αυτές ασκούσαν από θερμές ή ψυχρές πηγές και δρούσαν πάνω σε αποδέκτες, δηλαδή σε σώματα με τα οποία έρχονταν σε επαφή και τα οποία υφίσταντο τη δράση των δυνάμεων. Οι πηγές, μετά από τη δράση τους εξαντλούνταν, για λόγους που συνδέονταν με τα δικά τους κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (Wiser & Carey, 1983). Μια παρόμοια άποψη αναφέρεται στην κατηγορία α. Α<sub>2</sub> (πίνακας 2), όπου «το κρύο νερό ασκεί μεγαλύτερη πίεση από το θερμό».



### **Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες - Μονοδομικές ερμηνείες**

Στις κατηγορίες α. Β1 και α. Β2 το ερμηνευτικό σχήμα των μαθητών εστιάζεται στην απότομη αλλαγή θερμοκρασίας που συμβαίνει στο θερμό νερό ή στο θερμό αέρα στο κουτί ή στο ίδιο το κουτί όταν αυτό μεταφέρεται στο δοχείο με το κρύο νερό. Η συλλογιστική των μαθητών στην κατηγορία αυτή, εμπεριέχεται σε δύο προτάσεις που συνδέονται με το χρονικό σύνδεσμο «όταν», που οριοθετεί και τις δύο φάσεις του πειράματος, αρχικά τη θέρμανση και στη συνέχεια τη ψύξη με την είσοδο του κουτιού στο κρύο νερό.

Στην πρώτη κατηγορία η αλλαγή απλώς της θερμοκρασίας θεωρείται ως ο μόνος αιτιακός παράγοντας για τη σύνθλιψη του αλουμινένιου κουτιού. Ενώ στη δεύτερη κατηγορία εμφανίζεται η διαφορά θερμοκρασίας ως η αιτία που προκαλεί πίεση και αυτή συνθλίβει το κουτί. Στο παραπάνω μοντέλο αν και αναφέρεται η έννοια της πίεσης αποκαλύπτεται ότι οι μαθητές που βρίσκονται σ' αυτό το στάδιο δεν κατέχουν την έννοια της πίεσης που ασκείται από τα αέρια και βέβαια απέχουν αρκετά από το εννοούν την πίεση που ασκεί αέριο στα τοιχώματα δοχείου ως αποτέλεσμα των κρούσεων των μορίων μ' αυτά. Οι ερμηνείες αυτές δόθηκαν από το 32,8% των μαθητών και δομούνται στη βάση της μεταβολής ενός μόνο φυσικού μεγέθους, στη μεταβολή της θερμοκρασίας και γι' αυτό ονομάστηκαν μονοδομικές.

### **Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών - Πολυδομικές ερμηνείες**

Στην κατηγορία α. Γ1, ερμηνεύουν τη σύνθλιψη του κουτιού ως αποτέλεσμα της συστολής του κουτιού ή του περιεχόμενου σ' αυτό αέρα, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Προφανώς η εικόνα της σύνθλιψης που βλέπουν, ανακαλεί από την μνήμη τους τη συστολή των στερεών λόγω ελάττωσης της θερμοκρασίας τους.

Η επόμενη κατηγορία α. Γ2, είναι μια επέκταση της προηγούμενης. Εκτός από τη συστολή οι μαθητές αναφέρουν ότι στην αρχή συμβαίνει διαστολή λόγω θέρμανσης και στη συνέχεια συστολή λόγω επαφής του κουτιού ή του περιεχόμενου σ' αυτό αέρα με το κρύο νερό. Οι παραπάνω ερμηνείες δείχνουν την προσπάθεια των μαθητών να συσχετίσουν έννοιες που έχουν διδαχθεί προκειμένου να ερμηνεύσουν τα πειράματα. Αν και τα φαινόμενα συστολής και διαστολής δεν είναι άσχετα με το πείραμα και οι μαθητές γνωρίζουν ότι τέτοιες μεταβολές προκαλούν παραμορφώσεις, αγνοούν όμως ότι αυτές δεν συμβαίνουν απότομα, και οι μεταβολές που προκαλούν στις διαστάσεις των σωμάτων είναι μικρές. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις δεν προκαλούν δραματική μεταβολή στο σχήμα των στερεών.

Στην παραπάνω περίπτωση, η συλλογιστική των μαθητών δομείται με δύο προτάσεις που συνδέονται με τον χρονικό σύνδεσμο «όταν» οριοθετώντας τις δύο φάσεις, του πειράματος, κατά το σχήμα θέρμανση / διαστολή και ψύξη / συστολή. Στις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες η ερμηνευτική συλλογιστική των μαθητών εδράζεται σε δύο επιλεγμένες όψεις των εισερχομένων ερεθισμάτων, της φλόγας από το λύχνο Bunsen που παραπέμπει στη θέρμανση του κουτιού / του νερού / του αέρα στο κουτί / στη διαστολή και στο νερό με τα παγάκια που παραπέμπει στη ψύξη / συστολή.

Η κατηγορία α. Γ3 είναι μια προσπάθεια ερμηνείας του πειράματος από τη σκοπιά των υδρατμών. Αναφέρουν ότι το νερό όταν θερμανθεί ατμοποιείται και όταν οι υδρατμοί ψυχθούν υγροποιούνται. Επίσης αναφέρουν ότι κατά τη θέρμανση διαφεύγει ο αέρας από το κουτί και ότι οι υγροποιημένοι ατμοί δημιουργούν «κενό αέρος». Η τελευταία σκέψη υπονοεί ότι στο εσωτερικό του κουτιού η πίεση ελαττώνεται, χωρίς όμως να γίνεται αναφορά στην έννοια της πίεσης.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι οι μαθητές της κατηγορίας αυτής προσπαθούν να αξιοποιήσουν γνώσεις που έχουν διδαχθεί και σχετίζονται με το πείραμα, το μοντέλο τους όμως είναι γραμμικό γιατί ψάχνει την αιτία της παραμόρφωσης του κουτιού μόνο με το τι μπορεί να συμβαίνει μέσα στο κουτί. Η απουσία της ατμοσφαιρικής πίεσης από τη σκέψη των μαθητών τους οδηγεί στο να αποδώσουν μια μορφή «αντίληψης» στο κουτί. Το κουτί «παραμορφώνεται για να καλύψει το κενό λόγω της ανυπαρξίας του αέρα».

Στην κατηγορία α. Γ4, γίνεται αναφορά «στην πίεση από το εξωτερικό μέρος του δοχείου», χωρίς αυτή να προσδιορίζεται. Κατά τη θέρμανση επιπλέον αναφέρουν ότι μαζί με τον ατμό φεύγει και ο αέρας από το κουτί και όταν βυθίζεται στο νερό από την τρύπα δεν μπορούσε να μπει άλλος αέρας. Τα παραπάνω δείχνουν μια προσέγγιση προς ένα αποδεκτό μοντέλο εξήγησης, όπου υπαινίσσεται μια σχέση πιέσεων μέσα και έξω από το κουτί. Όμως τα μέρη της σχέσης δεν αναφέρονται με ξεκάθαρο τρόπο. Η διαφυγή ή η μείωση του αέρα ή του οξυγόνου από το κουτί κατά τη θέρμανση υπονοεί τη μείωση της πίεσης στο εσωτερικό του κουτιού και η πίεση του δωματίου / στο εξωτερικό του κουτιού / η πίεση του αέρα / υπονοεί την ατμοσφαιρική πίεση. Η αναφορά κάποιων μαθητών στο οξυγόνο και όχι στον αέρα προφανώς να οφείλεται στο ότι ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών αγνοεί το άζωτο ως συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα και ταυτίζει τον αέρα με το οξυγόνο.

Οι δύο τελευταίες κατηγορίες δομούνται γύρω από το ερέθισμα των υδρατμών που προσλαμβάνουν οι μαθητές από την επίδειξη του πειράματος. Στις παραπάνω περιπτώσεις, α.Γ1- α.Γ4, η προσπάθεια ερμηνείας στηρίζεται στην συσχέτιση δύο ή περισσότερων φυσικών μεγεθών, γι' αυτό οι ερμηνείες των κατηγοριών αυτών θα μπορούσαν να ονομαστούν πολυδομικές. Η ομάδα αυτή συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων-ερμηνειών 40,6%.

### Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες

Στην τελευταία κατηγορία απαντήσεων-ερμηνειών την α.Δ, αν και δεν εμφανίζεται μια συγκροτημένη εξήγηση, ωστόσο η εξήγηση της σύνθλιψης του κουτιού λόγω διαφοράς πίεσης μέσα και έξω απ' αυτό, δηλώνει μια αξιοσημείωτη εννοιολογική μετατόπιση. Η εστίαση πάνω στη διαφορά πίεσης, αν και αυτή δεν εξηγείται με συγκεκριμένη αναφορά στη σταθερή εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση και στους λόγους που μειώνεται η πίεση στο εσωτερικό του κουτιού, υπογραμμίζει μια μετατόπιση σε μη προφανείς μεταβλητές και το μετασχηματισμό διαισθητικών αντιλήψεων, προς τις επιστημονικές έννοιες.

Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να θεωρεί ως σύνθετο και οι μαθητές που το κατέχουν



μπορούν να προχωρήσουν σε μια βαθύτερη κατανόηση της αέριας κατάστασης και της πίεσης που ασκείται από τα αέρια. Η συλλογιστική σ' αυτή την περίπτωση στηρίζεται στη σύγκριση δύο πέσεων, η πρώτη αναφέρεται στη μείωση της πίεσης στο εσωτερικό του αλουμινένιου κουτιού, την οποία δεν αιτιολογούν και η δεύτερη στην ύπαρξη της εξωτερικής πίεσης, την οποία δεν ονομάζουν.

Ο Sanger κ.ά. (2000) διδάσκοντας ένα εισαγωγικό μάθημα κινητικής μοριακής θεωρίας σε φοιτητές, με τον παραδοσιακό τρόπο, διδασκαλία-διάλεξη και χρησιμοποιώντας σχήματα στο πίνακα καθώς και έγχρωμες διαφάνειες, παρουσίασαν και εξήγησαν το ίδιο πείραμα. Το επόμενο εξάμηνο ζητήθηκε από τους φοιτητές να προβλέψουν τι θα συνέβαινε σε ένα παρόμοιο πείραμα με κουτί, και επιπλέον να αιτιολογήσουν την απάντησή τους σε μοριακό επίπεδο. Οι περισσότεροι από τους φοιτητές εφάρμοσαν τυφλά τις μαθηματικές εκφράσεις των νόμων των αερίων για να φτάσουν σε ένα συμπέρασμα και δεν έκαναν αναφορές στο σωματιδιακό μοντέλο. Το 51% πρόβλεψε ότι το κουτί θα συνθλιβεί, το 40% ότι θα διασταλεί και το 9% ότι δεν θα συμβεί σ' αυτό καμία αλλαγή. Το 75,7% αγνόησαν την συμπύκνωση των υδρατμών και πολλοί απ' αυτούς απέδιδαν τη μείωση της πίεσης στο εσωτερικό του κουτιού μόνο στο γεγονός ότι τα μόρια κινούνται πιο αργά καθώς το αέριο ψύχεται. Μόνο το 12,8% των φοιτητών έδωσαν εντελώς σωστές απαντήσεις.

Το ποσοστό 5,6% των μαθητών του δείγματος αυτής της έρευνας που δίνουν μερικώς αποδεκτή ερμηνεία (κατηγορία α. Γ4) καθώς και το 5,6% που προσεγγίζει μια αποδεκτή ερμηνεία, φαίνεται να βρίσκεται σε μια αποδεκτή αναλογία με το ποσοστό των προαναφερθέντων φοιτητών.

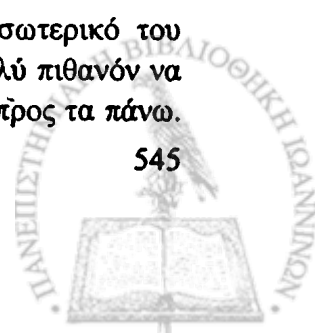
## ΠΕΙΡΑΜΑ Β - ΚΑΥΣΗ ΚΕΡΙΟΥ ΣΕ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ ΚΥΛΙΝΔΡΟ

### Προεπιστημονικές ερμηνείες – προ-δομικές ερμηνείες

Οι ερμηνείες των κατηγοριών β. Α1, β. Α2, β. Α3, σχετίζονται με αντιλήψεις και ιδέες που ήταν κυρίαρχες πριν την καθιέρωση του εννοιολογικού οικοδομήματος της σύγχρονης επιστήμης. Οι απαντήσεις-ερμηνείες των μαθητών εστιάζονται σε μεμονωμένες πλευρές των εισερχομένων ερεθισμάτων από το πείραμα και αποδίδουν ιδιότητες και προθέσεις στα υλικά σώματα. Περίπου ένας στους τρεις μαθητές (29,0%) του δείγματος δίνει ερμηνείες που ανήκουν σ' αυτή την ομάδα.

Η κατηγορία β. Α1, απηχεί την τάση των μαθητών να εστιάζουν την προσοχή τους στα άμεσα επιφανειακά χαρακτηριστικά των πειραμάτων και να αποδίδουν σ' αυτά αιτιακούς μηχανισμούς. Οι μαθητές της κατηγορίας αυτής δεν έχουν φτάσει στο επίπεδο να χρησιμοποιούν εννοιολογικές οντότητες για την ερμηνεία των φαινομένων. Εδώ ο συλλογισμός είναι άμεσος, προκύπτει μόνο από μια πρόταση και τα ρήματα «εμποδίζει» (τη φλόγα), «μειώνει» (τη φλόγα) είναι στην ενεργητική φωνή για να τονίσουν την ενέργεια του υποκειμένου. Ας σημειωθεί ότι στην κατηγορία αυτή δεν υπάρχει αναφορά στην ύπαρξη του αέρα (πίνακας 3).

Στην κατηγορία β.Α2, αναγνωρίζεται η ύπαρξη του αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου αλλά η αναφορά ότι ο «αέρας ανέβηκε» προς τα πάνω είναι πολύ πιθανόν να υπονοεί ένα συνεχές μοντέλο για τον αέρα που ως «πακέτο» μετακινείται προς τα πάνω.



Η αιτία μετακίνησης του νερού «για αντικατάσταση» ή «αναπλήρωση» του χώρου που πριν καταλάμβανε το νερό, είναι ένα ερμηνευτικό μοντέλο που χρησιμοποιείται από μαθητές και έχει αναφερθεί σε παρόμοιες έρευνες (Tytler, 1998, 1992, 1993).

Η κατηγορία β.Α3, αναβιώνει την προεπιστημονική αντίληψη ότι η «φύση απεχθάνεται το κενό» (horror vacui). Η αντίληψη ότι το νερό στο σωλήνα ανεβαίνει για να αναπληρώσει το κενό που δημιουργήθηκε, από τη μια πλευρά αναγνωρίζει την ύπαρξη του αέρα πριν την καύση στο σωλήνα και από την άλλη φαίνεται να αγνοεί την ύπαρξη του αζώτου στην σύσταση του αέρα και τη μη συμμετοχή του στην καύση.

Από την ιστορία της επιστήμης γνωρίζουμε ότι η εννοιολογική μετατόπιση της επιστημονικής σκέψης από την αντίληψη ότι η «φύση απεχθάνεται το κενό» μέχρι τη μέτρηση και την εδραίωση της έννοιας της ατμοσφαιρικής πίεσης από τον Torricelli και τον Pascal αποτέλεσε ένα δύσκολο άλμα, αφού και μετά τον Torricelli απαιτήθηκαν τουλάχιστο δύο δεκαετίες με ανταλλαγή επιχειρημάτων και πειραμάτων για να γίνει αποδεκτή η μηχανική εξήγηση της εξισορρόπησης της στήλης του υδραργύρου (Westfall, 1977, σ. 60-68). Έτσι δεν πρέπει να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι ένα ποσοστό μαθητών κατέχει έννοιες που τις υπαγορεύει η διαίσθησή τους και αντιμετωπίζουν ορισμένα από τα εννοιολογικά εμπόδια και τις δυσκολίες που αντιμετώπιζαν οι επιστήμονες παλαιότερων εποχών. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην τάση πολλών δασκάλων να διατρέχουν γρήγορα κάποια διδασκόμενη ύλη χωρίς να ελέγχουν αν πράγματι οι μαθητές τους έχουν κατανοήσει τις έννοιες που τους δίδαξαν.

Ο Hawkins (1992) αναφέρει ότι οι μαθητές στο πλαίσιο μη εποικοδομητικών διδασκαλιών έχουν δυσκολία να κατανοήσουν την απλή φυσική του αέρα. «Η δική μου διδακτική εμπειρία με δεκάχρονους και με τους δασκάλους τους έδειξε πράγματι να επιβεβαιώνει ότι ζούμε στην προ του Torricelli εποχή ...εμείς μπορεί, στο δικό μας χώρο και χρόνο, να ερχόμαστε αντιμέτωποι με τις ίδιες ερωτήσεις που αντιμετώπισαν ο Galileo ή ο Torricelli ή ο Stahl. Μπορούμε κυριολεκτικά να επαναλάβουμε τις ίδιες εργασίες όπως αυτές αναφέρονται απ' αυτούς».

Στις δύο παραπάνω κατηγορίες η συλλογιστική στηρίζεται σε δύο θέσεις. Η πρώτη θέση θεωρεί ότι ο αέρας πάει προς τα πάνω και στη θέση του δημιουργείται κενό στον κύλινδρο και η δεύτερη ότι το νερό ανεβαίνει για να καλύψει το κενό που δημιουργήθηκε. Η συλλογιστική αυτή είναι μη-μηχανιστική, έλκει την καταγωγή της στον αντι-ατομισμό του Αριστοτέλη καθόσον καθιστά το κενό ικανό να «τραβάει» την ύλη προκειμένου να το γεμίσει.

#### **Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες - μονοδομικές ερμηνείες**

Στην κατηγορία β. Β1, δηλώνεται η γνώση ότι για την καύση απαιτείται οξυγόνο και επιπλέον ότι «το νερό συνίσταται και από οξυγόνο». Φαίνεται όμως ότι οι μαθητές της κατηγορίας αυτής δεν κατέχουν την έννοια της χημικής ένωσης και από τον τρόπο που απαντούν διαφαίνεται ότι θεωρούν το νερό ως ένα μίγμα οξυγόνου και υδρογόνου, όπου για να συντηρηθεί η καύση του κεριού, το νερό ανεβαίνει για να προσφέρει το οξυγόνο του! Οι μαθητές φαίνεται να βρίσκουν δυσκολία στο να μετατοπίσουν την προσοχή τους από τα άμεσα και προφανή, π.χ. αέρας ή οξυγόνο στο κύλινδρο, σε έμμεσα





και μη προφανή, όπως η πίεση. Το μοντέλο που εστιάζεται σε μια έννοια «αναπλήρωσης» ή «αντικατάστασης» φαίνεται να βρίσκεται στη βάση της σκέψης αρκετών μαθητών.

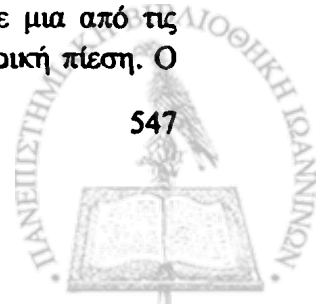
Οι Sheparson και Moje (1994) σε ένα πείραμα επίδειξης, σε μαθητές β' λυκείου, ώθησαν ένα καλά βρασμένο αυγό μέσα από το λαιμό ενός μπουκαλιού στο οποίο αρχικά θερμάνθηκε μικρή ποσότητα νερού και στη συνέχεια οι υδρατμοί ψύχθηκαν, διαπίστωσαν ότι: το 35% των παρατηρήσεων των μαθητών, εστιάστηκαν στη φλόγα ή στη θερμότητα που ώθησε το αυγό στο μπουκάλι, παρά στη λιγότερο προφανή επίδραση της διαφοράς πίεσης μεταξύ του αέρα στο μπουκάλι και της ατμοσφαιρικής. Στη συνέχεια μετά την επίδειξη και συζήτηση-εξήγηση του πειράματος, αν και το 36% των μαθητών αναφέρθηκε στην πίεση, το 33% απ' αυτούς εξακολουθούσε να αναφέρει τη φλόγα ως την αιτία για την είσοδο του αυγού στο μπουκάλι. Στις εξηγήσεις τους οι μαθητές συνέχιζαν να είναι προσκολλημένοι σε συγκεκριμένα εξωτερικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν έχουν και πολύ σχέση με τις αφηρημένες έννοιες που εμπλέκουν οι επιστήμονες στη συλλογιστική τους.

Στην κατηγορία β. B2, γίνεται σαφές ότι λόγω της καύσης του κεριού μειώνεται το οξυγόνο του αέρα που περιέχεται στο ανεστραμμένο κύλινδρο. Ταυτόχρονα φαίνεται ότι δεν κατέχουν μια εικόνα της σωματιδιακής δομής των αερίων, και της ιδιότητας των αερίων να καταλαμβάνουν όλο τον προσφερόμενο όγκο ανεξάρτητα από την ποσότητά τους. Η έννοια της «αναπλήρωσης του κενού» ή γενικά της «αντικατάστασης» παρουσιάζεται και σ' αυτή την κατηγορία μαθητών.

Στις κατηγορίες β. B1 και β. B2, η δόμηση της ερμηνείας του πειράματος γίνεται μόνο με την αναφορά της επιστημονική έννοια της καύσης, γι' αυτό η ερμηνεία αυτή ονομάστηκε μονοδομική. Τέτοιου τύπου απαντήσεις-ερμηνείες δίνει το 28,9% του δείγματος μας. Ο συλλογισμός των μαθητών στηρίζεται σε δύο θέσεις. Στην πρώτη, ότι το οξυγόνο μειώνεται λόγω της καύσης και στη δεύτερη ότι το νερό αντικαθιστά ή καλύπτει το κενό που δημιουργεί η μείωση της ποσότητας του οξυγόνου στον περιεχόμενο αέρα στον κύλινδρο. Η δεύτερη θέση αντικατοπτρίζει μια αρκετά διαδεδομένη τάση στην ερμηνεία φυσικών φαινομένων, που έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές στο πλαίσιο ερμηνείας των εναλλακτικών ιδεών (Garnett, κ.ά., 1995, Serge, 1986). Πολλά παιδιά και ενήλικες πιστεύουν ότι τα άψυχα αντικείμενα μπορούν να συμπεριφέρονται με σκοπό.

### Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών – πολύδομικές ερμηνείες

Στην περίπτωση β. Γ, αναφέρεται η έννοια της πίεσης και συνδέεται ορθά η μείωση της τιμής της, με τη μείωση της ποσότητας του οξυγόνου στον κύλινδρο, λόγω καύσης του κεριού. Ποσοστό 12,1% των μαθητών του δείγματος έδωσαν ερμηνείες αυτής της κατηγορίας. Η περίπτωση αυτή δείχνει ένα εννοιολογικό άλμα καθώς συνδέεται η άνοδος της στάθμης του νερού στον κύλινδρο με τη μεταβολή της υπερκείμενης πίεσης σ' αυτό. Όμως το μοντέλο αυτό, αν και δομείται με δύο έννοιες καύση / μείωση οξυγόνου και μείωση της πίεσης (πολυδομικό) είναι γραμμικό καθώς εστιάζεται σε μια από τις πλευρές της σχέσης των πιέσεων, δεν αναφέρεται δηλαδή στην ατμοσφαιρική πίεση. Ο



τύπος του συλλογισμού εδώ περιλαμβάνει μια θέση, η πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου μειώνεται, και αιτιολόγηση της θέσης, λόγω μείωσης του οξυγόνου. Απ' αυτό το σχήμα καταλήγουν στο συμπέρασμα, η στάθμη του νερού ανεβαίνει.

### Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες

Στην τελευταία κατηγορία β. Δ, παρά την αναφορά ενός αριθμού απαντήσεων στη «δημιουργία κενού» μέσα στο σωλήνα, η εξήγηση της ανόδου του νερού λόγω διαφοράς πίεσης μέσα και έξω από τον κύλινδρο, δείχνει την ύπαρξη ενός σύνθετου νοητικού μοντέλου, που κατέχεται από το 14,0% των μαθητών. Επιπλέον η αναφορά σε πίεση έξω από τον σωλήνα ή η σαφής αναφορά στην ατμοσφαιρική πίεση έξω από τον σωλήνα δείχνει ότι οι μαθητές αυτοί έχουν ήδη εμπλακεί με την έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης και τη συμπεριλαμβάνουν στην αλληλεπίδραση της με την πίεση του αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου για να εξηγήσουν τη μεταβολή στην στάθμη του υγρού.

### ΕΥΡΗΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ένας αριθμός εργασιών της διδακτικής αναφέρεται στη διερεύνηση της φύσης της εννοιολογικής αλλαγής σε μαθητές σε σχέση με την πίεση που ασκεί ο αέρας και η ατμοσφαιρική πίεση (Tyler, 1998, Brook & Driver, 1989, Sere, 1985, Miller et al., 1985, Stavay, 1988). Οι εργασίες αυτές καταγράφουν τις ιδέες των μαθητών διαφορετικών ηλικιών, στην παρούσα εργασία καταγράφονται οι ιδέες μαθητών της ίδιας ηλικίας.

Από τις παραπάνω περιγραφείσες ομαδοποιήσεις γίνεται φανερό ότι, αν και οι μαθητές του δείγματός βρίσκονταν όλοι στην ίδια τάξη, παρουσίασαν ένα πολύπλοκο υπόστρωμα ιδεών και ένα ευρύ φάσμα ερμηνειών των δύο πειραμάτων. Τα νοητικά μοντέλα που πρόβαλλαν οι μαθητές για να τα ερμηνεύσουν εκτείνονται από πρωτογενείς διαισθητικές ιδέες, που είναι κυρίαρχες σε παιδιά πολύ μικρών ηλικιών μέχρι έννοιες και ερμηνείες που είναι κοντά στις επιστημονικά αποδεκτές. Τα παραπάνω αναδεικνύουν για άλλη μια φορά την πολυπλοκότητα της διδακτικής πράξης και τα σύνθετα ζητήματα που ανακύπτουν από την ανομοιογένεια των σχολικών τάξεων.

Ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών παρουσιάζεται να έχει μια πληροφόρηση πάνω σε φυσικά και χημικά φαινόμενα, αλλά υστερεί στην ικανότητα να τη δομεί για να προκύπτουν επιστημονικά αποδεκτές εξηγήσεις. Σε αντίθεση, οι ειδικοί σε ένα γνωστικό αντικείμενο έχουν μια δομημένη κατανόηση, με την έννοια ότι διαχειρίζονται θεμελιώδεις έννοιες για να δομούν τις πληροφορίες και τις εμπειρίες τους. Οι μαθητές από την άλλη πλευρά μην έχοντας αναπτύξει τρόπους να κατηγοριοποιούν, να αιτιολογούν και να μετασχηματίζουν τις εμπειρίες και τις πληροφορίες τους, τις παραμορφώνουν για να τις προσαρμόσουν στις ήδη υπάρχουσες. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούμε να διδάξουμε μια ουσιαστική εννοιολογική κατανόηση χωρίς να προσπαθήσουμε να τη δομήσουμε.

Στην παρούσα εργασία διερευνήσαμε περιοχές του εννοιολογικού πλέγματος των μαθητών με το να καταγράψουμε κατηγορίες απαντήσεων που αναφέρεται στην αέρια κατάσταση και στην πίεση που ασκούν τα αέρια. Αυτές οι κατηγορίες αφορούν σύνολα



υποκειμένων που όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αυστηρότητα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς οποιουδήποτε μεμονωμένου υποκειμένου του συνόλου. Η παρατήρηση αυτή φαίνεται να αντανακλά μια πραγματικότητα της διδακτικής πρακτικής. Η διδασκαλία που γίνεται στην αίθουσα απευθύνεται στα επιμέρους υποσύνολα μαθητών που αποτελούν την τάξη που το καθένα βρίσκεται εννοιολογικά σε διαφορετική βαθμίδα του εννοιολογικού πλέγματος της γνωστικής ενότητας που διδάχθηκε. Έμπειροι δάσκαλοι και μαθητές που ενδιαφέρονται για την πρόοδο τους πολλές φορές απευθύνονται σε εξατομικευμένη διδασκαλία ή διδασκαλία σε μικρές ομάδες μαθητών που να «είναι στο ίδιο επίπεδο». Μια τέτοια διαδικασία μπορεί πιο εύκολα να καλύψει τα ιδιαίτερα εννοιολογικά κενά, και να ξεπεράσει εννοιολογικά εμπόδια που εμφανίζει ένα υποσύνολο μαθητών.

Η έννοια της πίεσης που ασκεί αέριο σε δοχείο και ιδιαίτερα η έννοια της ατμοσφαιρικής πίεσης φαίνεται να είναι δυσπρόσιτες στους μαθητές. Στο πρώτο πείραμα το 11,2% (ποσοστό της κατηγορίας α. Γ4 συν της α. Δ) των μαθητών κάνει αναφορά στην έννοια της πίεσης και στο δεύτερο πείραμα το 26,1% (ποσοστό της κατηγορίας β. Γ συν ποσοστό της β. Δ). Τα δε ποσοστά των μαθητών που χρησιμοποιούν ή αναφέρουν έμμεσα την έννοια της διαφοράς πίεσης (μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες) συμπεριλαμβάνοντας ως όρο ένα όρο της διαφοράς την ατμοσφαιρική είναι ακόμη μικρότερα, 5,6% για το πρώτο πείραμα και 14,0% για το δεύτερο. Τα ποσοστά δε αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τα ευρεθέντα ανάλογες έρευνες (EngelClough & Driver, 1985, Brook & Driver, 1989, Sere, 1986). Η εμμονή σε μια «ατμόσφαιρα που δεν ασκεί πίεση», σε ένα βαθμό εξηγεί τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών όταν δίνουν εξηγήσεις σε φαινόμενα που την περιλαμβάνουν και επιβεβαιώνει ότι η έννοια αυτή είναι δυσπρόσιτη για τους μαθητές.

Η σύγκριση των ποσοστών των μαθητών που προέκυψαν σε κάθε ομάδα απαντήσεων για τα δύο πειράματα ( $\chi^2 = 34,20$ , d.f = 5) έδειξε ότι δεν υπάρχει συνάφεια ούτε σε επίπεδο 1% ( $\chi^2 > \chi^2_{1\%}$ ). Τα διαφορετικά ποσοστά των μαθητών που δίνουν μερικώς αποδεκτές επιστημονικές ερμηνείες, αν και τα δύο πειράματα που παρακολούθησαν είχαν τον ίδιο εννοιολογικό πυρήνα δείχνουν ότι οι μαθητές εφαρμόζουν με ευμετάβλητο τρόπο τις έννοιες σε διαφορετικές καταστάσεις. Ένα πολύ μικρό ποσοστό παρουσιάζει συνέπεια στο τρόπο εφαρμογής τους (μόνο πέντε μαθητές και στα δύο πειράματα αναφέρει και στα δύο πειράματα τη διαφορά πίεσης μέσα και έξω από τα δοχεία ως αιτία της μεταβολής που παρατήρησαν).

Για να κατανοηθεί η έννοια της πίεσης που ασκούν τα αέρια δεν αρκεί απλώς να εστιάσουμε την προσοχή των μαθητών στα φαινόμενα αυτά κατ' αποκλειστικότητα. Οι μαθητές πρέπει να έχουν κατακτήσει την εννοιολογική οικολογία (Posner κ.ά. 1982, Demaster et al., 1995) που περιλαμβάνει τις υποκείμενες θεμελιώσεις αυτών των εννοιών, αυτές θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν την υλική υπόσταση του αέρα, τις βασικές φυσικές ιδιότητες των αερίων, τη σωματιδιακή δομή της ύλης, τη σύνδεση της κίνησης των σωματιδίων με την ενέργεια, τη συσχέτιση της δύναμης με την πίεση, την αλληλεπίδραση της πίεσης των αερίων και του αέρα με τις επιφάνειες των υγρών.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ εξωτερικής ατμοσφαιρικής πίεσης και της πίεσης του



αέρα στο εσωτερικό κλειστών δοχείων, επίσης η αλληλεπίδραση της υδροστατικής πίεσης που ασκείται από στήλη υγρού, με την ατμοσφαιρική πίεση και την πίεση που ασκεί αέριο περιορισμένο σε ορισμένο χώρο, είναι ζητήματα με τα οποία οι μαθητές θα πρέπει να εμπλακούν για να τα κατανοήσουν. Οι μαθητές βρίσκουν δυσκολία στο να μετατοπίσουν την εστίασή τους από τα άμεσα και προφανή χαρακτηριστικά του αέρα σε ένα νοητικό μοντέλο της πίεσης.

Το ξεδίπλωμα των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών μέσα από τις διατυπωθείσες ερμηνείες των δύο πειραμάτων είναι ένα σημαντικό υλικό για κριτική έρευνα, η οποία μπορεί να μας οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα κατανόησης, σε σχέση με το τι οι μαθητές γνωρίζουν και που πρέπει να εστιάζεται η προσοχή των διδασκόντων κατά την διδασκαλία.

Η σωματιδιακή δομή της ύλης αν και εισάγεται από πολύ ενωρίς στη διδασκαλία των φυσικών μαθημάτων, στην Ε' τάξη του δημοτικού (Δασκαλάκης, κ.ά. 1996) φαίνεται να μην γίνεται κατανοητή από τους μαθητές. Το ίδιο συμβαίνει και με τα στοιχεία της κινητικής θεωρίας των αερίων που διδάσκονται στο γυμνάσιο και στην α' λυκείου. Οι μαθητές δεν κάνουν αναφορές στη σωματιδιακή δομή των αερίων και δεν εφαρμόζουν το μοντέλο της κινητικής θεωρίας των αερίων για να εξηγήσουν ποιοτικά μεταβολές αερίων, επιπλέον δεν συνδέουν την κίνηση των σωματιδίων με την ενέργεια.

Η εποικοδομητική θεωρία της μάθησης προτείνει διδακτικές στρατηγικές που στηρίζονται σε εποικοδομητικές αρχές (Driver και Oldham, 1986, Nussbaum και Novick, 1982, Osborne και Freybeg, 1985). Κοινά στοιχεία σ' αυτές τις στρατηγικές είναι η παροχή ευκαιριών στους σπουδαστές για να κάνουν τις έννοιες σαφείς, μέσω ενός φάσματος στρατηγικών, όπως συζήτηση, ανταλλαγή ιδεών, επιδείξεις ή εμπειρίες με συγκρουόμενες καταστάσεις. Επιπλέον οι σπουδαστές πρέπει να ωθούνται να εφαρμόζουν αυτές τις έννοιες σε πραγματικές καταστάσεις για να δοκιμάσουν την αποδοτικότητά τους. Αρκετοί από τους παραπάνω συγγραφείς έχουν τονίσει τη σπουδαιότητα της χρήσης αυτών που ο Gunstone (1994) περιγράφει ως μεταγνωστικές στρατηγικές. Οι συγγραφείς αυτοί δίνουν έμφαση στο πόσο σημαντικό είναι να ενθαρρύνονται οι σπουδαστές, να στοχάζονται πάνω στη δική τους κατανόηση και να αναλαμβάνουν μεγαλύτερη υπευθυνότητα για τη δική τους μάθηση. Επίσης διατείνονται ότι αν οι σπουδαστές δεν χρησιμοποιήσουν αυτές τις στρατηγικές, είναι απίθανο να συμβεί η γνωστική αναδόμηση.

Οι μαθητές του δείγματος έδειξαν ενδιαφέρον και αρκετοί απ' αυτούς φάνηκαν να χάρηκαν τα πειράματα επίδειξης που παρακολούθησαν. Μετά το τέλος της όλης διαδικασίας ένα μεγάλο μέρος των μαθητών κάθε τμήματος έθετε ερωτήματα γύρω από τα πειράματα και ζητούσε να μάθει αν οι ερμηνείες που δόθηκαν ήταν ορθές. Η εκπαιδευτική διαδικασία ενεργά πρέπει να επιδιώκει οι μαθητές να εμπλέκονται σε διαδικασίες που να δίνουν ερμηνείες και νόημα στις εμπειρίες τους σε ένα επιστημονικό πλαίσιο, καθόσον οι έννοιες μπορούν να συζητηθούν, να διαπραγματευτούν και να υπάρξει συμφωνία πάνω σ' αυτές, ώστε να είναι συμβατές με αυτές που αποδέχεται η επιστημονική κοινότητα. Μια διαδικασία που περιλαμβάνει επίδειξη πειραμάτων, ερμηνεία από τους μαθητές, και στη συνέχεια συζήτηση στην τάξη πάνω στο υλικό που



έχει προκύψει, μπορεί να είναι μια πρώτης τάξης ευκαιρία για να διαλογιστούν δάσκαλος και μαθητές ποιες έννοιες και σε πιο βαθμό έχουν κατακτηθεί, σε ποια σημεία θα πρέπει να επανέλθουν και ποιες αναθεωρήσεις θα πρέπει να γίνουν στη διδακτική μεθοδολογία.

**Ευχαριστίες:** Ευχαριστούμε το συνάδελφο Σ. Πέτσιο για την παρουσίαση των πειραμάτων στα λύκεια που δίδασκε χημεία. Επίσης τους συναδέλφους Σ. Γερογιάννη και Κ. Γεωργούση για τη συνεισφορά τους στην κατηγοριοποίηση των απαντήσεων – ερμηνειών των μαθητών και τέλος των Δρ. Γ. Παπαφώτη που ανέγνωσε την εργασία και συνεισέφερε σχόλια και χρήσιμες παρατηρήσεις.

**Πίνακας 2.** Ομαδοποιημένες ερμηνείες του πειράματος α: *Σύνθλιψη αλουμινένιου κουτιού*

Συνοπτική περιγραφή των ερμηνειών του πειράματος κατά ομάδες και κατηγορίες\*

Χαρακτηριστικές απαντήσεις, όπως αυτές διατυπώθηκαν από τους μαθητές (N=143) για την ερμηνεία του πειράματος

**A. Προεπιστημονικές ερμηνείες (10,5)**

Υπάρχει μια αντίθεση στο κρύο νερό και στο ζεστό με αποτέλεσμα όταν αυτά τα δύο έρθουν σε επαφή το κουτί να τσαλακωθεί.

**α. A1.** Η αντίθεση κρύου – ζεστού (2,8)

Το κουτί τσαλακώθηκε γιατί ήταν πολύ ζεστό ενώ το δοχείο είχε πολύ κρύο νερό και έκανε μια αντίθεση.

Η πίεση του κρύου νερού ήταν μεγαλύτερη. Όταν το ζεστό κουτί ήρθε σε επαφή μαζί του, το κρύο νερό πίεσε από έξω προς τα μέσα τα τοιχώματα του κουτιού και το παραμόρφωσε.

**α. A2.** Η επαφή του κρύου με το ζεστό νερό άσκησε πίεση (2,1)

Το κουτί θερμάνθηκε και ήρθε σε επαφή με το κρύο νερό. Ήρθαν σε επαφή δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, το κουτί που ήταν θερμό όταν ήρθε σε επαφή με το κρύο νερό τσαλακώθηκε.

**α. A3.** Αναφορά σε «αντίδραση» θερμού-κρύου (5,6)

Γιατί το νερό μέσα στο δοχείο ήταν κρύο και το λίγο νερό που είχε περισσέψει στο κουτί ζεστό, έτσι καθώς σμίχτηκαν έγινε αντίδραση και τσαλακώθηκε. Επειδή το κουτί αλλάζει απότομα θερμοκρασία, από πολύ ζεστό μπήκε σε κρύο νερό και έγινε αντίδραση.

**B. Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες (32,8)**

Το νερό που υπήρχε στο βαζάκι ήταν πολύ ζεστό εξαιτίας της θέρμανσης από το γκαζάκι, όταν μπήκε στο δοχείο με το κρύο νερό η αλλαγή της θερμοκρασίας ήταν απότομη με αποτέλεσμα το κουτί να τσαλακωθεί.

**α. Β1. Απότομη αλλαγή / διαφορά θερμοκρασίας (26,5)**

Το δοχείο άλλαξε απότομα θερμοκρασία, από το θερμό στο παγωμένο. Όταν το κουτί το βάλουμε στο παγωμένο νερό ήταν ζεστό αφού μόλις προηγουμένως το είχαμε ζεστώνει για αυτό τσαλακώθηκε. Αφού είχαμε θερμάνει το κουτί το βάλουμε σε κρύο νερό έτσι ο αέρας από το κουτί ήταν θερμός ενώ από το νερό κρύωσε για αυτό το κουτί τσαλακώθηκε.

**α. Β2. Ασκήση πίεσης λόγω απότομης αλλαγής θερμοκρασίας (6,3)**

Ασκήθηκαν πιέσεις στο κουτί λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μέσα στο κουτί και στο κρύο νερό. Γυρίζοντας το κουτί ανάποδα και βάζοντας ένα μέρος του μέσα στο νερό τσαλακώθηκε γιατί ασκήθηκαν πιέσεις στο κουτί λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας έξω και μέσα από το κουτί.

**Γ. Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών (40,6)**

Το δοχείο είχε θερμοκρασία πάνω από 100 °C ενώ το νερό είχε 0 °C έτσι την ώρα που το βυθίσαμε λόγω διαφοράς θερμοκρασίας έγινε συστολή.

**α. Γ1. Η απότομη αλλαγή θερμοκρασίας προκάλεσε συστολή στο κουτί / στον αέρα που περιέχει το κουτί (9,1)**

Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του νερού και του κουτιού. Το νερό ήταν παγωμένο ενώ το κουτί ήταν πάρα πολύ ζεστό και έτσι βάζοντας το κουτί στο παγωμένο νερό το κουτί τσαλακώθηκε γιατί έγινε συστολή. Γιατί έγινε απότομη αλλαγή θερμοκρασίας καθώς το βουτήξαμε στο νερό και ο αέρας άρχισε να συστέλλεται, αφού δεν μπορούσε να μπει καινούργιος αέρας γι' αυτό το κουτί τσαλακώθηκε.

**α. Γ2. Λόγω θέρμανσης έχουμε αρχικά διαστολή και στην συνέχεια λόγω ψύξης στο κρύο νερό συστολή (22,4)**

Κατά τη διάρκεια θέρμανσης του το κουτί διαστέλλονταν / και ο αέρας μέσα σ' αυτό / όταν όμως το βάλουμε απότομα μέσα στο κρύο νερό επειδή έπαθε συστολή σε μικρό χρονικό διάστημα / αλλά ταυτόχρονα και ο αέρας που περιείχε / γι' αυτό τσαλακώθηκε.

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης του κουτιού ο αέρας που είχε μέσα διαστέλλονταν συνεχώς. Όταν το βυθίσαμε στο νερό ο αέρας συστάθηκε απότομα και επειδή δεν μπορούσε να μπει καινούργιος αέρας μέσα το κουτί παραμορφώθηκε.

Στο κουτί όταν το νερό εξατμίζεται δημιουργούνται υδρατμοί που παίρνουν τη θέση του αέρα. Όταν το βυθίζουμε μέσα στο κρύο νερό οι υδρατμοί υγροποιούνται και πέφτουν και στη θέση τους δημιουργείται κενό αέρος και επειδή δεν υπάρχει αέρας να πάει στη θέση των υδρατμών το κουτί τσαλακώνεται.

**α. Γ3. Αναφορά σε υδρατμούς και στο κενό (3,5)**

Μέσα στο κουτί υπήρχαν υδρατμοί με πολύ υψηλή θερμοκρασία. Όταν το βάλουμε σε κρύο νερό έγινε απότομη συστολή των ατμών, οι υδρατμοί άλλαξαν φυσική κατάσταση. Η απότομη αυτή αλλαγή έκανε το κουτί να τσαλακωθεί.

Μαζί με το νερό που εξατμίστηκε, κάηκε και το οξυγόνο και όταν βάλουμε το κουτί στο δοχείο με το κρύο νερό δεν έμεινε οξυγόνο και η πίεση του δωματίου το τσαλάκωσε.

**α. Γ4. Απουσία / μείωση/ αέρα/ οξυγόνου από το κουτί κατά την θέρμανση και πίεση που ασκήθηκε στην εξωτερική επιφάνεια του κουτιού (5,6)**

Μαζί με τον ατμό βγήκε και ο αέρας που υπήρχε στο κουτί και όταν το βυθίσαμε στο νερό κλείστηκε η τρύπα ώστε να μην παίρνει αέρα. Το κουτί άρχισε να στραβώνει από την πίεση που ασκήθηκε από το εξωτερικό μέρος του κουτιού.

Όταν ζεσταίνουμε το νερό μαζί με τον ατμό που βγαίνει, βγαίνει και το οξυγόνο που υπάρχει μέσα στο κουτί και αφού δεν υπάρχει μέσα οξυγόνο και το νερό κλείνει την τρύπα, η πίεση του αέρα προκαλεί τσαλάκωση στο κουτί.

#### **Δ. Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες (5,6)**

Γιατί η πίεση που δέχτηκε το κουτί ήταν μεγαλύτερη από την πίεση που υπήρχε μέσα, δηλαδή διαφορά πίεσης.

**α. Δ. Διαφορά πίεσης μέσα και έξω από το κουτί (5,6)**

Ασκείται πάνω του μεγάλη πίεση από τον εξωτερικό αέρα έτσι ώστε η πίεση μέσα του από το θερμό αέρα υποχωρεί και τσαλακώνεται λόγω της διαφοράς πίεσης.

Η διαφορά πίεσης έξω -μέσα στο κουτί είχε ως αποτέλεσμα η πίεση που υπήρχε έξω και ήταν μεγαλύτερη να πέσει τα τοιχώματα του δοχείου προς τα μέσα όπου η πίεση ήταν σχεδόν ανύπαρκτη.

Γιατί οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που υπάρχουν στο νερό δεν μπορούσαν να αντέξουν την υπερθέρμανση του κουτιού.

**α. Ε. Αταξινόμητες (8,4)**

Γιατί μέσα στο κουτί υπάρχει θερμοκρασία και δεν υπάρχει αέρας.

**α. ΣΤ. Δεν απαντούν (2,1)**



**Πίνακας 3.** Ομαδοποιημένες ερμηνείες του πειράματος β: *Καύση κεριού σε ανεστραμμένο κύλινδρο που στηρίζεται σε δοχείο με νερό*

Συνοπτική περιγραφή των ερμηνειών του πειράματος κατά ομάδες και κατηγορίες*	Χαρακτηριστικές απαντήσεις, όπως αυτές διατυπώθηκαν από τους μαθητές ( N=107) για την ερμηνεία του πειράματος
<b>A. Προεπιστημονικές ερμηνείες (29,0)</b>	
<b>β. Α1. Αναφορά στη φλόγα του κεριού (4,7)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Η φλόγα του κεριού εμποδίζει το νερό να ανέβει.</li><li>• Η φλόγα του κεριού μειώνει την πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα.</li></ul>
<b>β. Α2. Ο αέρας στον κύλινδρο ζεσταίνεται και κινείται προς τα πάνω και τον κενό χώρο που δημιουργείται καλύπτει το νερό (5,6)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ο αέρας που βρισκόταν μέσα στον κύλινδρο ζεστάθηκε με αποτέλεσμα να γίνει ελαφρότερος και να πάει προς τα πάνω. Το κενό που δημιουργήθηκε καλύφθηκε από το νερό. / Ο χώρος που δημιουργήθηκε καλύφθηκε από νερό. / Το νερό βρήκε χώρο και ανέβηκε.</li><li>• Ο αέρας που βρισκόταν στο κύλινδρο ανέβηκε προς τα πάνω και έτσι το νερό βρήκε χώρο και η στάθμη ανέβηκε.</li></ul>
<b>β. Α3. Στον κύλινδρο δημιουργήθηκε κενό και η στάθμη του νερού ανέβηκε για να αναπληρώσει το κενό (18,7)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Λόγω δημιουργίας κενού στο εσωτερικό του σωλήνα το νερό ανεβαίνει για να αναπληρώσει / να καλύψει / να καταλάβει / το κενό.</li><li>• Αυτό συνέβη γιατί δημιουργήθηκε ένα κενό αέρος στο εσωτερικό του σωλήνα και ανεβαίνει η στάθμη του νερού για να επέλθει ισορροπία.</li><li>• Μέσα στο σωλήνα / δεν υπάρχει αέρας / καταναλώθηκε το οξυγόνο (λόγω καύσης, το κεριό έκαψε το οξυγόνο) άρα το νερό ανέβηκε / λόγω κενού / γιατί το κενό τραβάει το νερό έτσι ώστε το δοχείο να γεμίσει.</li></ul>

**Β. Αναφορά σε επιστημονικές έννοιες (28,9)**

- Μέσα στο νερό υπάρχει οξυγόνο, επειδή ο κύλινδρος δεν είχε οξυγόνο αυτό είναι σαν να αντικαθιστά το ελλειπές οξυγόνο.
- Το οξυγόνο που απαιτείται για την καύση προστάθηκε να το πάρει από το νερό, παρόλα αυτά δεν πρόλαβε.
- Ο κύλινδρος δεν είχε οξυγόνο και η στάθμη του νερού ανέβηκε επειδή ο κύλινδρος βρήκε οξυγόνο από το νερό.
- Λόγω έλλειψης οξυγόνου που απαιτείται για την καύση και τη θέση του πήρε το νερό / βρήκε χώρο το νερό και ανέβηκε.
- Με την καύση του οξυγόνου, ο όγκος του αερίου μειώθηκε και έτσι η στάθμη του νερού ανέβηκε για να καλύψει το κενό που δημιουργήθηκε.
- Γιατί το οξυγόνο χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η καύση και έτσι λιγότεψε ο αέρας που ήταν μέσα στο κύλινδρο συνεπώς το νερό πήρε όλο το χώρο που του δόθηκε.

**β. Β1.** Τη θέση του οξυγόνου την πήρε το νερό επειδή περιέχει οξυγόνο (6,5)

**β. Β2.** Η μείωση οξυγόνου / αέρα / λόγω της καύσης επέτρεψε στην στάθμη του νερού ν' ανέβει (22,4)

**Γ. Συσχέτιση επιστημονικών εννοιών για την ερμηνεία (12,1)**

- Όταν το κερί σβήσει λόγω του ότι στο σωλήνα μικραίνει η πίεση από την απώλεια οξυγόνου η στάθμη του νερού ανεβαίνει.
- Γιατί κάηκε / δεν υπάρχει / οξυγόνο και πέφτει η πίεση στον κύλινδρο και ανεβαίνει η στάθμη του νερού.
- Αυτό συνέβη γιατί μέσα στο γυάλινο σωλήνα δεν υπήρχε αέρας και δεν ασκούσαν πίεση στο νερό.

**β. Γ.** Η απώλεια οξυγόνου κατά την καύση ελαττώνει την πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου

**Δ. Μερικώς επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες (14,0)**

- Λόγω μείωσης / τελείωσης / το οξυγόνο του αέρα λόγω καύσης δημιουργείται **διαφορά πίεσης μέσα και έξω** από το σωλήνα.
- Λόγω **δημιουργίας κενού στο εσωτερικό του σωλήνα / μειώθηκε ο αέρας στο σωλήνα / εξαντλήθηκε το οξυγόνο / και με τη βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης / της πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του νερού του δοχείου / η στάθμη ανέβηκε.**
- Το οξυγόνο **τελείωσε μέσα στο σωλήνα υπήρχε κενό. Η ατμοσφαιρική πίεση έξω από το σωλήνα πιέζει την επιφάνεια του νερού και το νερό διέρχεται το σωλήνα.**

**β. Δ. Λόγω μείωσης του οξυγόνου κατά την καύση δημιουργείται διαφορά πίεσης μέσα και έξω από τον σωλήνα**

- Η στάθμη του νερού ανεβαίνει λόγω του ότι το γυαλί είναι κακός αγωγός της θερμότητας.
- Όταν το κερί σβήνει έχουμε μεγάλη ατμοσφαιρική πίεση και η στάθμη του νερού ανεβαίνει.
- Με το σβήσιμο του κεριού απελευθερώθηκαν διάφορα αέρια και άρχισαν να απορροφάνε το νερό προς πάνω.

**β. Ε. Αταξινόμητες (5,6)**

Η πλειονότητα των μαθητών στην κατηγορία αυτή δεν απαντάει στο ερώτημα που τους ετέθη, αναφέρουν μόνο ότι «η φλόγα του κεριού έσβησε γιατί δεν υπάρχει οξυγόνο».

**β. ΣΤ. Δεν απαντούν (10,3)**

- Σε παρένθεση το ποσοστό % των απαντήσεων σε κάθε κατηγορία

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Angelo, T., Cross, K. (1993). Classroom assessment techniques. Jossey-Bass: San Francisco.

2. Bowen, C. W., Phelps, A. J. (1997). Demonstration-based cooperative testing in general chemistry: A broader assessment-of-learning technique. *Journal of Chemical Education*, 74, 715-719.

3. Brook, A., Driver, R. (1989). Progression in science: the development of pupils' understanding of physical characteristics of air across the age range 5-16. Centre for studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.

4. Clarke, J. (1990). Patterns of thinking: Integrating thinking skills in content teaching. Boston: Allyn and Bacon.

5. Crobie, A. C. (1979). Augustine to Galileo –Science in middle ages (volume I). Heinemann Educational Books. (Από τον Αυγουστίνο στον Γαλιλαίο- Η επιστήμη στο μεσαίωνα – τόμος Ι. Μετάφρ.: Θ. Τσίρη και Ι. Αρζόγλου. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης. Αθήνα. 1989).

6. Deese, W. Ramsey, L. L., Walczyk, J., Eddy, D. (2000). Using demonstration assessments to improve learning. *Journal of Chemical Education*, 77(1), 1511-1516.

7. Deci, E. L. (1972a). Effects of contingent and non-contingent rewards and controls on intrinsic motivation. *Organizational Behavior & Human Performance*, 8, 217-229.

8. Deci, E. L. (1972b). Intrinsic motivation, extrinsic reinforcement and inequity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 31, 81-85.

9. Demasters, S., Good, R., Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666.

10. Driver, R., Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

11. EngelClough, E., Driver, R. (1985). What do children understand about pressure in fluids? *Research in Science and Technology Education*, 3(2), 133-144.

12. Garnett, P. J., Garnett, P. J., Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.

13. Gunstone, R. F., White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-299.

14. Gunstone, R. F. (1994). The importance of specific content in the enhancement of metacognition. In P. J. Fensham, R. Gunstone & R. White (Eds). *The Content of Science*. London: Falmer Press.

15. Guthrie, W. K. C. (1984). The Greek philosophers from Thales to Aristotle. (Οι Έλληνες Φιλόσοφοι από το Θαλή ως τον Αριστοτέλη. Μετάφρ. Α. Η. Σακελλαρίου. Εκδ. Παπαδήμα, Αθήνα. 1993).

16. Hayes, N. (1993). Introduction to cognitive processes. The British Psychological Society. Open Learning Units – Cognitive Processes. (Εισαγωγή στις Γνωστικές Λειτουργίες - Γνωστική Ψυχολογία 2. Μετάφρ. Κ. Σύρμαλη. Επιμ. Α. Κωσταρίδου-Ευκλείδη, Ελληνικά Γράμματα. Αθήνα. 1994).

17. Hawkins, D. (1992). Investigative arts: science and teaching. An opening chairman's address to the 2<sup>nd</sup> International Conference on the history and philosophy of science and science teaching held at Kington, Ontario, Canada.
18. Hodson, R. (1999). Analyzing documentary accounts. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Quantitative Applications in the Social Sciences Series No. 128.
19. Neisser, U. (1976). Cognition and reality. W. H. Freeman, San Francisco.
20. Nussbaum, J. Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instruct Science*, 11, 183-208.
21. Matthews, M. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, 20, 3-15.
22. Miller, S., Robinson, D., Driver, R. (1985). Secondary students' ideas about air and air pressure. In Bell, B., Watts, M, Ellington, K. (eds), Learning, Doing and Understanding in Science, Proceeding of a Conference, 11-13 July, Woolley Hall, Near Wakefield. SSCR, London, pp. 58-63.
23. Osborne, R. J., Freyberg, P. (1985). Learning in science: The implications of childrens' science. Heinemann Educational Books.
24. Sanger, M. J., Phelps, A. J., Fienhold, J. (2000). Using a computer animation to improve student's conceptual understanding of a can-crushing demonstration. *Journal of Chemical Education*, Vol. 77, No. 11, 1517-1520.
25. Sere, M. G. (1986). Children's conceptions of gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 413-425.
26. Sere, M. G. (1985). The gaseous staste. In Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds), Children's ideas in science. Open University Press, Milton Keynes, pp.105-123.
27. Shepardson, D., Moje, E. (1994). The impact of a science demonstration on children's understanding of air pressure. *Journal of Research in Science Education*, 4 (3), 299-309.
28. Shayer, M. (1991). Improving standards and the national curriculum. *School Science Review*, 72 (260), 17-24.
29. Spaw, P. (1993). Μαθαίνοντας να αντιλαμβανόμαστε και να σκεπτόμαστε. *Ανοικτό Σχολείο*, 44.
30. Steadman, M., Svinicki, M. (1998). In classroom assessment and research: An update on uses, approaches and research finding. Angelo, T. Ed., New Directions for teaching and learning 75. Jossey-Bass: San Francisco.
31. Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 552-560.
32. Radford, D., Ramsey, L., Deese, W. (1995). Using science demonstrations to assess conceptual understanding and critical thinking. *Science Teacher*, 62 (7), 52-55.
33. Roberts, C. W. (1997). Text analysis for the social science: Methods for drawing inferences from texts and transcripts. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
34. Sequeira, M., Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75, 45-46.
35. Snell, B. (1972). The discovery of the mind. (Η ανακάλυψη του πνεύματος. Μετάφρ.: Δ. Ιακώβ, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τράπεζας, Αθήνα. 1984).



36. Posner, G., Strike, K., Hewson, P., Gertzog, W. (1982). Accommodation of a science conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

37. Tobin, K., Tippins, D., Gallard, A. (1990). In handbook of research on science teaching and learning (chapter 2). Gabel, D. Ed. Macmillan: New York.

38. Tyler, R. T. (1998). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20 (8), 929-958.

39. Tyler, R. T. (1992). Children's explanations of air pressure generated by small group activities. *Research in Science Education*, 22, 393-402.

40. Tyler, R. T. (1993). Developmental aspects of primary school children's construction of explanations of air pressure: the nature of conceptual change. *Research in Science Education*, 23, 308-316.

41. Vernant, J. P. (1974). *Mythe et société en Grèce ancienne*. Ed. du Seuil. Paris. (Μύθος και σκέψη στην Αρχαία Ελλάδα. Μετάφρ.: Σ. Γεωργούδη. Εκδ. Ζαχαρόπουλος, Αθήνα 1989).

42. Westfall, R. S. (1977). *The Construction of Modern Science – Mechanisms and Mechanics*. Cambridge University Press. (Η Συγκρότηση της Σύγχρονης Επιστήμης. Μετάφρ.: Κ. Ζήση, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1992).

43. Weber, R. P. (1990). *Basic content analysis*. Second ed. Newbury Park, CA: Sage Publications.

44. Wiser, M., Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In G. Gentner and A. L. Stevens (eds), *Mental Models*, NJ: Lawrence Erlbaum. Instruction, 4, 117-121.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπερόπουλος, Σ., Σπηλιώτης, Μ. (1996). *Ερευνώ το φυσικό κόσμο. Φυσικά Ε΄ Τάξης*, Ο.Ε.Δ.Β. Αθήνα.

2. Κωσταρίδου-Ευκλείδη, Α. (1997). *Ψυχολογία Κινήτρων*. (2<sup>η</sup> έκδοση). Ελληνικά Γράμματα, Αθήνα.

3. Ματσαγγούρας, Η. (1998). *Οργάνωση και διεύθυνση της σχολικής τάξης*. Εκδ. Γρηγόρη. Αθήνα.

