

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

A
131

ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Β. ΠΑΠΑΦΩΤΗΣ
ΧΗΜΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2004



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Β. ΠΑΠΑΦΩΤΗΣ
ΧΗΜΙΚΟΣ

ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ
Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

που εκπονήθηκε στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΑΠΑΡΛΗΣ - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - Επιβλέπων Καθηγητής

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΑΓΝΗ ΜΥΛΩΝΑ ΚΟΣΜΑ - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - Μέλος της
συμβουλευτικής επιτροπής

Επίκουρος Καθηγητής ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΩΤΣΗΣ - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - Μέλος της συμβουλευτικής
επιτροπής

Καθηγητής ΓΕΡΟΘΑΝΑΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - Μέλος της εξεταστικής επιτροπής

Καθηγητής ΚΑΛΚΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ - Πανεπιστήμιο Αθηνών - Μέλος της εξεταστικής επιτροπής

Καθηγητής ΤΣΙΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης - Μέλος της εξεταστικής επιτροπής

Αναπληρωτής Καθηγητής ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - Μέλος της
εξεταστικής επιτροπής

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2004



Η επταμελής εξεταστική επιτροπή που ορίστηκε για την κρίση της Διδακτορικής Διατριβής του Γεωργίου Παπαφώτη, Χημικού, συνήλθε σε συνεδρίαση στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων την 19 -1- 2004 , όπου παρακολούθησε την υποστήριξη της διατριβής με τίτλο «Κβαντομηχανικές έννοιες στη χημεία Γ' λυκείου». Η επιτροπή έκρινε ομόφωνα ότι η διατριβή είναι πρωτότυπη και αποτελεί ουσιαστική συμβολή στην πρόοδο της Επιστήμης.

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Καθηγητής ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΕΡΟΘΑΝΑΣΗΣ

Καθηγητής ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΛΚΑΝΗΣ

Καθηγητής ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΙΠΗΣ

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΑΓΝΗ ΜΥΛΩΝΑ ΚΟΣΜΑ

Αναπληρωτής Καθηγητής ΙΩΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΑΠΑΡΛΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΩΤΣΗΣ



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

- Το Δεκέμβριο του 1998 η Ένωση Ελλήνων Χημικών διοργάνωσε το 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική της Χημείας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Ευχαριστώ το Θεό γιατί στο περιθώριο αυτού του συνεδρίου γνώρισα τον κ Τσαπαρλή και άρχισε έτσι μια γόνιμη περίοδος στη ζωή μου, μια περίοδος μαθητείας και συνεργασίας με τον κ. Τσαπαρλή, καρπός της οποίας είναι η διατριβή αυτή.

Με την ολοκλήρωση της όλης προσπάθειας και τη συγγραφή της διδακτορικής διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ Τσαπαρλή για τις συμβουλές, τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια που αφειδώς μου παρέσχε όλα αυτά τα χρόνια.

Πολλοί είναι εκείνοι που στα χρόνια αυτά με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν με διάφορους τρόπους, τους ευχαριστώ όλους.

Ιδιαίτερα όμως νοιώθω την ανάγκη να πω Ευχαριστώ:

Στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ Αγνή Μυλωνά-Κοσμά και Επίκουρο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κώτση οι παρατηρήσεις και τα σχόλια των οποίων μου ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες στην ολοκλήρωση της ερευνητικής μου προσπάθειας.

Στους συναδέλφους χημικούς, καθηγητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, κ.κ. Σπυριδούλα Αγγέλη, Κωνσταντίνο Αντωνίου, Σοφία Βλάχου και Θεοδόσιο Σουλή, τόσο για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στα αρχικά ερωτηματολόγια της πρώτης έρευνας, όσο και για τη διεξαγωγή της έρευνας εκείνης στα σχολεία τους.

Στους συναδέλφους Δρα Δημήτριο Σταμοβλάση και υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Καμπουράκη για τη συμπαράσταση, τις πρακτικές συμβουλές αλλά και όλες τις συζητήσεις που είχαμε κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Σε όλους τους ανώνυμους φοιτητές και μαθητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα αυτή.



Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στη σύζυγο μου Φρειδερίκη Χριστοφόρου-Παπαφώτη και τα πέντε μου παιδιά για τη συμπαράσταση και ανοχή που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Ιωάννινα 12/12/2003

Γ. Παπαφώτης

Με την παρουσίαση και έγκριση της διατριβής μου, που έγινε στις 19 Ιανουαρίου 2004, νοιώθω την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και προς τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής που δε μετείχαν στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Ευχαριστώ τους Καθηγητές κ.κ. Γεροθανάση Ιωάννη, Καλκάνη Γεώργιο, Τσίπη Κωνσταντίνο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημητρόπουλο Ιωάννη τόσο για το γεγονός ότι δέχτηκαν να συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή όσο και για τα καλά τους λόγια αλλά και τις παρατηρήσεις τους σχετικά με τη διατριβή μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους κ.κ. Καλκάνη και Τσίπη καθηγητές στα Πανεπιστήμια Αθηνών και Θεσσαλονίκης αντίστοιχα, που υποβλήθηκαν στον κόπο να έλθουν για το σκοπό αυτό στα Ιωάννινα.

Ιωάννινα 25/1/2004

Γ. Παπαφώτης



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ	3
Α. Αρχές και θεωρίες μάθησης	3
Β. Εποικοδομισμός	7
Γ. Εναλλακτικές ιδέες	10
Δ. Εννοιολογική αλλαγή	11
Ε. Ποιοτική και ποσοτική έρευνα	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΙΜΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	17
Α. Εισαγωγή	17
Β. Έρευνες για παρανοήσεις των κβαντικών εννοιών από μαθητές και σπουδαστές	18
Γ. Διδακτικές συνέπειες και προτάσεις	24
Δ. Εναλλακτικοί τρόποι διδασκαλίας της δομής ατόμων και μορίων	28
Δ.1. Ηλεκτρονιακές δομές – Κβαντικοί αριθμοί	28
Δ.2. Η χρήση μοντέλων ηλεκτρονιακής πυκνότητας για τη διδασκαλία της ηλεκτρονιακής δομής μορίων	30
Δ.3. Electronium αντί ηλεκτρόνιο	31
Ε. Η παρούσα εργασία	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΜΑΤΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ.	35
Α. Ατομική δομή, μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση	35
Β. Η αρχή της αβεβαιότητας	38
Γ. Ατομικά τροχιακά	39
Δ. Πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου	40
Ε. Κβαντικοί αριθμοί	43
Ε.1. Ο πρώτος κβαντικός αριθμός n	43
Ε.2. Ο δευτερεύων ή αζιμουθιακός κβαντικός αριθμός l	43



E.3. Ο τρίτος κβαντικός αριθμός m_l	44
E.4. Ο τέταρτος κβαντικός αριθμός του spin s	44
ΣΤ. Πολυηλεκτρονιακά άτομα	45
Z. Η ενέργεια στο υδρογόνο και στα πολυηλεκτρονιακά άτομα	46
H. Ο υβριδισμός των ατομικών τροχιακών και ο άνθρακας	47
Θ. Μοριακά τροχιακά	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	53
A. Τα υποκείμενα της έρευνας	53
B. Το ερωτηματολόγιο	54
Παράρτημα Α. Ερωτήσεις στα ατομικά και μοριακά τροχιακά. Αρχική έρευνα	61
Παράρτημα Β. Ερωτήσεις στα ατομικά και μοριακά τροχιακά. Δοκιμαστική έρευνα.	65
Παράρτημα Γ. Ερωτήσεις στα ατομικά και μοριακά τροχιακά. Το τελικό ερωτηματολόγιο	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ - ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ	75
A. Εισαγωγή	75
B. Συγκεντρωτική παρουσίαση-επεξεργασία των αποτελεσμάτων	76
Γ. Κατανομή της συνολικής βαθμολογίας των τμημάτων	79
Δ. Σύγκριση συνολικών αποτελεσμάτων των τμημάτων	82
Ε. Ανάλυση παραγόντων	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	89
A. Εισαγωγή	89
B. Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων	90
Ερώτηση 1	90
Ερώτηση 2	93
Ερώτηση 3	96



• Ερώτηση 4	100
Ερώτηση 5	103
Ερώτηση 6	108
Ερώτηση 7	111
Ερώτηση 8	113
Ερώτηση 9	118
Ερώτηση 10	122
Ερώτηση 11	126
Ερώτηση 12	130
Ερώτηση 13	133
Ερώτηση 14	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ	
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	143
A. Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετιζομένων ερωτήσεων.	143
Ερωτήσεις 2 και 3	143
Ερωτήσεις 4 και 5	145
Ερωτήσεις 6 και 7	148
Ερωτήσεις 12 και 13	151
B. Σύγκριση επιδόσεων στις επιμέρους ερωτήσεις	154
Γ. Διερεύνηση σχέσεων με τις επιδόσεις στις πανελλαδικές εξετάσεις	158
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: Η ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ	
ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ.	161
A. Συνεντεύξεις πρώτης φάσης	161
B. Συνεντεύξεις δεύτερης φάσης	164
Παράρτημα Α. Ημιδομημένο ερωτηματολόγιο για τις συνεντεύξεις	167
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ	
ΤΙΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ ΤΗΣ 1^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ	173
Ατομική συνέντευξη 1	173
Ατομική συνέντευξη 2	176
Ατομική συνέντευξη 3	180
Ατομική συνέντευξη 4	183



Ατομική συνέντευξη 5	186
Ατομική συνέντευξη 6	189
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ ΤΗΣ 1^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ.	193
Ομαδική συνέντευξη 1	193
Ομαδική συνέντευξη 2	199
Ομαδική συνέντευξη 3	205
Ομαδική συνέντευξη 4	211
Ομαδική συνέντευξη 5	216
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ-ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ 2^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ	221
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 1	221
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 2	225
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 3	230
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 4	233
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 5	237
Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 6	241
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ	245
A. Αναλυτική παρουσίαση ευρημάτων στις ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14	245
Ερώτηση 1	245
Ερώτηση 5	247
Ερώτηση 7	249
Ερώτηση 8	251
Ερώτηση 13	253
Ερώτηση 14	255
B. Παρουσίαση των ευρημάτων στις υπόλοιπες ερωτήσεις.	258
Ερώτηση 2	258
Ερώτηση 3	258
Ερώτηση 4	259



• Ερώτηση 6	259
Ερώτηση 9	259
Ερώτηση 10	260
Ερώτηση 11	260
Ερώτηση 12	262
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΤ' ΑΤΟΜΟ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΕΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ	263
A. Εισαγωγή	263
B. Απόλυτη αιτιοκρατική προσέγγιση	264
Γ. Αιτιοκρατική προσέγγιση	267
Δ. Αιτιοκρατική-Πιθανολογική προσέγγιση	270
Ε. Αιτιοκρατική-Ενδιάμεση-Πιθανολογική προσέγγιση.	276
Στ. Πιθανολογική-Αιτιοκρατική προσέγγιση	278
Ζ. Συγκεντρωτική παρουσίαση αποτελεσμάτων	286
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ	295
A. Παρουσίαση συμπερασμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια.	295
B. Παρουσίαση συμπερασμάτων από τις συνεντεύξεις	297
Γ. Λόγοι που προκαλούν-συμβάλλουν στις λανθασμένες αντιλήψεις.	300
Δ. Σύγκριση των ευρημάτων της έρευνας αυτής με τα ευρήματα άλλων ερευνών	302
Ε. Σκέψεις για την αντιμετώπιση της κατάστασης	303
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	309
ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	323



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση της κβαντομηχανικής ή πιο συγκεκριμένα των τροχιακών και των ηλεκτρονικών δομών είναι διαδεδομένη στη διδασκαλία της χημείας τόσο στο λύκειο όσο και σε εισαγωγικά μαθήματα γενικής χημείας στα πανεπιστήμια. Παρά το γεγονός αυτό, παρά το γεγονός ότι "η κβαντομηχανική είναι εδώ για να μείνει"(Scepi 1998), υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη αμφισβήτηση α) για τον απόλυτο και όχι σχετικό τρόπο με τον οποίο εισάγονται οι έννοιες και β) για τη χρησιμότητα της διδασκαλίας της κβαντομηχανικής σ' αυτό το επίπεδο, όπου το μαθηματικό υπόβαθρο δεν επαρκεί για τη μαθηματική εισαγωγή των διαφόρων εννοιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται παρερμηνείες, οι οποίες δύσκολα αντιμετωπίζονται στη συνέχεια. Για τους λόγους αυτούς έχουν προταθεί εναλλακτικοί τρόποι διδασκαλίας των σχετικών κεφαλαίων.

Σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα της Γ' λυκείου που εφαρμόστηκε από τη σχολική χρονιά 1999-2000 προβλέπεται η διδασκαλία των εννοιών αυτών στα τμήματα θετικής κατεύθυνσης. Σε ποιο βαθμό οι μαθητές έχουν κατανοήσει τις έννοιες αυτές; Έχουν κατανοήσει το σχετικό και προσεγγιστικό χαρακτήρα τους; Τι παρερμηνείες υπάρχουν; Απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά προσπαθεί, μετά από μια σε βάθος διερεύνηση, να δώσει η έρευνα αυτή που διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων την ακαδημαϊκή χρονιά 2001 - 2002.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, με την ανάπτυξη της ψυχολογίας, το ενδιαφέρον πολλών ψυχολόγων και εκπαιδευτικών στράφηκε στη διδακτική που θα μπορούσε να ορισθεί ως «... ο κλάδος της εφαρμοσμένης παιδαγωγικής, ο οποίος ασχολείται με θέματα συστηματικής διδασκαλίας και μάθησης» (Πετρουλάκης, 1981).

Η διδακτική στηρίζεται και εξετάζει τα τρία βασικά στοιχεία της διδακτικής ενέργειας που είναι ο μαθητής, τα μορφωτικά αγαθά και ο δάσκαλος, και ερευνά

- α) την οργάνωση και μεθοδολογία της διδασκαλίας,
- β) τις μορφές μάθησης και τη χρήση τους για την επίλυση προβλημάτων και
- γ) την επικοινωνία δασκάλου-μαθητών, από την οποία εξαρτάται η επιτυχής έκβαση της μαθησιακής διαδικασίας (Τριλιανός, 2000).

Η διδακτική σήμερα προσφέρει στον εκπαιδευτικό γνώμες και απόψεις πάνω στα προβλήματα της διδασκαλίας, χωρίς μεγάλοστομες διακηρύξεις για καθολική ισχύ, όπως συνέβαινε παλαιότερα. Έτσι εναπόκειται στον εκπαιδευτικό η επιτυχής μεταφορά των πορισμάτων της στη διδακτική πράξη (Γιαννούλης, 1980).

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά α) στις αρχές και τις θεωρίες μάθησης, β) στον εποικοδομισμό, γ) στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών – σπουδαστών, δ) στην εννοιολογική αλλαγή και ε) στα είδη της έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες, την ποιοτική και την ποσοτική έρευνα.

A. Αρχές και θεωρίες μάθησης.

Στο σχολείο κυριαρχούν συνήθως δύο αλληλένδετες διαδικασίες, η διδασκαλία και η μάθηση. Η σύνδεση και η αλληλεπίδραση των διαδικασιών είναι προφανής, αφού σκοπός της διδασκαλίας είναι η παροχή βοήθειας από το δάσκαλο στο μαθητή για να διευκολυνθεί η μάθηση του τελευταίου. Έτσι η σχολική μάθηση βασίζεται κυρίως στη διδασκαλία και η επιτυχία μιας διδασκαλίας κρίνεται συνήθως από την ικανότητα του μαθητή να συγκρατεί μόνιμα και να χρησιμοποιεί σωστά τη διδαχθείσα γνώση, από το βαθμό δηλαδή που έχει



επιτευχθεί η μάθηση. Μια διδασκαλία θα αποδειχθεί χρήσιμη, ποιοτικά ανώτερη και αποτελεσματική, όταν ο δάσκαλος λαμβάνει υπόψη του τις αρχές και τους νόμους της μάθησης, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματά της, καθώς και τους κυριότερους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Από σχετικές με τη μάθηση έρευνες έχουν προκύψει κάποιες αρχές, οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν στη διδακτική πράξη και να την επηρεάσουν αποτελεσματικά. Τέτοιες αρχές είναι:

α) **Η ετοιμότητα για μάθηση**, σύμφωνα με την οποία κανένας μαθητής δεν πρέπει να υποχρεωθεί να εκτελέσει κάποιο μαθησιακό έργο, αν δεν είναι έτοιμος γι' αυτό, αν δηλαδή δεν είναι αρκετά ώριμος στο μυαλό και στο σώμα για ν' αναλάβει μια τέτοια προσπάθεια. Αρκετοί ερευνητές, όπως οι Piaget, Thorndike, Malsow και Bruner (Κολιάδης, 1997), θεωρούν ότι η ετοιμότητα για μάθηση επηρεάζεται από το περιβάλλον και τις εμπειρίες που δέχονται τα παιδιά από αυτό.

β) **Η επανάληψη**, η σημασία της οποίας είχε επισημανθεί και υπερτονισθεί κατά την αρχαιότητα. Είναι γνωστή η λατινική παροιμιώδης φράση «Repetitio est mater studiorum», δηλαδή «Η επανάληψη είναι μήτηρ της μαθήσεως». Σήμερα όμως εκφράζονται αμφιβολίες για το μέγεθος της συμβολής της στη μάθηση, κυρίως όταν οδηγεί σε μηχανική επανάληψη.

γ) **Η συνάφεια**, σύμφωνα με την οποία μάθηση δημιουργείται, όταν βρεθούν χρονικά ή τοπικά πλησίον ένας ερεθισμός και μια αντίδραση του ατόμου. Η συνάφεια αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό για όλες τις συνειρμικές ή συμπεριφορικές θεωρίες μάθησης, σύμφωνα με τις οποίες αν κάποιος εκδηλώνει ορισμένη συμπεριφορά σε συγκεκριμένη κατάσταση, αυτή η συμπεριφορά θα επαναληφθεί με την επανεμφάνιση της ίδια κατάστασης.

δ) **Η ενίσχυση**, που αναφέρεται συνήθως σε κάθε μορφής αμοιβή που έρχεται ως επακόλουθο μιας αντίδρασης του οργανισμού σ' ένα ερέθισμα. Έτσι, μια πράξη Α μαθαίνεται ευκολότερα, όταν αμέσως μετά απ' αυτήν ακολουθήσει μια παλιά και ευχάριστη πράξη Β, έτσι ώστε να φαίνεται η Β ως πιθανό ενδεχόμενο της Α. Η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης στη μάθηση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ένας από τους οποίους αναφέρεται στον τρόπο και το χρόνο παροχής της στους μαθητές.

ε) **Η παρώθηση**, που είναι η δυναμική εκείνη διαδικασία που κινητοποιεί και κατευθύνει την ανθρώπινη συμπεριφορά προς την υλοποίηση κάποιων σκοπών. Είναι δηλαδή η παρώθηση μια υποθετική διαδικασία ή μια σειρά υποθετικών διαδικασιών, η οποία θέτει σε



κίνηση, κατευθύνει, υποστηρίζει και τέλος σταματά μια ακολουθία συμπεριφοράς που είναι προσανατολισμένη σε κάποιο σκοπό. Η παρουσία ή η απουσία της παρώθησης εξηγεί το γεγονός ότι κάποιοι μαθητές θέλουν να μάθουν, ενώ κάποιοι άλλοι αδιαφορούν, αλλά και δημιουργεί την ανάγκη να παρακινήσει ο δάσκαλος το ενδιαφέρον των μαθητών για συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο.

Αποτέλεσμα των πολλών ερευνών που έχουν γίνει, από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, για το φαινόμενο της μάθησης ήταν η δημιουργία θεωριών μάθησης που άσκησαν βαθιά επιρροή στην οργάνωση και διεξαγωγή της διδασκαλίας.

Οι πρώτες θεωρίες μάθησης ήταν άμεσα επηρεασμένες από το συμπεριφορισμό, που έχει τις ρίζες του στο ρεαλισμό, και προσπάθησαν να ερμηνεύσουν την ανθρώπινη μάθηση (Κολιάδης, 1997):

α) Με το πρότυπο της **κλασικής εξαρτημένης μάθησης**, όπου έχουμε τη δημιουργία υποκατάστατων αντανακλαστικών (Pavlov, Watson, Guthrie).

β) Ως **δοκιμή και πλάνη - επιτυχία** (Thorndike).

γ) Με τη **συντελεστική μάθηση**, όπου έχουμε επανάληψη μιας αντίδρασης μετά από θετική ενίσχυση (Skinner).

Σημειώνεται ότι κεντρική θέση του συμπεριφορισμού είναι η άποψη ότι ο οργανισμός αποτελεί «εξαρτημένη μεταβλητή» των περιβαλλοντικών επιδράσεων, από τους οποίους σχεδόν αποκλειστικά διαμορφώνεται, εδραιώνεται και ελέγχεται η συμπεριφορά.

Παράλληλα σχεδόν με την εμφάνιση και ανάπτυξη του συμπεριφορισμού, άρχισε βαθμιαία να διαφαίνεται ότι οι στηριγμένες στον απόλυτο συμπεριφορισμό θεωρίες δεν επαρκούσαν για την ερμηνεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Έτσι δεν μπορούσαν να ερμηνεύσουν πλήρως το φαινόμενο της μάθησης, αφού η συνάφεια μεταξύ ερεθισμού και αντίδρασης δεν κρίθηκε επαρκής για να ερμηνεύσει ικανοποιητικά το πώς αποκτά ο άνθρωπος τη γνώση, ιδιαίτερα όταν επιδιώκεται ουσιαστική κατανόηση πολύπλοκων αντικειμένων.

Έχουμε έτσι την **ενορατική μάθηση** των Wertheimer, Koffka, Kohler, Lewin, την **εμπρόθετη-σκόπιμη μάθηση** και τους «**νοητικούς χάρτες**» ή «**χάρτες εννοιών**» του Tolman (Κολιάδης, 1997), που απομακρύνονται από το απόλυτο συμπεριφοριστικό πρότυπο και επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους γύρω από την ανθρώπινη σκέψη και τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος νους αντιλαμβάνεται, συλλαμβάνει τις σχέσεις των πραγμάτων,

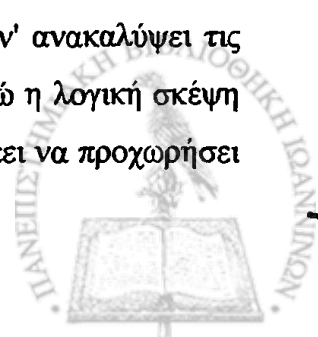
σκέπτεται και αντιδρά στις διάφορες καταστάσεις.

Εισάγεται έτσι μια νέα θεώρηση για την ανθρώπινη μάθηση και προετοιμάζεται το πεδίο επιστημονικής έρευνας για τις επερχόμενες **γνωστικές** θεωρίες μάθησης, τις οποίες εισάγουν οι επιστημονικές έρευνες των πρώιμων γνωστικών ψυχολόγων Piaget, Bruner, Ausubel, κ.ά. Οι μελέτες των ερευνητών εστιάζονται τώρα στη διερεύνηση των **γνωστικών δομών** και των **εσωτερικών διαδικασιών** του ανθρώπου, με τις οποίες αυτός έρχεται σε επαφή και κατανοεί τον κόσμο που τον περιβάλλει.

Οι γνωστικοί ψυχολόγοι υποστηρίζουν ότι η μάθηση είναι αποτέλεσμα διεργασιών που γίνονται στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Όμως παρά το ότι αναγνωρίζουν τη σημασία των νοητικών λειτουργιών κατά τη διαδικασία της μάθησης, ο καθένας σχηματίζει τη δική του υπόθεση και δίνει τη δική του ερμηνεία στο φαινόμενο της μάθησης.

Κατά τον J. Piaget, πηγή της γνώσης είναι η δράση. Ως αποτέλεσμα της δράσης, νέα αντικείμενα και γεγονότα ενσωματώνονται στα υπάρχοντα νοητικά σχήματα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **αφομοίωση**. Η αφομοίωση, στο βαθμό που τα νέα σχήματα διαφέρουν από τα υπάρχοντα, δημιουργεί ένα είδος **ανισορροπίας** στον οργανισμό, η οποία αίρεται με τη **συμμόρφωση**, που είναι συγγενής προς τη μάθηση. Τα νοητικά σχήματα μεταβάλλονται, προσαρμόζονται, για ν' ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των νέων αντικειμένων. Αυτό επιτυγχάνεται ή με την ένταξη των νέων αντικειμένων στις υπάρχουσες γνωστικές δομές, ή με τη δημιουργία νέων σχημάτων, ή με την προσαρμογή των παλιών σχημάτων στα νέα δεδομένα. Αυτή η τάση του ανθρώπινου οργανισμού για αποκατάσταση της ισορροπίας καλείται **εξισορρόπηση** (Κολιάδης, 1997). Η αφομοίωση και η συμμόρφωση είναι, επομένως, δύο πλευρές ενός νομίσματος, οι θεμελιώδεις και συμπληρωματικές διαδικασίες που γίνονται ταυτόχρονα σε κάθε ενέργεια προσαρμογής (Bliss, 1994, 1995).

Βασικά αντικείμενα της έρευνας του J. Bruner ήταν η δομή της γνώσης, η αναπαράσταση των γνώσεων, η ανακαλυπτική-ερευνητική μάθηση και η διαισθητική σκέψη. Πιστεύει ότι η γνώση της δομής των αντικειμένων, δηλαδή η γνώση των βασικών σχέσεων και αρχών που διέπουν τα αντικείμενα, συντελεί κατά πολύ στην αποτελεσματική μάθησή τους. Ο Bruner υποστηρίζει την ανακαλυπτική-ερευνητική μάθηση, κατά την οποία ο μαθητής με τις δικές του δυνάμεις προσπαθεί να εμβαθύνει στο αντικείμενο και ν' ανακαλύψει τις θεμελιώδεις αρχές και σχέσεις που διέπουν τα επιμέρους στοιχεία του. Εδώ η λογική σκέψη του ατόμου παίζει σημαντικό ρόλο, όμως θεωρεί επίσης ότι το άτομο πρέπει να προχωρήσει



παραπέρα και να καλλιεργήσει τη διαισθητική σκέψη, που του επιτρέπει να κάνει πνευματικά άλματα, να πρωτοτυπεί, να εφευρίσκει και να συλλαμβάνει ριζοσπαστικές λύσεις σε προβληματικές καταστάσεις (Κολιάδης, 1997).

Ο D. Ausubel διατύπωσε μια δική του άποψη για τη μάθηση, την οποία αποκάλεσε νοηματική λεκτική ή νοηματική παραληπτική μάθηση. Υποστηρίζει ότι η νοηματική μάθηση είναι μια διαδικασία σύνδεσης, συσχέτισης και ενσωμάτωσης κατά ιεραρχικό τρόπο των νέων γνώσεων με τις γνώσεις που προϋπάρχουν στη γνωστική δομή του ατόμου, με τις οποίες πρέπει να έχουν κάποια κοινά σημεία, αλλιώς η μάθηση θα είναι μηχανική, θα στηρίζεται στην απομνημόνευση. Επομένως μεταξύ νοηματικής μάθησης και γνωστικής δομής υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση αλληλεξάρτησης και αλληλεπίδρασης. Κατά την άποψή του, το σχολείο στοχεύει στη δημιουργία μιας καλά οργανωμένης γνωστικής δομής στο μαθητή, η οποία εκφράζει κάποιο νόημα και είναι η συνισταμένη αλληλοεξαρτώμενων επιμέρους γνώσεων. Αυτή η γνωστική δομή κρίνεται απαραίτητη για την επιβίωση και την ενσωμάτωση του μαθητή στην κοινωνία (Κολιάδης, 1997).

B. Εποικοδομισμός

Οι μελέτες των πιο πάνω αλλά και άλλων γνωστικών ψυχολόγων αποτελούν τα πρόδρομα γνωστικά εποικοδομιστικά μοντέλα μάθησης, αν και οι ρίζες του εποικοδομισμού μπορούν να αναζητηθούν στο έργο του Giambattista Vico "Η καινούργια επιστήμη" στις αρχές του 18^{ου} αιώνα (Κουλαϊδής, 1994). Τα εποικοδομιστικά μοντέλα μάθησης, ενώ προτάσσουν τα γνωστικά έναντι των συμπεριφοριστικών μοντέλων μάθησης, δεν αποδέχονται τις απόψεις του Ausubel αλλά εκείνες της ευρετικής-ανακαλυπτικής του Bruner. Τα μοντέλα αυτά θεωρούν απαραίτητο το ρόλο του δασκάλου για την καθοδήγηση της μάθησης, αλλά δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη δημιουργία κινήτρων στους μαθητές, για να μπορέσουν να αναπτύξουν και να διευρύνουν τις γνώσεις που κατέχουν με το δικό τους τρόπο και όχι να καθοδηγούνται από προκαθορισμένες ενέργειες (Κολιάδης, 1997).

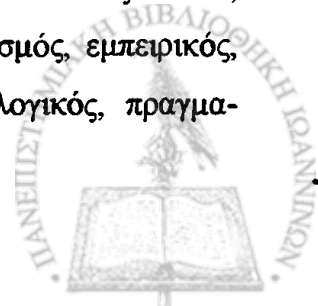
Η θεωρία που περισσότερο από κάθε άλλη στηρίζει τη σύγχρονη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών είναι ο εποικοδομισμός (Τσαπαρλής 2000, Taber 2000). Είναι σήμερα ευρέως αποδεκτό, τουλάχιστο στις γενικές γραμμές, ότι η μάθηση είναι μια ενεργός διαδικασία, η οποία λαμβάνει χώρα στο μυαλό του μαθητή και κατά τη διάρκεια της, πληροφορίες από διάφορες πηγές στο περιβάλλον, επανερμηνεύονται σε όρους

προϋπάρχουσας γνώσης και κατανόησης. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η νοηματική μάθηση απαιτεί ο μαθητής να κατανοήσει τη νέα γνώση σε όρους της υπάρχουσας γνωστικής δομής.

Η γνώση του φυσικού κόσμου ερμηνεύεται από δύο διαμετρικά αντίθετα φιλοσοφικά ρεύματα το ρεαλισμό και τον εμπειρισμό. Σύμφωνα με το ρεαλισμό, οι φυσικές έννοιες και οι φυσικοί νόμοι υπάρχουν αυτοτελώς ως αντικειμενική πραγματικότητα και οι επιστήμονες αυτό που κάνουν είναι να ανακαλύπτουν αυτήν την αντικειμενική επιστημονική γνώση. Κατά συνέπεια οι δάσκαλοι διδάσκουν αυτήν την αντικειμενική γνώση στους μαθητές. Αντίθετα, σύμφωνα με τον εμπειρισμό αυτά που γνωρίζουμε ως φυσική επιστήμη δεν είναι τίποτε άλλο παρά τα δημιουργήματα των επιστημόνων (της επιστημονικής σκέψης). Ο εποικοδομισμός βρίσκεται ανάμεσα στις ακραίες εκδοχές των δύο αυτών φιλοσοφικών ρευμάτων και θεωρείται εναρμονισμένος με τον εμπειρισμό, με αποτέλεσμα να εμπλέκεται στη μεταξύ τους διαμάχη και να δέχεται την ανάλογη κριτική (Κόκκοτας, 1997). Ο εποικοδομισμός της γνώσης, δηλαδή δεν είναι τίποτε άλλο παρά αυτή ακριβώς η εμπειρική προσέγγιση του φυσικού κόσμου. Σύμφωνα με τους εποικοδομιστές, κάθε άτομο οικοδομεί τη δική του γνώση με μια ενεργητική και όχι παθητική διαδικασία, με τέτοιο τρόπο ώστε οι εννοιολογικές δομές που σχηματίζει (η γνώση δηλαδή) να είναι βιώσιμες στον κόσμο των εμπειριών του, μέσα στην παράδοση της σκέψης και της γλώσσας του (Glaserfeld, 1989a, 1989b).

Από την εποικοδομική πλευρά, η μάθηση είναι το προϊόν της **αυτοοργάνωσης**. Η γνώση ποτέ δεν αποκτάται παθητικά, διότι δεν μπορούμε να χειρισθούμε τη νέα γνώση παρά εάν την αφομοιώσουμε σε μια γνωστική δομή που ήδη υπάρχει. Πράγματι το άτομο δεν αντιλαμβάνεται μια εμπειρία ως νέα, εφόσον αυτή δεν προκαλεί κάποια διαταραχή, σχετική με κάποιο αναμενόμενο αποτέλεσμα. Μόνο σε αυτήν την περίπτωση η εμπειρία μπορεί να οδηγήσει σε αφομοίωση και γι' αυτό σε μια νέα εννοιολογική δομή που φέρνει μια νέα ισορροπία. Η νέα αυτή εννοιολογική δομή, στο βαθμό που είναι επαρκής και σε νέες καταστάσεις, προκαλεί εμπειρίες επιτυχίας. Η βίωση τέτοιων εμπειριών παρακινεί διανοητικά τους μαθητές να θέλουν να κατασκευάσουν νέες εννοιολογικές δομές και έτσι να αναπτύξουν τη γνώση και κατανόησή τους.

Ο εποικοδομισμός είναι μια ποικιλόμορφη σύνθεση. Έτσι κατά τους Good, Wandersee και Julien έχει τις εξής παραλλαγές: διαλεκτικός εποικοδομισμός, εμπειρικός, επεξεργασίας πληροφοριών, μεθοδολογικός, πιαζετιανός, μεταεπιστημολογικός, πραγμα-



τιστικός, ρεαλιστικός, κοινωνικός, κοινωνικοϊστορικός (Κόκκοτας, 1997). Ενώ ο Ernest αναφέρει τέσσερις μορφές που είναι επεξεργασίας πληροφοριών, ασθενής, κοινωνικός και ριζοσπαστικός εποικοδομισμός (Ernest, 1994). Ακριβώς για αυτό το λόγο, στην ύπαρξη δηλαδή πολλών μορφών, η απάντηση στο «Τι είναι ο εποικοδομισμός;» όχι μόνο είναι δύσκολο να δοθεί, αλλά μπορεί να αμφισβητηθεί ακόμη και η δυνατότητα να τεθεί αυτή η ερώτηση (Βλάχος, 1997 στο Κόκκοτας, 1997).

Παρά τις πολλές μορφές, μπορούν να διακριθούν τρεις σημαντικές, βασικές, παραλλαγές του εποικοδομισμού, ο **ψυχολογικός ή γνωστικός εποικοδομισμός** του Piaget, ο **κοινωνικός εποικοδομισμός** του Durkheim και ο **ριζοσπαστικός εποικοδομισμός** του von Glasersfeld.

Κατά τον **ψυχολογικό εποικοδομισμό** του Piaget η νοηματική ανάπτυξη του ατόμου συντελείται μέσω μιας δυναμικής αλληλεπίδρασης του ατόμου με το φυσικό κόσμο, μια διαδικασία που είναι προσωπική-εξατομικευμένη. Μέσα από αυτήν την αλληλεπίδραση δημιουργεί το άτομο τις δικές του εννοιολογικές δομές που, στο εύρος των εμπειριών που είναι βιώσιμες, αποφέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα χωρίς εννοιολογικές συγκρούσεις και αντιθέσεις.

Ο **κοινωνικός εποικοδομισμός**, που ανάγεται στο έργο του Durkheim, θεωρεί σημαντική για τη δόμηση της γνώσης τη γλώσσα και την επίδραση του κοινωνικού περιβάλλοντος. Οι άνθρωποι οικοδομούν τη γνώση όχι μόνο με ατομικές διαδικασίες, αλλά κυρίως με τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις μια και ο άνθρωπος είναι κοινωνικό ον και η ανάπτυξη της γνώσης του βασίζεται στις προηγούμενες εμπειρίες του και το κοινωνικό του περιβάλλον (Wheatley, 1991). Ο κοινωνικός εποικοδομισμός θεωρεί ότι το μοντέλο για τον κόσμο είναι αυτό που έχει δομηθεί από την κοινωνία, με βάση τις κοινές εμπειρίες για την υπάρχουσα φυσική πραγματικότητα. Αυτή η κατασκευασμένη από τους ανθρώπους πραγματικότητα αλληλεπιδρά και διαμορφώνεται συνεχώς, για να ταιριάζει με την οντολογική πραγματικότητα, αν και ποτέ δε θα μπορέσει να δώσει μια "αληθινή εικόνα" από αυτή (Ernest, 1994). Μια μορφή κοινωνικής αλληλεπίδρασης είναι προφανώς και η διδασκαλία.

Τέλος, κατά την πιο πρόσφατη εκδοχή, το **ριζοσπαστικό εποικοδομισμό** του von Glasersfeld (1989a), η γνώση δεν αντανakλά μια "αντικειμενική πραγματικότητα", αλλά αποτελεί αποκλειστικά τη διάταξη και οργάνωση ενός κόσμου αποτελούμενου από τις

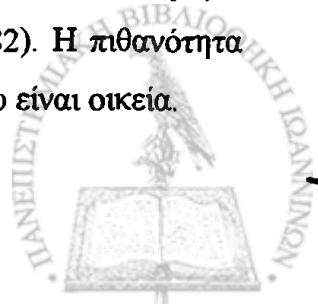
εμπειρίες μας. Η γνώση αυτή μπορεί να προσαρμόζεται στις εκάστοτε νέες εμπειρίες. Οι μαθητές οικοδομούν ενεργητικά νέες σημασίες με τη χρησιμοποίηση των εννοιολογικών δομών που ήδη έχουν, για να ερμηνεύσουν νέες πληροφορίες με τρόπο που να δίνουν νόημα σ' αυτές. Οι μαθητές φτιάχνουν νέους συνδέσμους μεταξύ επιλεγμένων όψεων των εισερχομένων ερεθισμάτων και των εννοιών που ήδη υπάρχουν στη μακρόχρονη μνήμη. Αυτή η εποικοδόμηση σημασιών ενσωματώνεται μετά στη μακρόχρονη μνήμη και αποτελεί μια νέα εννοιολογική δομή.

Γ. Εναλλακτικές ιδέες

Από πολύ νωρίς, πριν ακόμα φοιτήσουν στο σχολείο, τα παιδιά στην προσπάθειά τους να δώσουν νόημα στον κόσμο μέσα στον οποίο ζουν, αρχίζουν, μέσω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων και μέσα από την κοινωνική επαφή και τη γλώσσα, να οικοδομούν ένα ευρύ φάσμα ιδεών για το πώς λειτουργεί ο κόσμος, να κατασκευάζουν τις απόψεις τους και τη δική τους ερμηνεία για το φυσικό κόσμο. Οι ιδέες αυτές χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν και να ερμηνεύσουν ό,τι υποπίπτει στην αντίληψή τους, είναι επαρκείς για την ερμηνεία των φαινομένων και συγκροτούν μια αυτοσυνεπή ως ένα βαθμό γνωστική δομή.

Αυτές οι ιδέες που έχουν τα παιδιά για τα φυσικά φαινόμενα πριν καν τα διδαχτούν στο σχολείο, και που πολλές φορές επηρεάζονται ελάχιστα από την παραδοσιακή ή την πειραματική διδασκαλία (Ψύλλος, Κουμαράς & Καριώτογλου, 1993), παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη μάθηση. Ο τρόπος που οι μαθητές παρατηρούν, ερωτούν, καταλήγουν σε συμπεράσματα και γενικά αντιλαμβάνονται τη διδασκόμενη ύλη, αλλά και ότι διαβάζουν στα σχολικά εγχειρίδια, επηρεάζεται από τα διαφορετικά ερμηνευτικά σχήματα που έχουν δημιουργήσει. Όταν ο μαθητής ακούσει ή διαβάσει μια επιστημονική πρόταση, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το νόημα που θα δώσει να μην είναι το ίδιο με εκείνο που ήθελε να αποδώσει ο δάσκαλος ή εκείνο στο οποίο αποβλέπει ο συγγραφέας του εγχειριδίου.

Ενας βασικός λόγος για αυτό είναι ότι για να την κατανοήσει, πρέπει να χρησιμοποιήσει την ερμηνεία που ο ίδιος έχει δώσει στις χρησιμοποιούμενες λέξεις, που πολλές φορές είναι η καθημερινή ερμηνεία. Είναι λοιπόν πολύ πιθανό η ερμηνεία που ο μαθητής δίνει στις λέξεις να μην είναι εκείνη που είχε στο μυαλό του ο δάσκαλος ή ο συγγραφέας του σχολικού εγχειριδίου (Gilbert, Osborne & Fensham, 1982). Η πιθανότητα αυτή γίνεται μάλιστα μεγαλύτερη αν η γλώσσα που χρησιμοποιείται δεν του είναι οικεία.



Μερικές από τις ιδέες που χρησιμοποιούν τα παιδιά για το φυσικό κόσμο είναι τόσο εδραιωμένες, που δεν αλλάζουν με τη διδασκαλία. Έτσι, παρόλο που μερικά παιδιά μπορούν να εφαρμόσουν τις επιστημονικές ιδέες σε προβλήματα των εξετάσεων, αποτυγχάνουν να τις εφαρμόσουν εκτός του σχολείου για να ερμηνεύσουν μερικά φαινόμενα. Οι ιδέες των παιδιών είναι δυνατό να παραμένουν όχι μόνο μετά τη διδασκαλία, αλλά και μετά την ενηλικίωσή τους (Κόκκοτας, 1997).

Οι ιδέες αυτές των μαθητών, που σχετίζονται με την εμπειρική προσέγγιση του φυσικού κόσμου, είναι κατά κανόνα διαφορετικές από τις επικρατούσες επιστημονικές απόψεις και ονομάζονται **εναλλακτικές ιδέες** (Gilbert & Swift, 1985), ή **εναλλακτικές δομές** (Driver & Easley, 1978), ή **παρανοήσεις** (Novak, 1988).

Οι Skelly και Hall (1993) έχουν χωρίσει τις ιδέες των μαθητών σε δύο κατηγορίες, αυτές που οφείλονται στις εμπειρίες των μαθητών και σε αυτές που οφείλονται στη διδασκαλία μέσα ή έξω από το σχολείο. Ο όρος εναλλακτικές ιδέες σύμφωνα με αυτούς αφορά και αναφέρεται μόνο στις παρανοήσεις της πρώτης κατηγορίας. Άλλοι συγγραφείς όμως ορίζουν ως εναλλακτική ιδέα κάθε έννοια που διαφέρει σημαντικά από ό,τι είναι κοινωνικά συμφωνημένο από την επιστημονική κοινότητα (Gilbert, Osborne & Fensham, 1982), οπότε ονομάζουν ως εναλλακτικές ιδέες τις παρανοήσεις και των δύο πιο πάνω κατηγοριών.

Οι παρανοήσεις που δημιουργούνται κατά τη διδασκαλία της χημείας είναι σχεδόν αποκλειστικά παρανοήσεις που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία, μιας και το αντικείμενο της χημείας δε σχετίζεται με την καθημερινή εμπειρία. Ιδιαίτερα αυτό ισχύει για παρανοήσεις που αφορούν την ατομική δομή και θέματα κβαντικής χημείας. Οι παρανοήσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν σε σύγχυση μοντέλων, γλωσσικές δυσκολίες, υπεργενικεύσεις και προϋπάρχουσες παρανοήσεις (που όμως οφείλονται και αυτές στη διδασκαλία) (Taber, 2001). Ακολουθώντας το διαχωρισμό των Skelly και Hall, θα ονομάζουμε στην εργασία αυτή τις ιδέες των μαθητών ως παρανοήσεις και όχι ως εναλλακτικές ιδέες.

Δ. Εννοιολογική αλλαγή

Οι μαθητές θα πρέπει σύμφωνα με την εποικοδομιστική προσέγγιση να καθοδηγηθούν από το δάσκαλο στη δόμηση της γνώσης. Στόχος του δασκάλου φυσικών επιστημών γενικότερα, της χημείας ειδικότερα, είναι να εφοδιάσει τους μαθητές με

εννοιολογικές δομές όσο το δυνατό πιο κοντά με εκείνες που έχουν συμφωνηθεί από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Να φτάσει δηλαδή ο μαθητής να μοιράζεται, σε κάποιο επίπεδο, τις επικρατούσες θεωρίες της επιστήμης (Millar, 1989). Η διαδικασία αυτή της μετάβασης των μαθητών από τις αρχικές τους ιδέες στις επιστημονικές ιδέες ονομάζεται **εννοιολογική αλλαγή**.

Για να πετύχει το στόχο αυτό ο δάσκαλος, δεν αρκεί να γνωρίζει τη “σωστή” γνώση, πρέπει να γνωρίζει και τις σχετικές παρανοήσεις των μαθητών. Δεν αρκεί να διδάσκει “σωστά” τη νέα γνώση, πρέπει να μπορεί να τροποποιεί τις παρανοήσεις των μαθητών (Ψύλλος, Κουμαράς & Καριώτογλου, 1993).

Οι εναλλακτικές ιδέες και παρανοήσεις πολλές φορές αντιστέκονται σθεναρά σε αλλαγές και μπορεί να επηρεάσουν τη μεταγενέστερη μάθηση, προκαλώντας και νέες παρανοήσεις. Οι αντιστάσεις παρουσιάζονται κυρίως σε έννοιες όπου οι ιδέες των μαθητών είναι καλά ριζωμένες, διότι υποστηρίζονται από τις καθημερινές εμπειρίες και έχουν αποδειχθεί επιτυχείς σε πολλές περιπτώσεις. Η αντικατάσταση και αναδιοργάνωση του εννοιολογικού πλαισίου απαιτεί σύγκρουση του μαθητή με τις υπάρχουσες έννοιες. Έτσι η νέα έννοια είναι κατανοητή πιστευτή και γόνιμη (Posner κ. ά., 1982).

Δύο μοντέλα που περιγράφουν τη στρατηγική που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί η εννοιολογική αλλαγή παρατίθενται στη συνέχεια.

Το πρώτο έχει προταθεί από τους Anderson (1992), Minstrell (1992) και Roth (1989) και συνήθως απαιτεί τα ακόλουθα στοιχεία:

α) Οι μαθητές ευαισθητοποιούνται και συνειδητοποιούν ότι οι ιδέες τους δεν μπορούν να λύσουν ένα πρόβλημα.

β) Οι απόψεις των μαθητών αναπτύσσονται και αποσαφηνίζονται μέσα από επιδείξεις, πειράματα και ερωτήσεις.

γ) Έτσι οι απόψεις των μαθητών αποδεικνύονται ανεπαρκείς.

δ) Εισάγονται οι νέες ιδέες οι οποίες λύνουν το πρόβλημα

ε) Επιδεικνύονται περαιτέρω εφαρμογές των νέων εννοιών.

Το δεύτερο έχει προταθεί από τους Posner, Strike, Hewson και Gertzog (1982) και σύμφωνα με αυτούς δεν αποτελεί ένα μοντέλο διδασκαλίας αλλά μάλλον ένα κατάλογο απαιτήσεων, ώστε μια έννοια να αντικατασταθεί λογικά από κάποια άλλη. Οι απαιτήσεις αυτές είναι:



α) Η παλιά άποψη να είναι μη ικανοποιητική, να προκαλέσει στο μαθητή *δυσαρέσκεια* (dissatisfaction): Ο μαθητής πρέπει να εκτεθεί σε φαινόμενα τα οποία οι υπάρχουσες εννοιολογικές του δομές δεν μπορούν να ερμηνεύσουν. Οι άνθρωποι δεν αλλάζουν εύκολα τις έννοιες που παίζουν ένα κεντρικό ρόλο στη σκέψη τους αν δε νιώσουν ότι έχουν γίνει μη λειτουργικές. Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση, θα προσπαθήσουν να αντιμετωπίσουν τα νέα προβλήματα με τις λιγότερες δυνατές αλλαγές στα νοητικά τους σχήματα.

β) Η νέα άποψη να είναι *κατανοητή* (intelligibility): Οι μαθητές πρέπει να μπορούν να αναπαραστήσουν νοερά τη νέα έννοια, να έχει δηλαδή η νέα έννοια έστω κάποιο ελάχιστο νόημα γι' αυτούς. Μια νέα έννοια θα αντικαταστήσει μια μη λειτουργική όταν ο μαθητής αρχίσει να την αντιλαμβάνεται.

γ) Η νέα άποψη να είναι *εύλογη* και *αληθοφανής* (plausibility): Η νέα έννοια πρέπει να φαίνεται ότι λύνει προβλήματα που η παλιά δεν μπορούσε.

δ) Η νέα άποψη να είναι *καρποφόρα* (fruitfulness): Η νέα έννοια να οδηγεί στην πιθανότητα επιπρόσθετων εφαρμογών, να εμφανίζεται ότι έχει τη δυναμική να είναι ένα παραγωγικό εργαλείο σκέψης.

Η εννοιολογική αλλαγή σπάνια είναι μια απότομη ανταλλαγή του ενός συνόλου σημασιών με ένα άλλο σύνολο. Πιο συχνά είναι μια βαθμιαία διαδικασία που περιλαμβάνει *εννοιολογική προσθήκη* (Gunstone, 1994) κατά την οποία γίνεται γνωστική αναδόμηση, χωρίς όμως απαραίτητα να σβήνει τις προϋπάρχουσες έννοιες. Έτσι η εννοιολογική αλλαγή μπορεί να θεωρηθεί ως αντικατάσταση ή προσθήκη διαφορετικών εννοιών. Τελικά και παρά το γεγονός ότι η μάθηση περιλαμβάνει πράγματι την αναδόμηση των ιδεών, αυτό δε σημαίνει απαραίτητα την εγκατάλειψη των προγενέστερων ιδεών. Υπάρχει πάντα η πιθανότητα να υπάρχουν στον μαθητή παράλληλα ή πολλαπλά εννοιολογικά σχήματα που ασχολούνται με ιδιαίτερες όψεις των φυσικών επιστημών σε διαφορετικά πλαίσια (Solomon, 1983). Η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής προχωρεί διαμέσου της σταδιακής τροποποίησης των νοητικών μοντέλων για το φυσικό κόσμο (Βοσνιάδου, 1994). Μια προσπάθεια, λοιπόν, εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα:

α) Την απόρριψη της νέας έννοιας και τη διατήρηση του αρχικού, διαισθητικού, νοητικού μοντέλου.

β) Την προσπάθεια αφομοίωσης της νέας έννοιας, των επιστημονικών απόψεων δηλαδή, στις υπάρχουσες νοητικές δομές. Θα υπάρχει έτσι ένας συνδυασμός των αρχικών εννοιών με τις νέες έννοιες.

γ) Την αποδοχή ενός νέου νοητικού μοντέλου που απηχεί τις επιστημονικές απόψεις.

Θα υπάρχουν έτσι μετά την προσπάθεια για εννοιολογική αλλαγή τρία είδη νοητικών μοντέλων, τα διαισθητικά, τα συνθετικά και τα επιστημονικά αντίστοιχα. (Vosniadou, 1992, Ιωαννίδης & Βοσνιάδου, 1994)

Ε. Ποιοτική και ποσοτική έρευνα

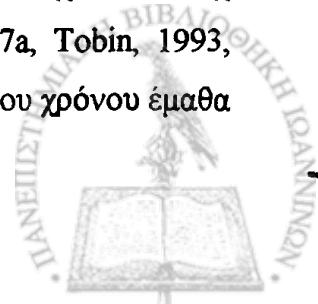
Η έρευνα στις κοινωνικές επιστήμες ταξινομείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την ποσοτική και την ποιοτική. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με κριτήρια τον τρόπο συλλογής, επεξεργασίας και παρουσίασης των δεδομένων τους.

Οι ποσοτικές έρευνες βασίζονται κατεξοχήν στην επεξεργασία και παρουσίαση των δεδομένων με αριθμούς, πίνακες, κατανομές, στατιστική ανάλυση κ.τ.ο. Οι ποιοτικές έρευνες παρουσιάζουν τα δεδομένα τους κυρίως ως λεκτικά σύνολα.

Η επιστημονική έρευνα στην εκπαίδευση και κατά συνέπεια στη διδακτική άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με ιδιαίτερη αύξηση το 2^ο μισό του 20^{ου} αιώνα. Οι πρώτες έρευνες στην εκπαίδευση, ακολουθώντας το παράδειγμα των θετικών επιστημών, ήταν ποσοτικές. Οι ποσοτικές έρευνες κυριάρχησαν στην επιστημονική κοινότητα μέχρι και τη δεκαετία του 1960, οπότε και άρχισαν να γίνονται αποδεκτές ποιοτικές έρευνες ως επιστημονικές έρευνες με απαιτήσεις (Αθανασίου, 2000).

Σήμερα γίνεται αποδεκτό ότι η διαφορά ανάμεσα σε αυτά τα δύο είδη επιστημονικής έρευνας βρίσκεται στον τρόπο που συλλέγονται και παρουσιάζονται οι πληροφορίες μιας έρευνας και ότι η διαφορά αυτή δε συνεπάγεται από μόνη της την ποιότητα στη μια ή την άλλη μορφή έρευνας (Αθανασίου, 2000). Σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα τα δύο είδη έρευνας δρουν συμπληρωματικά. Έτσι οι ποιοτικές έρευνες, που κατά κανόνα γίνονται σε μικρότερα δείγματα, παρέχουν τη λεπτομέρεια της παρατήρησης η οποία υποδεικνύει ερμηνείες των αποτελεσμάτων της ποσοτικής εργασίας. (Keeves στο De Landsheere, 1996)

Ο συνδυασμός των ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων στην έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχει αναγνωρισθεί στη βιβλιογραφία (Niaz, 1997a, Tobin, 1993, Yeany, 1992). Σημειώνει χαρακτηριστικά ο Tobin (1993): “Με την πάροδο του χρόνου έμαθα



να συνδυάζω στην έρευνά μου ανάμεσα σε δεδομένα διαφορετικών τύπων, όπως είναι τα ποσοτικά και τα ποιοτικά δεδομένα, τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν συμπληρωματικά στην επίλυση των προβλημάτων.”

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

Ε. Ηιστορία και κοσμοτική άποψη

4-4

Η ιστορία στις ανθρωπικές επιστήμες ... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...

... (α) ... (β) ... (γ) ... (δ) ... (ε) ... (ς) ... (ζ) ... (η) ... (θ) ... (ι) ... (κ) ... (λ) ... (μ) ... (ν) ... (ξ) ... (ο) ... (π) ... (ρ) ... (σ) ... (τ) ... (υ) ... (φ) ... (χ) ... (ψ) ... (ω) ...



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΙΜΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Α. Εισαγωγή

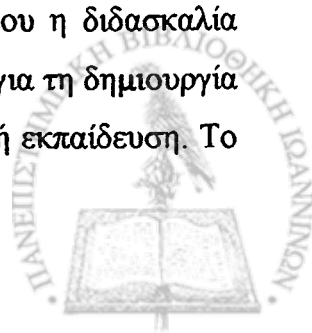
Πολλά από τα αντικείμενα της χημείας παρουσιάζουν δυσκολίες στη διδασκαλία κατά την οποία δημιουργούνται παρανοήσεις. Οι παρανοήσεις αυτές, σε αντίθεση με τις εναλλακτικές ιδέες που οφείλονται σε εξωσχολικές εμπειρίες των μαθητών (κάτι που συμβαίνει με άλλες επιστήμες, π.χ. φυσική: κίνηση και δύναμη, βιολογία: αύξηση φυτών), οφείλονται κυρίως στη διδασκαλία (Taber, 2001). Μερικές από τις βασικές αιτίες αυτών των παρανοήσεων είναι οι εξής (Τσαπαρλής 2000):

- Η αφηρημένη και συμβολική φύση του αντικειμένου.
- Η προσπάθεια απλοποίησης πολύπλοκων και δυσνόητων εννοιών.
- Η χρησιμοποίηση πολλαπλών μοντέλων και ορισμών.
- Η ανεπαρκής προαπαιτούμενη γνώση.
- Η αδυναμία των μαθητών να φαντάζονται την υπομικροσκοπική φύση της ύλης.

Έτσι ο δάσκαλος της χημείας βρίσκεται αντιμέτωπος με προβλήματα που μπορούν να αποδοθούν στον τρόπο διδασκαλίας, όπως η σειρά των ιδεών, τα βήματα της παρουσίασης νέων μοντέλων, το επίπεδο της αφαίρεσης ή το μέγεθος-ποσότητα της ύλης που πολλές φορές δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες και τις δυνατότητες των μαθητών (Taber, 2001).

Κατά τη διδασκαλία της χημείας, όπως και κάθε επιστήμης, ορισμένα γνωστικά αντικείμενα παρουσιάζονται πιο δύσκολα από άλλα. Τα αντικείμενα αυτά «αντιστέκονται» περισσότερο στο διδακτικό στόχο «κατανόηση». Ένας από τους λόγους της «αντίστασης» είναι το ότι τα γνωστικά αυτά αντικείμενα συγκροτούνται από τυπικές έννοιες - υψηλού επιπέδου αφαίρεσης - οι οποίες έχουν ελάχιστα αποσαφηνιστεί (Τσαπαρλής, 1991a, Κασσέτας, 2001, Shayer & Adey, 1981).

Ένα από τα αντικείμενα που «αντιστέκονται» στην κατανόηση, που η διδασκαλία τους παρουσιάζει αυξημένη δυσκολία και όπου υπάρχει πρόσφορο έδαφος για τη δημιουργία παρανοήσεων είναι η διδασκαλία της κβαντομηχανικής στην πρώιμη χημική εκπαίδευση. Το



αντικείμενο της κβαντομηχανικής είναι πράγματι ένα εξαιρετικά δύσκολο και αφηρημένο αντικείμενο.

Η ενασχόληση με έννοιες της κβαντομηχανικής πολλές φορές αγγίζει τα όρια της φιλοσοφίας, θυμίζοντας τις φιλοσοφικές αναζητήσεις των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων, και όχι μόνο, για το “ον” ή το “μη ον”. Ο E. Scerri υποστηρίζει ότι η εντύπωση που δίνεται στους μαθητές και τους νέους φοιτητές ότι τα τροχιακά είναι σταθερές και υπαρκτές οντότητες είναι λανθασμένη διότι με εξαίρεση το υδρογόνο αποτελούν προσεγγιστικές λύσεις της εξίσωσης Schrödinger και σε τελευταία ανάλυση τόσο τα ατομικά τροχιακά όσο και οι ηλεκτρονιακές δομές δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα (Scerri, 1998, 1999, 2000a,b). Την ίδια άποψη εκφράζει και ο Ogilvie που σε άρθρο του είχε ως υπότιτλο “Δεν υπάρχουν τέτοια πράγματα, όπως τα τροχιακά” (“there are no such things as orbitals”) (Ogilvie, 1990). Στον Ogilvie απάντησε ο Pauling υποστηρίζοντας ότι τα τροχιακά ως “αντικείμενα σκέψης” (objects of thought) είναι “πράγματα” (things) και άρα υπάρχουν (Pauling, 1992), ενώ στη συζήτηση παρενέβησαν και άλλοι υποστηρίζοντας τη μια ή την άλλη άποψη. (Edmiston 1992, Scott 1992, Scerri 1992)

B. Έρευνες για παρανοήσεις των κβαντικών εννοιών από μαθητές και σπουδαστές.

Σε έρευνες που έχουν γίνει έχουν διαπιστωθεί διάφορες παρανοήσεις σε μαθητές και πρωτοετείς φοιτητές, καθώς και προβλήματα στη διδασκαλία των κβαντομηχανικών ιδεών. Μερικές από αυτές αναφέρονται στη συνέχεια.

Σε έρευνα που έγινε σε πρωτοετείς φοιτητές στην Ιταλία διαπιστώθηκε ότι μερικοί φοιτητές ταυτοποιούν τα τροχιακά ως επίπεδα ενέργειας, ενώ άλλοι σκέφτονται ότι είναι οι τροχιές των ηλεκτρονίων. Οι παρανοήσεις αυτές αποδίδονται από τους συγγραφείς τόσο στους δασκάλους όσο και στα σχολικά εγχειρίδια (Cervellati & Perugini, 1981).

Ειδικά για τα σχολικά εγχειρίδια η ανάλυση οκτώ διαδεδομένων εγχειριδίων στην Αμερική έδειξε ότι αυτά δεν περιέχουν τα απαραίτητα στοιχεία, ώστε να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη εννοιολογική αλλαγή και οι μαθητές να μεταβούν από το πρότυπο του Bohr στο νέο κβαντομηχανικό πρότυπο (Shiland, 1997).

Παρόμοιες αιτιοκρατικές ιδέες για το άτομο είχαν και φοιτητές φυσικής στο Επίπεδο A-Level σε κολέγιο στην Αγγλία που μιλούσαν για “γρήγορα κινούμενα ηλεκτρόνια σε καθορισμένες τροχιές”, κάτι που παραπέμπει στο πλανητικό ατομικό μοντέλο (Mashhadi,



1994). Αυτό ήταν και το κύριο ατομικό μοντέλο που υιοθετούσαν πρωτοετείς φοιτητές στην Γαλλία, των οποίων οι γνώσεις ήταν αυτές που είχαν από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Cros κ. ά., 1986). Μετά από ένα χρόνο στο πανεπιστήμιο, το μοντέλο αυτό φαίνεται να υποχωρεί, πολύ λίγο όμως και σίγουρα όχι όσο αναμενόταν, μετά από τα μαθήματα που παρακολούθησαν οι φοιτητές στο πρώτο έτος των σπουδών τους και στα οποία έγινε διεξοδική παρουσίαση του κβαντομηχανικού μοντέλου. Το μοντέλο του Bohr υποκρύπτεται επίσης σε κάποιες δηλώσεις των φοιτητών, όπως όταν μιλούν για «ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μέσα στο άτομο» (Cros, Chastrette & Fayol, 1988).

Έχει επίσης παρατηρηθεί δυσκολία στο διαχωρισμό ανάμεσα στις βασικές έννοιες που αναφέρονται στα διάφορα ατομικά μοντέλα. Έτσι, π.χ. γίνεται σύγχυση ανάμεσα στις ηλεκτρονιακές στιβάδες και το ηλεκτρονιακό νέφος (Harrison & Treagust, 2000), ή ανάμεσα στους όρους τροχιά, τροχιακό και ηλεκτρονιακή στιβάδα, έτσι που οι τρεις όροι να τείνουν να χρησιμοποιούνται σα συνώνυμοι, ενώ τα γραφικά όρια στα σχήματα των τροχιακών θεωρούνται ως όρια των τροχιακών (Taber 1997, 2001).

Σε πρόσφατη έρευνα που έγινε με συνεντεύξεις από τον Taber σε φοιτητές χημείας στο Επίπεδο A-Level σε κολέγιο στην Αγγλία διαπίστωσε μεταξύ άλλων ότι οι φοιτητές (Taber, 1997, 2002):

1) Έχουν δυσκολία να σχηματίσουν μια ικανοποιητική εικόνα των τροχιακών τα οποία ταυτίζουν με τα, για τεχνικούς λόγους περιορισμένα, σχήματά τους.

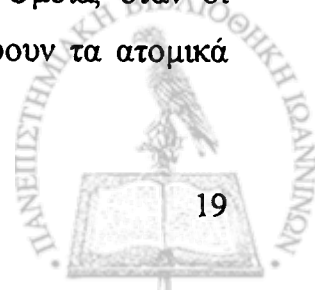
2) Συγχέουν τις σχετικές έννοιες (στιβάδες, υποστιβάδες, τροχιακά, ενεργειακά επίπεδα), σύγχυση που αποδίδεται στην προηγούμενη σχολική γνώση.

3) Θεωρούν ότι οι ονομασίες των τροχιακών που εισάγονται αυθαίρετα και χωρίς νόημα προκαλούν σύγχυση,

4) Δεν μπορούν να εκτιμήσουν την ανάγκη εισαγωγής της έννοιας της κβάντωσης στην ατομική θεωρία και

5) δεν μπορούν να εκτιμήσουν και να κατανοήσουν την έννοια του spin

Ο ίδιος ο Taber αναφέρεται σε άλλο άρθρο του στη σύγχυση που παρατηρείται ανάμεσα στα ατομικά και μοριακά τροχιακά. Έτσι μοριακά τροχιακά ονομάζονται ως "s" ή "p", ενώ υβριδικά ατομικά τροχιακά π.χ. sp^3 θεωρούνται ως μοριακά. Όμοια, όταν οι φοιτητές ερωτώνται για τα τροχιακά που υπάρχουν σε ένα μόριο αναφέρουν τα ατομικά τροχιακά των απομονωμένων ατόμων (Taber, 2001).



Παρόμοια ευρήματα αναφέρουν και οι Sanchez Gomez και Martin (2003) ανάμεσα σε πρωτοετείς φοιτητές στην Ισπανία όπου η πολυσημία, όπως αναφέρουν, των όρων ήταν η αιτία σύγχυσης με αποτέλεσμα όροι όπως τροχιακό, στιβάδα, επίπεδο ενέργειας, τροχιά να χρησιμοποιούνται περίπου σα συνώνυμοι.

Αξιοσημείωτη είναι μία μελέτη περίπτωσης στη Γερμανία, όπου αναλύεται η πορεία μάθησης ενός μαθητή grade 13, στην κβαντική ατομική φυσική, ξεκινώντας από τις προϋπάρχουσες γνώσεις που ήταν το πλανητικό μοντέλο του Bohr. Ο μαθητής αυτός επελέγη από ένα τμήμα 10 συνολικά μαθητών, επειδή είχε μέχρι τότε μια μέση επίδοση στη φυσική και επίσης είχε λεκτική συμμετοχή στα μαθήματα. Τα μαθήματα ήταν διάρκειας 80 ωρών και έγιναν σε 16 εβδομάδες, κάτι που αντιστοιχεί σε τρίωρο ετήσιο μάθημα για τα ελληνικά δεδομένα. Κατά τη διάρκεια των μαθημάτων σημαντικό ρόλο έπαιξε η χρήση υπολογιστή και προγραμμάτων προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια των μαθημάτων διαπιστώθηκε ότι θεωρούσε πως η αρχή της αβεβαιότητας δεν επέτρεπε στη φυσική να κάνει υπολογισμούς όπως πριν. Καταλάβαινε δηλαδή την πιθανότητα ως ανακρίβεια θεωρώντας ότι οφειλόταν σε υποκειμενική έλλειψη γνώσεως. Επίσης προσπαθώντας να συνδυάσει τις προϋπάρχουσες γνώσεις του με τις νέες σκέφτηκε για πεπλατυσμένες, διευρυμένες σαν δακτυλίδι τροχιές κατά μήκος του μάξιμουμ των κυματικών συναρτήσεων. Τέτοιες τροχιές δείχνουν μια νέα κατανόηση για τις τροχιές που περιλαμβάνει την έννοια πιθανότητα κατά μήκος της τροχιάς. Στο τέλος των μαθημάτων στο μυαλό του μαθητή αυτού υπήρχε ένας συνδυασμός συνυπαρχουσών σε διαφορετικά επίπεδα ιδεών. Έτσι ενώ το πλανητικό μοντέλο παρέμεινε ως το κύριο μοντέλο για το άτομο και αποτελούσε το σημείο αναφοράς για κάθε νέα ιδέα, ταυτόχρονα αναγνώριζε ότι το κβαντικό μοντέλο ήταν πιο επιστημονικό. Σημειώνεται ότι τέσσερις από τους 10 μαθητές που έλαβαν μέρος στη μελέτη αυτήν δεν προχώρησαν πέρα από τις αρχικές τους ιδέες, δηλαδή το πλανητικό μοντέλο, και δεν ανέπτυξαν αυτά τα επίπεδα ιδεών (Petri & Niedderer, 1998, 2001).

Στην ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων στο μυαλό των φοιτητών αναφέρονται και οι Coll, Taylor και Treagust, σημειώνοντας ότι ακόμη και ικανοί και προχωρημένοι μελετητές, όπως π.χ. μεταπτυχιακοί φοιτητές, προτιμούν να χρησιμοποιούν στις απαντήσεις τους απλοποιημένα μοντέλα, έστω και αν γνωρίζουν πολύ καλά τα πιο σύνθετα και πιο ακριβή (Coll & Treagust, 2001, Coll & Taylor, 2002).



Στο γεγονός ότι η ιδέα του πλανητικού μοντέλου του Bohr παραμένει και καθιστά δύσκολη τη διδασκαλία του κβαντικού μοντέλου αναφέρεται και μια ακόμη έρευνα που έγινε στην Γερμανία, όπου το μοντέλο αυτό εξακολουθούσε να είναι το κυρίαρχο μοντέλο στο 60% περίπου των μαθητών λυκείου μετά από μια σειρά μαθημάτων στην κβαντική φυσική (Fischer, 1999a). Σύμφωνα με τον ίδιο κάθε φαινόμενο που εξηγείται με αναφορά στις τροχιές κάνει την εννοιολογική αλλαγή όλο και πιο δύσκολη (Fischer, 1999b).

Σε έρευνα που έγινε σε μεταλυκειακούς φοιτητές στη Νορβηγία, το 70% περίπου αποδέχεται την αναλογία ανάμεσα στο άτομο και το ηλιακό σύστημα με μικρές ενδεχομένως παρατηρήσεις, που πάντως δε θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ότι πλησιάζουν το κβαντομηχανικό ατομικό μοντέλο. Στην ίδια έρευνα, σε ερώτηση πολλαπλής επιλογής όπου δίνονταν τα σχήματα, το 37% των φοιτητών επιλέγει ως καλύτερη απεικόνιση του ατόμου του υδρογόνου το ηλεκτρονιακό νέφος και το 9% δηλώνει ότι το άτομο του υδρογόνου δεν μπορεί να οπτικοποιηθεί, ενώ το 51% επιλέγει σχήματα που παραπέμπουν στο κλασσικό μοντέλο (Olsen, 2001).

Σε έρευνα που έγινε στον Καναδά (MacKinnon, 1999) στην οποία έλαβαν μέρος 302 μαθητές grade 12 και πρωτοετείς φοιτητές από διάφορες περιοχές της χώρας (οι οποίοι είχαν συμπληρώσει τουλάχιστο μια πρώτη σειρά μαθημάτων χημείας που περιλάμβανε σε γενικές γραμμές τη θεωρία των τροχιακών) διαπιστώθηκαν τα εξής: Υπήρχε δυσκολία ακόμη και στην αλγοριθμική γραφή ηλεκτρονιακών δομών, ενώ ένα μεγάλο μέρος των ερωτηθέντων αγνοούσε ότι ενεργειακοί λόγοι είναι που καθόριζαν τη σειρά πλήρωσης των τροχιακών. Σε πολλές απαντήσεις ήταν φανερό ότι δεν είχε κατανοηθεί ο όρος τροχιακό, υπήρχε σύγχυση ανάμεσα στους όρους στροβίλα και τροχιακό. Το τροχιακό θεωρείται ως τρισδιάστατος χώρος από το 60% αλλά μόνο το 33% αναφέρεται στην έννοια της πιθανότητας. Τέλος το 28% θεωρούσε ακόμη ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται σε σταθερές επίπεδες τροχιές, ταύτιζε δηλαδή τα τροχιακά με τις τροχιές του Bohr.

Παρόμοια ευρήματα έχουμε και σε έρευνα που έγινε στην Τουρκία ανάμεσα σε φοιτητές υποψήφιους εκπαιδευτικούς. Έτσι τα τροχιακά είναι περιοχές του χώρου ή ακόμη και κουτιά μέσα στα οποία μπορούν να μπουν τα ηλεκτρόνια. Παρατηρήθηκε επίσης σύγχυση ανάμεσα στους όρους τροχιακό, τροχιά και στροβίλα που χρησιμοποιήθηκαν ταυτόσημα. Τέλος για το 20% των φοιτητών το κυρίαρχο μοντέλο ήταν το πλανητικό μοντέλο που είχαν διδαχθεί στο λύκειο (Nakiboglu, 2003).

Σε άλλη έρευνα στην ίδια χώρα διαπιστώθηκε ότι η αλγοριθμική προσέγγιση θεμάτων, όπως η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων, προκάλεσε αυθαίρετες επεκτάσεις των σχετικών αλγορίθμων που έγιναν φανερές σε πιο απαιτητικά προβλήματα δομής. Έτσι, αφού για ένα συγκεκριμένο κύριο κβαντικό αριθμό n η ενέργεια αυξάνει καθώς αυξάνει το l το ίδιο συμβαίνει και με το m_l όπως και με το m_s . Έτσι, π.χ. ανάμεσα σε δύο τροχιακά με ίδιο n και l αυτό με το μεγαλύτερο m_l θεωρούν ότι έχει μεγαλύτερη ενέργεια. (Argac, 2002).

Σε δύο έρευνες που έγιναν στη Γερμανία ανάμεσα σε φοιτητές, υποψήφιους δασκάλους φυσικών επιστημών, διαπιστώθηκαν παρανοήσεις που δείχνουν νοηματική κατανόηση παρόμοια με των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Οι φοιτητές χρησιμοποιούσαν στις απαντήσεις τους ιδέες της κλασικής φυσικής, καθώς επίσης και το ατομικό μοντέλο του Bohr. Στη μία από αυτές τις έρευνες, μετά την παρακολούθηση ενός ειδικά σχεδιασμένου σεμιναρίου, αυξήθηκε σημαντικά η νοηματική κατανόηση των εννοιών της κβαντομηχανικής από τους φοιτητές, επιτεύχθηκε δηλαδή μια σημαντική νοητική αλλαγή (Muller & Wiesner, 1999, Euler κ.ά., 1999).

Τέλος, αναφέρονται δύο έρευνες που έγιναν στην Ελλάδα. Η πρώτη αφορά έρευνα που έγινε σε δευτεροετείς φοιτητές των τμημάτων Παιδαγωγικού Δημοτικής Εκπαίδευσης και Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Αθηνών, καθώς και σε μετεκπαιδευόμενους δασκάλους (Kalkanis, Hadzidaki & Stayrou, 2003). Η δεύτερη είναι δική μας έρευνα, που έγινε σε μαθητές Γ' Λυκείου το σχολικό έτος 1999–2000 (Παπαφώτης 2001, Παπαφώτης & Τσαπαρλής, 2002, Tsaparlis & Papaphotis 2002).

Σύμφωνα με τα ευρήματα της πρώτης έρευνας, οι φοιτητές και οι μετεκπαιδευόμενοι δάσκαλοι παρουσίαζαν μια σειρά από παρανοήσεις που οφείλονταν στη μέχρι τότε προπανεπιστημιακή και πανεπιστημιακή εκπαίδευσή τους. Σημειώνεται όμως ότι οι φοιτητές αυτοί στο λύκειο δεν είχαν διδαχθεί σύμφωνα με το νέο αναλυτικό πρόγραμμα, δεν είχαν δηλαδή διδαχθεί τις κβαντομηχανικές έννοιες στο μάθημα της χημείας. Μερικές από τις παρατηρήσεις της έρευνας αυτής είναι οι εξής:

α) Οι φοιτητές θεωρούσαν ότι ο μικρόκοσμος έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον μακρόκοσμο.

β) Χρησιμοποιούσαν την αιτιοκρατική λογική της κλασικής φυσικής για να εξηγήσουν τα φαινόμενα.



γ) Δεν είχε κατανοηθεί στο λύκειο η έννοια των αναλογιών και των μοντέλων, τα οποία οι φοιτητές θεωρούσαν ως αντίγραφα της πραγματικότητας.

- δ) Το ατομικό πρότυπο του Bohr ήταν το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο για τη μεγάλη πλειοψηφία των φοιτητών-δασκάλων (94%), ενώ σε ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς (74%) οι έννοιες της κλασικής φυσικής και της κβαντομηχανικής είναι ανάμικτες και πάντως όχι ξεκάθαρες.

ε) Κανένας φοιτητής δεν ορίζει μαθηματικά το τροχιακό. Το 30% των φοιτητών ορίζει, σωστά ποιοτικά, το τροχιακό γράφοντας ότι: «ένα τροχιακό αντιπροσωπεύει την περιοχή του χώρου όπου ένα ηλεκτρόνιο, που καταλαμβάνει το συγκεκριμένο τροχιακό, μπορεί να βρεθεί.»

στ) Το 18% των φοιτητών γνώριζε την αρχή της αβεβαιότητας αλλά μόνο 1% συνέδεε την αρχή αυτή με τις εικόνες του ατόμου.

Τις παρατηρήσεις αυτές ακολούθησε διδακτική παρέμβαση στηριζόμενη αφ' ενός στην ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης και αφ' ετέρου στη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την προσομοίωση ατομικών τροχιακών του υδρογόνου. Τα αποτελέσματα της παρέμβασης αυτής κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά.

Η δεύτερη έρευνα έγινε την πρώτη σχολική χρονιά που οι κβαντομηχανικές έννοιες άρχισαν να διδάσκονται στο μάθημα της χημείας στο λύκειο και είχε ως στόχο να ελέγξει αν και σε ποιο βαθμό οι μαθητές είχαν κατανοήσει τις έννοιες αυτές, αν δηλαδή υπήρχε νοηματική μάθηση. Για το λόγο αυτό, το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε, περιείχε μόνο απαιτητικές ερωτήσεις με τις οποίες γινόταν διερεύνηση τόσο της κατανόησης των σχετικών εννοιών όσο και της ύπαρξης γνώσεων, ενδεχομένως εκτός του διδακτικού εγχειριδίου, που όμως κρίθηκαν αναγκαίες για τη νοηματική μάθηση. Η επίδοση των μαθητών στο γραπτό ερωτηματολόγιο της έρευνας ήταν εξαιρετικά μικρή, από 10 μέχρι και 25%, κάτι που υποδηλώνει την έλλειψη νοηματικής μάθησης. Η έρευνα κατέληξε, μεταξύ άλλων, στις εξής σημαντικές παρατηρήσεις-συμπεράσματα:

1. Δεν έχει κατανοηθεί ο προσεγγιστικός χαρακτήρας των ηλεκτρονιακών δομών των πολυηλεκτρονικών ατόμων, πολύ περισσότερο ο λόγος που συμβαίνει αυτό.

2. Δεν έχει κατανοηθεί ότι στο άτομο του υδρογόνου δεν υπάρχει διαφορά στην ενέργεια μεταξύ των υποστιβάδων 2s και 2p, σε αντίθεση με τα άλλα άτομα. Πολύ περισσότερο δεν έχει κατανοηθεί ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό. Ο εμπειρικός

κανόνας για το άθροισμα $n + 1$ εφαρμόζεται αδιακρίτως και μηχανιστικά για όλα τα άτομα από μεγάλο αριθμό μαθητών-φοιτητών.

3. Ένας σημαντικός αριθμός μαθητών, ακόμη και δευτεροετών φοιτητών του Τμήματος Χημείας, στους οποίους επίσης δόθηκε το ίδιο ερωτηματολόγιο για σκοπούς σύγκρισης των αποτελεσμάτων, δεν έχει ξεφύγει από τις έννοιες της παλιάς κβαντικής θεωρίας και τις απόψεις των Bohr και Sommerfeld και θεωρεί ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται σε καθορισμένες τροχιές γύρω από τον πυρήνα. Για αυτούς το τροχιακό είναι ένας όρος περίπου συνώνυμος της τροχιάς, τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα όπως οι πλανήτες γύρω από τον ήλιο.

4. Ξεκινώντας από τις διαφορές που υπάρχουν στα όρια των τροχιακών στα σχήματα του βιβλίου, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι στο τροχιακό s το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί και μακριά από τον πυρήνα, όχι όμως και στο τροχιακό p που έχει σαφή και καθορισμένα όρια.

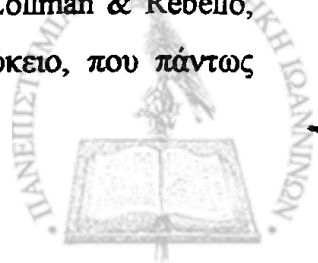
5. Τα τροχιακά προϋπάρχουν ως σαφώς καθορισμένοι χώροι ("όπως τα διαμερίσματα πολυκατοικίας"), μέσα στους οποίους βρίσκονται τα ηλεκτρόνια. Έτσι αφαίρεση τροχιακών σημαίνει αφαίρεση ενός χώρου από ένα άλλο.

6. Ανάμεσα στους φοιτητές του Τμήματος Χημείας, τους μόνους που γνωρίζουν και αναφέρουν τον υβριδισμό, παρατηρείται μια σύγχυση ανάμεσα στη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ και στον υβριδισμό sp^3 .

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, όπως και οι ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν, λήφθηκαν ιδιαίτερα υπόψη κατά τη διαμόρφωση του ερωτηματολογίου της νέας έρευνας, όπως αναλυτικά αναφέρεται στο κεφάλαιο 4 αυτής της διατριβής.

Γ. Διδακτικές συνέπειες και προτάσεις

Οι δυσκολίες στη διδασκαλία και κατανόηση των κβαντομηχανικών εννοιών δεν εντοπίζονται μόνο στις έννοιες που διδάσκονται από τη χημεία και εξετάζονται σε αυτήν την έρευνα αλλά εκτείνονται σε όλο το φάσμα των εννοιών της κβαντομηχανικής, οι οποίες εξετάζονται από τη φυσική, όπως για παράδειγμα τη δυαδική φύση του φωτός και του ηλεκτρονίου, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (Olsen 2001, Igeson 1999, 2000), ενεργειακά διαγράμματα, φάσματα στα άτομα και ενεργειακές ζώνες στα στερεά (Zollman & Rebello, 1998, 1999). Για την επιτυχή διδασκαλία των εννοιών αυτών στο λύκειο, που πάντως



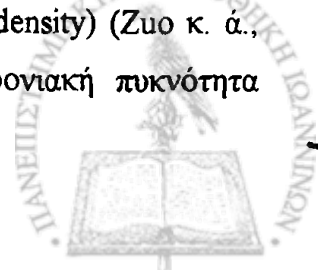
θεωρείται απαραίτητη, έχουν γίνει διάφορες προτάσεις που αφορούν τον τρόπο εισαγωγής τους, το περιεχόμενο και το αναγκαίο μαθηματικό υπόβαθρο. (Lawtence 1996, Michelini κ. ά., 2000, Pospiech 1999, Dombson, Lawtence & Britton, 2000, Cuppari κ. ά., 1997, Warren 1974, Ogborn 1974)

Γενικά η προσέγγιση της κβαντομηχανικής ακόμη και στα πανεπιστήμια γίνεται με δασκαλοκεντρικό-μεταδοτικό τρόπο, που απηχεί την άποψη ότι οι φοιτητές πρέπει να μάθουν νωρίς την ύλη η οποία θα γίνει κατανοητή αργότερα. Έτσι, η μάθηση από τους φοιτητές γίνεται αποσπασματική και επιφανειακή, με αποτέλεσμα να δυσκολεύονται να εφαρμόσουν τα νέα νοητικά μοντέλα σε νέες καταστάσεις και η πλειοψηφία των φοιτητών να γυρίζει στις απόψεις που είχαν κατά τη φοίτησή τους στο λύκειο (Johnston, Crawford & Fletcher, 1998, Fletcher & Johnston, 1999). Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που έγινε σε προπτυχιακούς φοιτητές χημείας στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων διαπιστώθηκε ότι πολλοί φοιτητές που πετύχαιναν στις εξετάσεις στο μάθημα της κβαντικής χημείας είχαν ελλιπή γνώση και πολλές εννοιολογικές δυσκολίες σχετικά με τις κβαντομηχανικές έννοιες. Μια «εκ των υστέρων» (post factum) ανάλυση δεδομένων από εξετάσεις του μαθήματος αυτού έδειξε ότι οι φοιτητές: δεν έχουν ξεκάθαρη κατανόηση των εννοιών των ατομικών και των μοριακών τροχιακών, καθώς και των οριζουσών Slater, δυσκολεύονται να κατανοήσουν την εννοιολογική ομοιότητα μεταξύ των πραγματικών και των μιγαδικών μαθηματικών μορφών των ατομικών τροχιακών, κάνουν σύγχυση των ποικίλων σχηματικών παραστάσεων των ατομικών τροχιακών, και δεν αντιλαμβάνονται την προσεγγιστική φύση των ατομικών τροχιακών για τα πολυηλεκτρονικά άτομα (Tsaparlis, 1997b).

Οι ιδιαίτερες αυτές δυσκολίες και οι παρανοήσεις που σχηματίζουν οι μαθητές-φοιτητές κατά την πρώτη διδασκαλία της κβαντομηχανικής δημιούργησαν σε αρκετούς επιστήμονες το ερώτημα κατά πόσο είναι σωστό στην πρώτη χημική εκπαίδευση, στο λύκειο και στο πρώτο έτος στο πανεπιστήμιο, να διδάσκονται οι έννοιες αυτές. Να διδάσκονται δηλαδή σε μια περίοδο που το μαθηματικό υπόβαθρο των μαθητών-φοιτητών δεν επαρκεί για την αυστηρά μαθηματική εισαγωγή τους, που όμως είναι απαραίτητη για την πλήρη και σε βάθος κατανόησή τους (Pauling and Wilson, 1935, Coulson, 1974, Pospiech, 2000, Ruis, 1988, Tsaparlis, 1997b, Tsaparlis & Papaphotis, 2002). Ένα ακόμη ερώτημα που τίθεται είναι αν είναι σωστό να προτάσσεται η κβαντομηχανική των πειραματικών δεδομένων και έτσι να

μπαίνει η φυσική πριν από τη χημεία, η θεωρία πριν από την πράξη. Για το ερώτημα αυτό τόσο στη γενική του μορφή, θεωρητική ή περιγραφική χημεία, όσο και στην ειδικότερη που αφορά τη διδασκαλία της κβαντομηχανικής έχει γίνει μεγάλη συζήτηση στους κύκλους όσων ασχολούνται με τη χημική εκπαίδευση (Basolo & Pardy, 1980, Bent, 1984, Gillespie, 1991, Gillespie, Moog & Spencer, 1996a, 1996b, Gold, 1988, Hudson, 1980, Morwick, 1979, Pauling, 1983, Pilar, 1981, Ruis, 1988, Scerri, 2000b, Schaffrath, 1983, Simons, 1991, Tsaparlis 1997a,b). Οι περισσότεροι συγγραφείς είναι αντίθετοι στη χρήση των τροχιακών και σχετιζομένων με αυτά εννοιών στην πρώιμη χημική εκπαίδευση (Tsaparlis 1997b).

Η δυσκολία στην κατανόηση των εννοιών της κβαντομηχανικής αλλά και η μη ακριβής χρήση των σχετικών όρων φαίνεται και στο εξής πρόσφατο γεγονός, το οποίο μάλιστα δεν αναφέρεται σε μαθητές ή φοιτητές. Το έγκυρο περιοδικό Nature στο τεύχος του Σεπτεμβρίου 1999 δημοσίευσε άρθρο στο οποίο αναφερόταν ότι σε μια απεικόνιση ηλεκτρονιακής πυκνότητας στην ένωση Cu_2O "Η αντιστοιχία στον πειραματικό χάρτη και στο κλασικό διάγραμμα των τροχιακών d_z^2 όπως σχεδιάζονται στα σχολικά εγχειρίδια είναι εκπληκτική" (Zuo κ. ά., 1999). Στο ίδιο τεύχος υπήρχε άρθρο του εκδότη με λιγότερες αν όχι καθόλου επιφυλάξεις για το γεγονός: "Το κλασικό σχήμα στα σχολικά εγχειρίδια για τα ηλεκτρονιακά τροχιακά έχει τώρα ευθέως παρατηρηθεί" (Humphreys 1999). Τα ατομικά τροχιακά όμως είναι μαθηματικές έννοιες που η ίδια η κβαντομηχανική υπαγορεύει ότι δεν είναι παρατηρήσιμα. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί, άμεσα ή έμμεσα, είναι η ηλεκτρονιακή πυκνότητα. Οι δύο όροι, ατομικό τροχιακό και ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι σαφώς διαφορετικοί, έχουν ακριβή σημασία και δεν πρέπει να συγχέονται (Scerri 2000c). Για το θέμα αυτό υπήρξαν από τον επιστημονικό κόσμο τόσο θετικές τοποθετήσεις (Jacoby 1999, Zurer 1999) όσο και άλλες αρνητικές, εκτός του Scerri που ήδη έχει αναφερθεί (Spackman 2000, Wang 2000) (Οι αναφορές αυτές από το άρθρο του Scerri). Στο Scerri απάντησαν οι συγγραφείς του άρθρου δεχόμενοι ότι πράγματι το τροχιακό δεν μπορεί να παρατηρηθεί. Υποστήριζαν όμως ότι η χρήση του όρου αυτού μπορεί να γίνεται και με άλλη έννοια, να σημαίνει δηλαδή την ηλεκτρονιακή πυκνότητα που βέβαια μπορεί να παρατηρηθεί. Υποστηρίζοντας την άποψη αυτή αναφέρονται στο "The New Shorter Oxford English Dictionary" όπου το τροχιακό ορίζεται ως «Ένα πραγματικό ή δυνητικό πρότυπο της ηλεκτρονιακής πυκνότητας» (An actual or potential pattern of electron density) (Zuo κ. ά., 2001). Παρόμοια, συνώνυμη χρήση των όρων τροχιακό και ηλεκτρονιακή πυκνότητα



διαπιστώθηκε σε έρευνα που έγινε στη Βοστώνη ανάμεσα σε έμπειρους καθηγητές βιολογίας, χημείας και φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Robblee, Abegg & Garik 1999), ενώ οι Gillespie, Moog & Spencer τη θεωρούν ως βασική αιτία παρανοήσεων (1996b).

Συνοψίζοντας μπορεί να αναφερθεί ότι από τις έρευνες που έχουν γίνει αλλά και από τις σχετικές με αυτές θεωρητικές προσεγγίσεις προκύπτουν δύο βασικά σημεία που αφορούν τη διδασκαλία των κβαντοχημικών εννοιών στην πρώιμη χημική εκπαίδευση και προκαλούν παρερμηνείες και εναλλακτικές ιδέες. Το πρώτο αφορά το πλανητικό μοντέλο του Bohr, που λόγω της απλότητας και σαφήνιάς του, αλλά και της επιτυχημένης εφαρμογής του στην ερμηνεία μιας σειράς φαινομένων, αποτελεί ένα σημαντικό **νοητικό εμπόδιο**, για την ουσιαστική αποδοχή των νέων εννοιών, έτσι που να προτείνεται είτε η αποφυγή διδασκαλίας του είτε η ετεροχρονισμένη και υποβαθμισμένη παρουσίασή του (Fischer, 1999a και 1999b, Στεφανή, 2001). Κύριο μειονέκτημα των προτάσεων αυτών είναι το γεγονός ότι αναφέρονται μόνο στις μεγάλες τάξεις του λυκείου, όταν πρόκειται να διδαχθούν οι κβαντικές έννοιες στη φυσική ή τη χημεία. Αγνοούν δηλαδή το γεγονός ότι το πλανητικό μοντέλο διδάσκεται από πολύ νωρίς στους μαθητές και υπάρχει ήδη στα νοητικά σχήματά τους, ανεξάρτητα από το αν θα αναφερθεί ή όχι από το διδάσκοντα τις κβαντικές έννοιες. Το δεύτερο σημείο αφορά το υψηλό επίπεδο αφαίρεσης και την ανάγκη αυξημένου μαθηματικού υποβάθρου για την πλήρη νοηματική κατανόηση των σχετικών εννοιών. Δύο προσεγγίσεις φαίνεται να υπάρχουν για την αντιμετώπιση του θέματος αυτού. Είτε γίνεται προσπάθεια απλοποίησης και εισαγωγής των εννοιών χωρίς αυξημένη μαθηματική ανάλυση είτε προτείνεται η αποφυγή διδασκαλίας των εννοιών αυτών στην πρώιμη χημική εκπαίδευση.

Σε ό,τι αφορά την πρώτη προσέγγιση, γίνεται προσπάθεια να εφαρμοστούν οι αρχές του εποικοδομισμού, εμπλέκοντας τους μαθητές στη διαδικασία της μάθησης με πειραματικές δραστηριότητες και χρήση προσομοιώσεων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, με τη βοήθεια των οποίων επιδιώκεται να συγκεκριμενοποιούνται και να οπτικοποιούνται οι έννοιες (Zollman & Rebello 1999, Zollman, Rebello & Hogg, 2002, Hurwitz, Abegg & Garic, 1999, Robblee, Abegg & Garic 1999, Niedderer & Deylitz, 1999, Summers, 1976, Hasson & Manners, 1995, Kalkanis, Hadzidaki & Stayrou, 2003). Στόχος αυτών των δραστηριοτήτων είναι η νοηματική μάθηση που επιτυγχάνεται όταν οι φοιτητές διάπιστώσουν ότι τα υπάρχοντα νοητικά σχήματά τους δεν μπορούν να εξηγήσουν φαινόμενα που αντιμετωπίζουν πειραματικά (Ausubel), για παράδειγμα, μελετώντας μια LED (light

emitting diode), οπότε αναγκάζονται να οικοδομήσουν νέα νοητικά σχήματα προκειμένου να εξηγήσουν τις παρατηρήσεις τους. Τα αποτελέσματα τέτοιων παρεμβάσεων κρίνονται θετικά, αν και κάποιες ιδέες, όπως το πλανητικό ατομικό πρότυπο, εξακολουθούν να ανθίστανται στην αλλαγή (Zollman & Rebello, 1999).

Υπάρχει βέβαια ο αντίλογος ότι οι σύγχρονες μέθοδοι απεικόνισης και οπτικοποίησης των ατομικών τροχιακών με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ενισχύουν στους μαθητές και τους νέους φοιτητές την παρανόηση ότι τα τροχιακά είναι σταθερές και υπαρκτές φυσικές οντότητες (Scerri, 1998, 1999). Η παρανόηση αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι οι περισσότεροι δάσκαλοι χημείας, αλλά και συγγραφείς σχολικών βιβλίων, για να διδάξουν την ηλεκτρονιακή δομή χρησιμοποιούν ασκήσεις με τις οποίες καλούνται οι μαθητές να βρουν ή να συμπληρώσουν ηλεκτρονιακές δομές, κάτι που ενισχύει ακόμη περισσότερο την εντύπωση για τη θεμελιώδη φύση των τροχιακών και των ηλεκτρονιακών δομών (Scerri, 2000a).

Σε ό,τι αφορά τη δεύτερη προσέγγιση, υπήρξε μία προσπάθεια εύρεσης εναλλακτικών τρόπων διδασκαλίας των θεμάτων αυτών. Στη συνέχεια παρατίθενται σε συντομία προτεινόμενοι, εναλλακτικοί, τρόποι διδασκαλίας για την ηλεκτρονιακή δομή ατόμων και μορίων καθώς και μια διαφορετική προσέγγιση για το ηλεκτρόνιο.

Δ. Εναλλακτικοί τρόποι διδασκαλίας της δομής ατόμων και μορίων

Δ.1. Ηλεκτρονιακές δομές-κβαντικοί αριθμοί.

Σύμφωνα με τον Gillespie ο τρόπος που συνήθως διδάσκονται οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων, δηλαδή με τη βοήθεια των τεσσάρων κβαντικών αριθμών, κάνει τη χημεία να φαίνεται αφηρημένη, μυστηριώδης και απόκρυφη και αυτό διότι στηρίζεται στις αφηρημένες και ασυνήθεις ιδέες της κβαντομηχανικής. Οι κβαντικοί αριθμοί, με τα παράξενα και χωρίς εμφανή σημασία ονόματα τους, παρουσιάζονται στους μαθητές ως αποτέλεσμα της λύσης της εξίσωσης του Schrödinger, που όμως σπάνια αναφέρεται σ' ένα εισαγωγικό μάθημα, και αν ακόμα αναφερθεί οι μαθητές δεν έχουν τις μαθηματικές γνώσεις για να την κατανοήσουν και να τη λύσουν, έτσι ώστε να δουν πώς προκύπτουν οι κβαντικοί αριθμοί. Αν και μερικοί μαθητές φαίνεται να αποδέχονται χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες τις έννοιες αυτές, στην πραγματικότητα δεν τις κατανοούν αλλά απλώς τις "μαθαίνουν" για τις εξετάσεις (Gillespie, Moog & Spencer, 1996a).



Ο τρόπος αυτός θεωρείται (Gillespie 1997, Gillespie, Moog & Spencer, 1996a, 1998) επιστημονικά και παιδαγωγικά επισφαλής, ενώ η χρήση των πειραματικών δεδομένων από τις ενέργειες ιοντισμού των ατόμων προτείνεται ως εναλλακτικός τρόπος διδασκαλίας της ηλεκτρονιακής δομής και των ενεργειακών επιπέδων. Πράγματι αν μελετήσει κανείς τις ενέργειες ιοντισμού των ατόμων, μπορεί να εισαγάγει τόσο τις έννοιες των στιβάδων και υποστιβάδων όσο και τη σειρά συμπλήρωσής τους, στηριζόμενος μόνο στα πειραματικά αυτά δεδομένα. Έτσι μπαίνει το συγκεκριμένο πριν από το αφηρημένο, το πείραμα πριν από τη θεωρία.

Ένας επιπλέον λόγος, ίσως μάλιστα σημαντικότερος, είναι και το γεγονός ότι οι κβαντικοί αριθμοί δεν περιγράφουν με ακρίβεια τα πολυηλεκτρονιακά άτομα. Ο κανόνας συμπλήρωσης των τροχιακών, δηλαδή ότι συμπληρώνεται πρώτα εκείνο το τροχιακό που έχει το μικρότερο άθροισμα $n+l$, δεν προκύπτει από την κβαντομηχανική (Loewdin 1969). Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν μελετήσει κανείς το σύνολο των στοιχείων, θα βρει είκοσι περίπου εξαιρέσεις σ' αυτόν τον κανόνα, αρχίζοντας με το χαλκό και το χρώμιο, (που βέβαια εξηγούνται εκ των υστέρων, αφού πρώτα διαπιστωθούν πειραματικά, χωρίς να προβλέπονται θεωρητικά, κάτι που συνήθως δε διευκρινίζεται κατά τη διδασκαλία). Άρα η κβαντομηχανική εξήγηση του περιοδικού συστήματος δεν είναι αυστηρά ακριβής και δεν προέρχεται από πρώτες αρχές αν και μπορούν να βρεθούν προσεγγιστικές εξηγήσεις εκ των υστέρων για όλες τις φασματοσκοπικά διαπιστούμενες κατανομές (Scerri 1994, 1998). Ένα παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι το τροχιακό $4s$ συμπληρώνεται πριν από το $3d$ κάτι που προκύπτει από φασματοσκοπικά δεδομένα και δεν προβλέπεται θεωρητικά (Scerri 1994, 2001, Melrose & Scerri, 1996).

Μια αντίθετη άποψη είναι ότι η παρουσίαση των εννοιών αυτών με τη βοήθεια των κβαντικών αριθμών προσφέρει μια σφαιρική κατανόηση των σχέσεων, που είναι προτιμότερη από την αυστηρή ακρίβεια σε μια στοιχειώδη-εισαγωγική σειρά μαθημάτων (Emerson 1999). Επίσης, επισημαίνεται το γεγονός ότι η προσέγγιση αυτή αγνοεί τη σύγχρονη τάση στην επιστήμη να στηρίζεται και στη θεωρία και στο πείραμα. Μια τάση που συνδυάζει κατά κάποιον τρόπο την επιστημολογική άποψη του Αριστοτέλη που πιστεύει ότι η επιστημονική γνώση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την προσεκτική παρατήρηση και τον ορθολογισμό του Πυθαγόρα. Δεν είναι λοιπόν δυνατό να αγνοείται εντελώς η θεωρητική προσέγγιση, όταν μάλιστα το πιο βαθυστόχαστο παράδειγμα αυτής της συνεργασίας είναι η εύρεση του νόμου

της περιοδικότητας από τον πειραματικό Mendeleev και η εξήγησή του που βασίσθηκε στην κβαντομηχανική. Όταν λοιπόν η εισαγωγή του περιοδικού συστήματος γίνει μόνο με πειραματικά δεδομένα, χάνεται η ευκαιρία να δειχθεί αυτή η υπαρκτή και σημαντική σύνδεση πειράματος και θεωρίας (Richman, 1998).

Ο Gillespie θεωρεί ότι οι συντακτικοί τύποι, η θεωρία VSEPR και η εισαγωγή στο ατομικό μοντέλο των στιβάδων, όπως περιγράφεται πιο πάνω, είναι ίσως ό,τι χρειάζεται να συζητήσει κανείς σε ένα εισαγωγικό επίπεδο χημείας, όπως αυτό σε ένα λύκειο (Gillespie, Moog & Spencer, 1998).

Δ.2. Η χρήση μοντέλων ηλεκτρονιακής πυκνότητας για τη διδασκαλία της ηλεκτρονιακής δομής μορίων.

Ένα άλλο θέμα που παρουσιάζει δυσκολίες στη διδασκαλία και την κατανόηση είναι η θεωρία της ηλεκτρονιακής δομής των ενώσεων με τη χρήση μοριακών τροχιακών και αυτό διότι πολλά από τα θέματα κβαντομηχανικής που σχετίζονται με τα μοριακά τροχιακά είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν, πόσο μάλλον να κατανοηθούν, από νέους φοιτητές ή μαθητές.

Μια προτεινόμενη μέθοδος για τη διδασκαλία της ηλεκτρονιακής δομής και της σχέσης της με τα χημικά φαινόμενα είναι η χρήση μοντέλων κατανομής ηλεκτρονιακής πυκνότητας. Τα μοντέλα παράγονται από υπολογιστή αφού γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί (π.χ. με τα βασικά σύνολα STO-3G ή 3-21G κλπ), που όμως δεν παρουσιάζονται στους μαθητές-φοιτητές. Για να μπορέσει ο μαθητής να χρησιμοποιήσει τα μοντέλα αυτά, αρκούν ελάχιστες γνώσεις κβαντομηχανικής, αρκεί δηλαδή να γνωρίζει την αρχή της αβεβαιότητας καθώς και την έννοια της ηλεκτρονιακής πυκνότητας. Στη συνέχεια μπορεί να μελετήσει επίπεδους χάρτες κατανομής της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ή τρισδιάστατα μοντέλα με επιφάνειες ίσης ηλεκτρονιακής πυκνότητας και έτσι να προσεγγίσει θέματα, όπως η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων, τα σχήματα και τα μεγέθη διαφόρων μορίων, τα διάφορα είδη δεσμών, οι πολλαπλοί δεσμοί σε οργανικές ενώσεις κλπ (Shusterman & Shusterman, 1997).

Αντίλογο στη μέθοδο αυτή αποτελεί η άποψη του Scerif ότι ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται τα τροχιακά στην πρώιμη χημική εκπαίδευση δίνει την εντύπωση στους μαθητές και τους νέους φοιτητές ότι τα τροχιακά είναι σταθερές και υπαρκτές οντότητες, παρά το γεγονός ότι, με εξαίρεση το υδρογόνο, αποτελούν προσεγγιστικές λύσεις της



εξίσωσης του Schrödinger. Οι σύγχρονες μέθοδοι απεικόνισης και οπτικοποίησης των ατομικών τροχιακών με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, στις οποίες αναφέρεται η μέθοδος αυτή, ενισχύουν αυτήν την παρανόηση (Scepi 1998, 1999).

Δ.3. Electronium αντί ηλεκτρόνιο.

Το Electronium είναι ένα κβαντικό ατομικό μοντέλο που στηρίζεται στην εξίσωση του Schrödinger (Budde κ.ά., 2002a). Έχει αναπτυχθεί για να διδαχθεί σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ως μέρος του μαθήματος της φυσικής στην Καρλσρούη (Karlsruhe) και λαμβάνει υπόψη τις προηγούμενες ιδέες των μαθητών, όχι για να τις ξεπεράσει αλλά για να τις χρησιμοποιήσει ως αφετηρία για να πετύχει την κατανόηση των επιστημονικών απόψεων. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό το electronium δεν είναι ένα σωματίδιο αλλά ένα συνεχές ρευστό, ένα είδος υγρού, με μεταβλητή πυκνότητα. Η απόλυτη τιμή του τετραγώνου της συνάρτησης Ψ είναι ανάλογη με την πυκνότητα του electronium και στη θεμελιώδη κατάσταση μειώνεται συνεχώς με την απόσταση από τον πυρήνα. Σε σταθερές καταστάσεις το σχήμα του electronium είναι αμετάβλητο με το χρόνο, δεν υπάρχει δηλαδή κίνηση. Σε περίπτωση απορρόφησης ή εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τότε η κατανομή φορτίου, το σχήμα δηλαδή του electronium αλλάζει και σ' αυτή την αλλαγή οφείλεται η εκπομπή ακτινοβολίας ή αυτή η αλλαγή οφείλεται στην απορρόφηση ενέργειας. Αν η θέση ενός ηλεκτρονίου προσδιορίζεται τότε το φορτίο συγκεντρώνεται σε αυτό το σημείο. Τότε το $|\psi(r)|^2$ είναι το μέτρο της πιθανότητας για τη μετάβαση από την κατάσταση όπου το ηλεκτρόνιο είναι κατανεμημένο σε όλη την περιοχή, σε μορφή electronium δηλαδή, στην κατάσταση όπου το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση.

Κατά τη δοκιμαστική διδασκαλία του μοντέλου αυτού διαπιστώθηκε μια συγκλίνουσα απήχηση από τους μαθητές, δηλαδή το περιεχόμενο των εννοιών που έδινε ο δάσκαλος και το περιεχόμενο των εννοιών που οι μαθητές σχημάτιζαν, αποδεχόμενοι ενεργά τη νέα γνώση και οικοδομώντας τη δική τους, σύμφωνα με τις αρχές του εποικοδομισμού, ήταν ισοδύναμα, σε αντίθεση με το κβαντικό πιθανολογικό ατομικό μοντέλο όπου έχει παρατηρηθεί ότι άλλο περιεχόμενο δίνει στις έννοιες ο δάσκαλος και άλλο οι μαθητές (Budde κ.ά. 2002a, 2002b, Niedderer 2003).

Με το μοντέλο αυτό μπορεί να αποφεύγονται οι παρερμηνείες που δημιουργούνται κατά τη διδασκαλία του κβαντικού πιθανολογικού ατομικού μοντέλου ή ακόμη και του

πλανητικού μοντέλου, όμως δημιουργούνται άλλες παρερμηνείες που θα πρέπει στη συνέχεια να ξεπερασθούν. Μια τέτοια παρερμηνεία αφορά τη φύση της συνάρτησης Ψ , δημιουργείται δηλαδή η εναλλακτική ιδέα ότι η συνάρτηση Ψ είναι ουσιαστικά ένα υγρό ή κάτι το υλικό (Hobson, 2002).

Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι το electronium βρίσκεται σε αντίφαση με βασικές αρχές της φυσικής. Έτσι π.χ. το αρνητικά φορτισμένο electronium έλκεται από τον θετικά φορτισμένο πυρήνα και άρα πρέπει να επιταχύνεται προς το κέντρο για να μην επιταχύνεται πρέπει να είναι άκαμπτο, άρα όχι ρευστό. Επίσης η έλλειψη κίνησης σημαίνει ότι η ταχύτητα είναι μηδέν άρα πλήρως καθορισμένη, κάτι που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την αρχή της αβεβαιότητας, μια βασική έννοια της κβαντικής θεωρίας (Strnad 2003, Warren 2003).

Ένα ακόμη πρόβλημα σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο το μοντέλο αυτό εκμεταλλεύεται προϋπάρχουσες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών τις οποίες ενισχύει. Μία συχνά απαντώμενη εναλλακτική ιδέα που αφορά τη φύση των υγρών, η οποία χρησιμοποιείται για τη διδασκαλία του electronium (Budde κ.ά. 2002a), είναι η άποψη ότι τα υγρά είναι συνεχή (Novick & Nussbaum, 1978, 1981). Με την παρουσίαση του electronium που είναι ένα συνεχές ως ένα είδος υγρού κατανοείται βέβαια η έννοια της συνέχειας για το electronium, ενισχύεται όμως παράλληλα και η εναλλακτική ιδέα περί συνεχείας των υγρών.

Ε. Η παρούσα εργασία.

Η παρούσα εργασία αποτελεί, κατά κάποιο τρόπο, επέκταση της πρώτης μας εργασίας που έγινε τη σχολική χρονιά 1999-2000 και στα αποτελέσματα της οποίας αναφερθήκαμε στην ενότητα Β αυτού του κεφαλαίου.

Με την εργασία αυτή επιχειρούμε να διερευνήσουμε:

- α) τις παρανοήσεις που οι μαθητές σχηματίζουν κατά τη διδασκαλία των κβαντομηχανικών εννοιών,
- β) τον τρόπο που προσεγγίζονται, πιθανολογικά ή αιτιοκρατικά, οι έννοιες αυτές και
- γ) τον τρόπο που οι μαθητές μαθαίνουν τις έννοιες που διδάσκονται με απομνημόνευση, αλγοριθμικά ή νοηματικά.

Στην έρευνα έλαβαν μέρος νεοεισαχθέντες, με το νέο σύστημα, πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων Χημείας, Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών και Επιστήμης και



Τεχνολογίας των Υλικών, καθώς και φοιτητές του δεύτερου έτους του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Περισσότερα στοιχεία για τους φοιτητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα παρατίθενται στο κεφάλαιο 4.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη:

- α) την ποσοτική έρευνα που έγινε με ερωτηματολόγια και προηγήθηκε και
- β) την ποιοτική έρευνα που έγινε με συνεντεύξεις και ακολούθησε.

Η συγκρότηση του ερωτηματολογίου στηρίχθηκε στα ευρήματα της έρευνας του 1999-2000 που λειτούργησε έτσι ως προέρευνα. Η αναλυτική διαδικασία συγκρότησης του ερωτηματολογίου παρατίθεται στο κεφάλαιο 4, ενώ τα αποτελέσματα της ποσοτικής έρευνας στα κεφάλαια 5 έως και 7.

Μετά τη συμπλήρωση των γραπτών ερωτηματολογίων, ακολούθησε η επιλογή των φοιτητών που θα συμμετείχαν στην ποιοτική έρευνα, δηλαδή στις συνεντεύξεις, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 8. Στα κεφάλαια 9 έως και 13 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής έρευνας και στο κεφάλαιο 14 τα συμπεράσματα της έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΜΑΤΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θίγονται ορισμένα θεωρητικά θέματα που σχετίζονται με τις ερωτήσεις της έρευνας. Για την ανάπτυξη των θεμάτων αυτών χρησιμοποιήθηκαν ως βασικές πηγές πληροφοριών τα βιβλία των καθηγητών κ.κ. Κατάκη (1976), Πολυδωρόπουλου (1971, 1983), Τσαπαρλή (1986), Τσίπη (1996) και Χατζηλιάδη (1998).

Α. Ατομική δομή, μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση.

Αναζητώντας τις ρίζες της ατομικής θεωρίας δε μπορεί κανείς να μην αναφερθεί στους έλληνες φιλοσόφους του 5^{ου} αιώνα π.Χ. Λεύκιππο και Δημόκριτο οι οποίοι πρώτοι υποστήριξαν ότι τα άτομα είναι τα συστατικά στοιχεία του κόσμου. Σύμφωνα με τη θεωρία τους η ύλη αποτελείται από αδιαίρετες οντότητες, τα άτομα, τα οποία κινούνται στο κενό. Όλες οι μεταβολές της ύλης είναι απλώς μεταβολές στα συμπλέγματα των ατόμων. Η ένωση των ατόμων δημιουργεί όλα τα υλικά αντικείμενα. Τα άτομα που είναι αδημιούργητα, αιώνια και άφθαρτα, είναι τόσο μικρά ώστε να είναι αόρατα και διαφέρουν μεταξύ τους στο μέγεθος, στο βάρος και στο σχήμα. Οι ιδιότητες της ύλης αντικατοπτρίζουν κατά κάποιον τρόπο τις ιδιότητες των ατόμων από τα οποία αποτελείται.

Οι απόψεις αυτές δεν είχαν καμιά πειραματική επαλήθευση αλλά και δεν υιοθετήθηκαν από άλλους επιστήμονες και φιλοσόφους. Η αλήθεια είναι ότι αγνοήθηκαν για αιώνες, με αποτέλεσμα η ατομική υπόθεση να επανεμφανισθεί, σε νέες, πειραματικές αυτή τη φορά βάσεις, με τον Dalton στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Η αρχή διατήρησης της ύλης (Lavoisier), ο νόμος των ορισμένων αναλογιών (Proust), ο νόμος των απλών πολλαπλασίων (Dalton) και ο νόμος των ισοδυνάμων βαρών (Richter) υπήρξαν η πειραματική βάση για τη διατύπωση της ατομικής υπόθεσης από τον Dalton, σύμφωνα με την οποία η ύλη αποτελείται από άτομα που είναι αυτοτελή, πολύ μικρά υλικά σωματίδια που δεν μπορούν να υποδιαιβηθούν με κανένα τρόπο και είναι άφθαρτα και αγέννητα. Τα άτομα του ίδιου στοιχείου είναι τα ίδια απολύτως και ίσου βάρους, ενώ τα άτομα διαφόρων στοιχείων έχουν διαφορετικό βάρος.



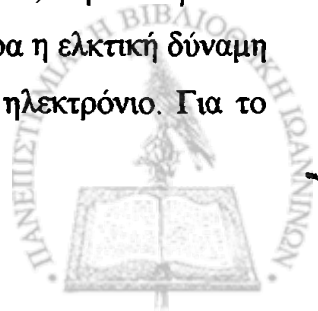
Στα χρόνια που ακολούθησαν με την ανακάλυψη, μέσα από μια σειρά πειραμάτων, των υποατομικών σωματιδίων, διαπιστώθηκε ότι τα άτομα δεν είναι συμπαγή και αδιαίρετα, όπως πίστευε ο Dalton. Έτσι άρχισαν να προβάλλονται διάφορα πρότυπα για την ατομική δομή στην προσπάθεια να εξηγηθούν τα πειραματικά δεδομένα.

Αρχικά ο J. J. Thomson πρότεινε ένα ατομικό πρότυπο, σύμφωνα με το οποίο τα άτομα είναι συμπαγείς σφαίρες με θετικά φορτία στην επιφάνεια τους, ενώ τα αρνητικά φορτία, που έχουν αμελητέα μάζα, βρίσκονται κατά κάποιο τρόπο σφηνωμένα μέσα στη σφαίρα αυτή, με τέτοιο τρόπο ώστε να εξισορροπούνται οι μεταξύ τους απώσεις από τις έλξεις των θετικών φορτίων της σφαίρας.

Στη συνέχεια ο Rutherford, μελετώντας τη σκέδαση των σωματιδίων α κατά τον βομβαρδισμό λεπτών φύλλων χρυσού διαπίστωσε ότι μερικά από τα σωματίδια α πάθαιναν εκτροπές που ήταν μεγαλύτερες από 90° και έφταναν ακόμη και τις 180° . Το γεγονός αυτό οδήγησε τον Rutherford στο συμπέρασμα ότι το φορτίο και η μάζα του ατόμου πρέπει να είναι συγκεντρωμένα σε ένα πολύ μικρό χώρο, τον πυρήνα του ατόμου. Σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Rutherford, τα άτομα είναι μικρογραφίες του πλανητικού συστήματος. Τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα σε διάφορες τροχιές με πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Το ατομικό πρότυπο του Rutherford δεν μπορούσε όμως να εξηγήσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων και βρισκόταν σε πλήρη αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, κατά την οποία το ηλεκτρόνιο ως επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο έπρεπε να εκπέμπει ακτινοβολία, να χάνει συνεχώς ενέργεια και κινούμενο σπειροειδώς να πέφτει τελικά στον πυρήνα. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης θα ήταν και ένα συνεχές φάσμα εκπομπής.

Ο Bohr προκειμένου να αντιμετωπίσει τα μειονεκτήματα του ατομικού προτύπου του Rutherford εισήγαγε δύο κατ' αρχήν αυθαίρετες συνθήκες. Σύμφωνα με την πρώτη, τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε καθορισμένες μόνο κυκλικές τροχιές, τις επιτρεπόμενες τροχιές, έτσι ώστε η στροφορμή του ηλεκτρονίου να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της σταθεράς του Planck, να ισχύει δηλαδή $2\pi mvr = nh$ όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, v η ταχύτητα του ηλεκτρονίου, r η απόσταση από τον πυρήνα, h η σταθερά του Planck και $n = 1, 2, 3 \dots$. Σε αυτές τις τροχιές, ως κεντρομόλος δύναμη δρα η ελκτική δύναμη ανάμεσα στο θετικά φορτισμένο πυρήνα και το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο. Για το



άτομο του υδρογόνου ισχύει ότι $\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$, όπου e το φορτίο του ηλεκτρονίου. Από τις δύο

αυτές σχέσεις προκύπτουν οι ακτίνες των επιτρεπόμενων τροχιών: $r = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$. Για $n = 1$

προκύπτει η ακτίνα a_0 που ο Bohr υπολόγισε για το άτομο του υδρογόνου. Σύμφωνα με τη δεύτερη συνθήκη τα ηλεκτρόνια όταν κινούνται στις επιτρεπόμενες τροχιές έχουν καθορισμένη ενέργεια. Όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από μια τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας σε μια τροχιά μικρότερης ενέργειας, τότε εκπέμπει ένα φωτόνιο καθορισμένης συχνότητας ν που δίνεται από τη σχέση $\Delta E = h\nu$. Είναι επίσης δυνατή η μεταπήδηση από μια τροχιά μικρότερης ενέργειας σε μια τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας με απορρόφηση ενός φωτονίου, συχνότητας ν που επίσης δίνεται από τη σχέση $\Delta E = h\nu$.

Η θεωρία του Bohr, αν και πέτυχε να εξηγήσει το φάσμα του ατόμου του υδρογόνου, δεν μπορούσε να εξηγήσει τη λεπτή υφή των φασματικών γραμμών του ατόμου του υδρογόνου. Η ύπαρξη της λεπτής υφής διαπιστώθηκε με πολύ ευαίσθητα φασματοσκόπια, οπότε φάνηκε ότι η κάθε φασματική γραμμή αποτελείται από άλλες λεπτότερες τη μία κοντά στην άλλη. Τη θεωρία του Bohr συμπλήρωσε ο Sommerfeld, προτείνοντας για τα ηλεκτρόνια και ελλειπτικές τροχιές, όπως επίσης και την ύπαρξη υποστιβάδων σε κάθε στιβάδα του Bohr. Η λεπτή υφή των φασματικών γραμμών ερμηνεύεται με ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις μεταξύ των υποστιβάδων.

Η θεωρία του Bohr, παρά τη συμπλήρωσή της από τον Sommerfeld, εγκαταλείφθηκε λίγα μόλις χρόνια αργότερα, διότι δεν μπορούσε να εξηγήσει τα φάσματα των άλλων ατόμων, ούτε καν του ατόμου του ηλίου που αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο ηλεκτρόνια, όπως επίσης και το χημικό δεσμό.

Οι σύγχρονες απόψεις για το άτομο έχουν τη βάση τους αφ' ενός στην κυματική θεωρία της ύλης του De Broglie, σύμφωνα με την οποία κάθε κινούμενο σωματίδιο έχει διπλή φύση, σωματιδιακή – κυματική, και αντιστοιχεί σε κύμα με μήκος κύματος $\lambda = \frac{h}{mv}$ όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, v η ταχύτητα του ηλεκτρονίου και h η σταθερά του Planck και αφ' ετέρου στην αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg, η οποία βρίσκεται σε πλήρη αντίθεση με το μοντέλο του Bohr, το οποίο προβλέπει επακριβή γνώση της θέσης και της ταχύτητας του ηλεκτρονίου.

Οι σημερινές αντιλήψεις για το μικρόκοσμο των ατόμων στηρίζονται στις εργασίες των Heisenberg και Schrödinger και στη συνεχή προσπάθεια των θεωρητικών επιστημόνων για βελτίωση των μεθόδων υπολογισμού που ακολούθησε. Η γνωστή εξίσωση, του Schrödinger καταστρώθηκε αρχικά για να περιγράψει τις ιδιότητες του ατόμου του υδρογόνου. Ο ιδιοφυής συλλογισμός που οδήγησε τον Schrödinger στην κατάστρωση της εξίσωσής του είναι ο εξής: Αν θεωρηθεί ότι το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένη τροχιά και η κίνηση αυτή μπορεί να περιγραφεί εξίσου καλά από ένα κύμα, τότε το κύμα αυτό καθώς διαδίδεται κατά μήκος της τροχιάς θα πρέπει να συμβάλλει με τον εαυτό του και να σχηματίζει ένα στάσιμο κύμα (Πολυδωρόπουλος, 1971). Η επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger οδηγεί σε κυματοσυναρτήσεις Ψ που ονομάζονται ατομικά τροχιακά και περιγράφουν την κατάσταση του ηλεκτρονίου με ορισμένη ενέργεια.

B. Η αρχή της αβεβαιότητας

Σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας, που διατυπώθηκε από τον Heisenberg το 1927, είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της ακριβούς θέσης και ταχύτητας ενός σωματιδίου. Υπάρχει πάντα μια αβεβαιότητα ως προς τη θέση (Δx) και μια αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα (Δv), το γινόμενο των οποίων δεν μπορεί να είναι μικρότερο ενός κατωτάτου ορίου, δηλαδή: $\Delta v \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi m}$, όπου m η μάζα του σωματιδίου και h η σταθερά του Planck. Στη σχέση αυτή, αντί της ταχύτητας μπορεί να αναφέρεται η ορμή οπότε γίνεται: $\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$, που αποτελεί την πιο γνωστή έκφραση της αρχής της αβεβαιότητας. Από τις σχέσεις αυτές προκύπτουν σημαντικές αβεβαιότητες προκειμένου για σωματίδια της τάξεως του ηλεκτρονίου, ενώ αντίθετα για μεγαλύτερα σωματίδια οι αβεβαιότητες είναι τόσο μικρές, ώστε δεν μπορούν να ανιχνευθούν. Η ανικανότητα να ορίσουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός ηλεκτρονίου σημαίνει από φυσικής άποψης ότι δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την τροχιά που ακολουθεί το ηλεκτρόνιο και άρα δεν μπορεί να γίνεται λόγος για συγκεκριμένες τροχιές, όπως προβλέπει το πρότυπο των Bohr – Sommerfeld.

Για την καλύτερη κατανόηση της αρχής αυτής θα αναφερθούν δύο παραδείγματα. Σύμφωνα με το πρώτο για να καθορίσουμε ακριβώς τη θέση ενός ηλεκτρονίου θα πρέπει να το φωτίσουμε με φως μήκους κύματος λ , οπότε και θα προσδιορίσουμε τη θέση του με



ακρίβεια $\pm \lambda$. Όσο μικρότερο μήκος κύματος χρησιμοποιήσουμε τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ακρίβεια. Όμως κατά την σύγκρουση του φωτονίου με το ηλεκτρόνιο ένα μέρος της ορμής του φωτονίου θα μεταφερθεί στο ηλεκτρόνιο, του οποίου θα μεταβάλει τη θέση και την ταχύτητα, μάλιστα όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος του φωτονίου τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ενέργειά του και τόσο μεγαλύτερη η μεταβολή της θέσης και της ταχύτητας του ηλεκτρονίου. Το δεύτερο παράδειγμα (Pospiech, 2000) είναι παρμένο από το μακρόκοσμο. Ένα κινούμενο αυτοκίνητο μπορεί να φωτογραφηθεί με δύο τρόπους: είτε με μικρό χρόνο έκθεσης, οπότε θα έχουμε μία καθαρή φωτογραφία του αυτοκινήτου, στην οποία θα φαίνεται η θέση του όχι όμως η ταχύτητά του, είτε με μεγάλο χρόνο έκθεσης οπότε δε θα φαίνεται η ακριβής θέση του αυτοκινήτου θα μπορεί όμως να υπολογισθεί η ταχύτητά του. Από την άποψη της κλασικής φυσικής το αυτοκίνητο έχει πάντα μια θέση και μια ορμή. Όμως από την άποψη της κβαντικής θεωρίας, αυτό που καθορίζει τη θέση ή την ορμή είναι η φωτογραφία. Από τη στιγμή που ο φωτογράφος τράβηξε τη φωτογραφία, δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη μία με την άλλη, το αυτοκίνητο δεν είναι πια εκεί, σχόλια μπορούν να γίνουν μόνο για τη φωτογραφία.

Γ. Ατομικά τροχιακά

Η εξίσωση του Schrödinger, εφαρμοζόμενη στα άτομα και στα μόρια, περιγράφει μαθηματικά τη διπλή φύση του ηλεκτρονίου, κυματική και σωματιδιακή. Η ακριβής επίλυση της εξίσωσης αυτής είναι δυνατή μόνο για μερικά απλά συστήματα (π.χ. σωματίο σε κλωβό, γραμμικός αρμονικός ταλαντωτής), το άτομο του υδρογόνου και τα υδρογονοειδή ιόντα. Από τη λύση της εξίσωσης του Schrödinger προκύπτουν:

α) Η ενέργεια που έχει κάθε φορά το ηλεκτρόνιο.

β) Κυματικές συναρτήσεις ή κυματοσυναρτήσεις $\Psi(r, \theta, \phi, t)$ των οποίων το τετράγωνο, ακριβέστερα το τετράγωνο του μέτρου τους $|\Psi|^2$, (αφού εν γένει οι συναρτήσεις Ψ είναι μιγαδικές), δίνει την πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου σε ορισμένη θέση στον χώρο. Σημειώνεται ότι επειδή $\Psi(r, \theta, \phi, t) = \psi(r, \theta, \phi) \cdot e^{-\frac{2\pi i E t}{h}}$ ισχύει $|\Psi|^2 = |\psi|^2$.

Οι μαθηματικές αυτές, χρονικά ανεξάρτητες, κυματοσυναρτήσεις ψ , που περιγράφουν την κατάσταση ενός ηλεκτρονίου (μονοηλεκτρονιακές συναρτήσεις) με ορισμένη ενέργεια, ονομάζονται ατομικά τροχιακά. Τα ατομικά τροχιακά είναι δηλαδή αφηρημένες μαθηματικές

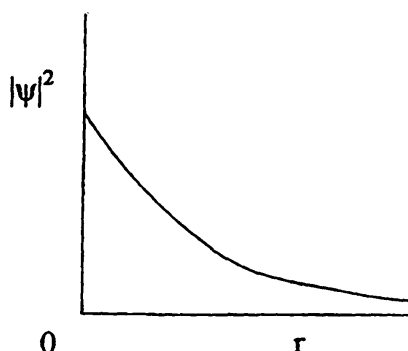
έννοιες (συναρτήσεις), χωρίς άμεση φυσική σημασία. Φυσική σημασία έχει μόνο το τετράγωνο των συναρτήσεων αυτών που όταν υπάρχει ηλεκτρόνιο περιγράφει την κατανομή του ηλεκτρονιακού νέφους. Έτσι η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μέσα σε στοιχειώδη όγκο ΔV δίνεται από την σχέση $\Delta V \cdot |\psi|^2$. Όταν δεν υπάρχει ηλεκτρόνιο τότε τα τροχιακά "υπάρχουν" μόνο δυνητικά, περιγράφοντας ενεργειακές καταστάσεις στις οποίες όταν βρεθεί το ηλεκτρόνιο, τότε το ηλεκτρονιακό νέφος αποκτά τη συγκεκριμένη κατανομή.

Η κατανομή στο χώρο γύρω από τον πυρήνα του ηλεκτρονιακού νέφους σύμφωνα με τη συνάρτηση $|\psi|^2$, όταν υπάρχει ηλεκτρόνιο, οδηγεί στη δημιουργία σχημάτων ορισμένου μεγέθους και προσανατολισμού για κάθε ψ που έχει καθιερωθεί για λόγους απλότητας να ονομάζονται ατομικά τροχιακά. Έτσι ένας απλοποιημένος, πλην όμως ανακριβής, ορισμός των ατομικών τροχιακών, που χρησιμοποιείται από σχολικά εγχειρίδια, είναι ότι ατομικό τροχιακό είναι ένας τρισδιάστατος χώρος ορισμένου σχήματος και προσανατολισμού όπου μπορεί να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο ορισμένης ενέργειας (Μανουσάκης κ.ά. 2000, Μαυρομούστακος κ.ά 1999). Ο απλοποιημένος αυτός ορισμός σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα σχήματα κατανομής της ηλεκτρονιακής πυκνότητας ονομάζονται, ανακριβώς, τροχιακά είναι η αιτία τόσο για δυσκολίες στην κατανόηση της έννοιας των τροχιακών όσο και στην αιτιοκρατική θεώρησή τους (Gillespie, Moog & Spencer, 1996b). Είναι πάντως σημαντικό να διευκρινισθεί ότι αυτό που διαφοροποιεί το τροχιακό στο οποίο βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο δεν είναι η θέση που ενδεχομένως θα βρεθεί κάποια στιγμή το ηλεκτρόνιο, αλλά η ενέργεια που αυτό έχει τις περισσότερες χρονικές στιγμές, η οποία βέβαια καθορίζει και την πιο πιθανή του θέση.

Δ. Η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου

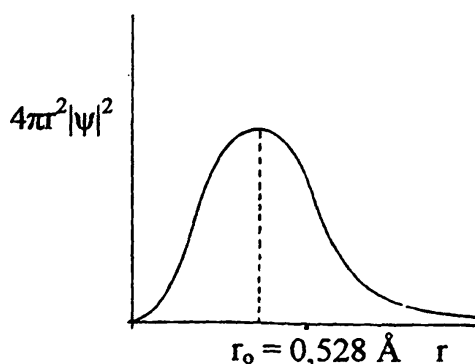
Όπως έχει ήδη αναφερθεί το τετράγωνο της κυματοσυνάρτησης ψ μας δίνει την πιθανότητα να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο σε ένα σημείο με απόσταση r από τον πυρήνα. Η γραφική παράσταση της πιθανότητας αυτής σε σχέση με την απόσταση από τον πυρήνα για το τροχιακό $1s$ (σχήμα 3.1) δείχνει ότι το πιο πιθανό σημείο είναι ο πυρήνας.





Σχήμα 3.1: Η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε σχέση με την απόσταση από τον πυρήνα για το τροχιακό 1s.

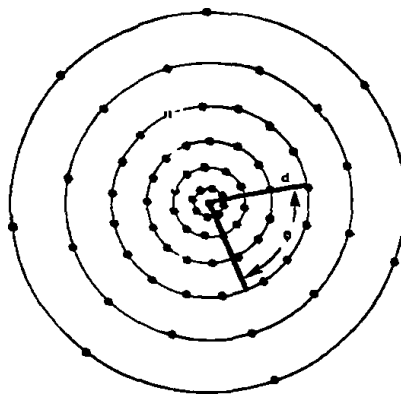
Υπάρχει όμως διαφορά ανάμεσα στην πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε ένα σημείο με απόσταση r από τον πυρήνα και στην πιθανότητα εύρεσής του σε μια απόσταση r από αυτόν, διότι στη δεύτερη περίπτωση δεν μας απασχολεί πια ένα μόνο σημείο αλλά το σύνολο των σημείων που βρίσκονται σε μια επιφάνεια σφαίρας με ακτίνα r ή ακριβέστερα το σύνολο των σημείων που βρίσκονται σε ένα σφαιρικό φλοιό με ακτίνα $r + dr$. Για να βρούμε αυτήν την πιθανότητα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το τετράγωνο της κυματοσυνάρτησης ψ με $4\pi^2 dr$. Η γραφική παράσταση της πιθανότητας αυτής σε σχέση με την απόσταση από τον πυρήνα για το τροχιακό 1s (σχήμα 3.2) δείχνει ότι η πιο πιθανή ακτίνα είναι ίση με $0,528 \text{ \AA}$ και αντιστοιχεί με την ακτίνα της τροχιάς του Bohr, όπως αυτή προκύπτει από την παλιά κβαντική θεωρία (θεωρία Bohr) (βλ. εδάφιο Α παραπάνω)



Σχήμα 3.2: Η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε επιφάνεια σφαίρας ακτίνας $r + dr$ για το τροχιακό 1s.

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε αν θεωρήσουμε ότι το τετράγωνο της κυματοσυνάρτησης ψ έχει διαστάσεις πυκνότητας πιθανότητας. Για να βρούμε την πιθανότητα να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο σε ένα σφαιρικό φλοιό ακτίνας $r + dr$, αρκεί να πολλαπλασιάσουμε την πυκνότητα πιθανότητας ψ^2 με τον όγκο του σφαιρικού φλοιού που είναι $4\pi^2 dr$.

Μια παραστατική αναλογία για την κατανόηση αυτής της διαφοράς φαίνεται στο σχήμα 3.3 που παριστάνει την κάτοψη ενός δάσους που είναι πυκνότερο στο κέντρο και αραιώνει όσο απομακρύνεται κανείς απ' αυτό. Εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι προχωρώντας προς το κέντρο θα συναντά όλο και περισσότερα δέντρα. Αν όμως κινείται κυκλικά γύρω από το κέντρο τότε τα περισσότερα δέντρα θα τα συναντήσει κινούμενος σε μια ακτίνα d από το κέντρο του δάσους (Lagorio 2000).



Σχήμα 3.3: Η κάτοψη ενός δάσους, η αναλογία της Lagorio.

Σύμφωνα με το σχήμα 3.1 η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε ένα τροχιακό $1s$ δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλη απόσταση από τον πυρήνα, όπως φαίνεται από το ότι η καμπύλη πλησιάζει ασυμπτωτικά τον άξονα της απόστασης όταν αυτή τείνει στο άπειρο. Το γεγονός αυτό μπορεί ναδειχθεί επίσης κατά την απεικόνιση του ηλεκτρονιακού νέφους με στιγμές, οπότε πρέπει να υπάρχουν αραιές στιγμές και μακριά από τον πυρήνα, να μην έχει δηλαδή το ηλεκτρονιακό νέφος σαφή όρια. Σημειώνεται ότι η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται για όλα τα τροχιακά και όχι μόνο για το $1s$.

Ε. Κβαντικοί αριθμοί

Ε.1. Ο πρώτος κβαντικός αριθμός n

Ο πρώτος ή κύριος κβαντικός αριθμός n προκύπτει άμεσα από την επίλυση της εξίσωσης Schrödinger. Μόνο όταν ο αριθμός n παίρνει τις ακέραιες τιμές $n = 1, 2, 3 \dots$ οι λαμβανόμενες εκφράσεις αποτελούν λύσεις της εξίσωσης Schrödinger. Ο κύριος κβαντικός αριθμός ταυτίζεται με τον αριθμό n που εισήγαγε, αυθαίρετα όμως, ο Bohr στην εξίσωση $2\pi m v r = n h$. Η διαφορά είναι ότι ενώ στο ατομικό πρότυπο του Bohr ο αριθμός αυτός αναφέρεται σε μια καθορισμένη στιβάδα, σε μια καθορισμένη απόσταση από τον πυρήνα, σύμφωνα με τη νέα κβαντική θεωρία είναι ενδεικτικός της μέσης απόστασης από τον πυρήνα αφού το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε απόσταση από αυτόν, με διαφορετική βέβαια πιθανότητα. Όσο πιο μεγάλο είναι το n τόσο πιο απομακρυσμένο από τον πυρήνα είναι κατά μέσο όρο το ηλεκτρονιακό νέφος. Ο κύριος κβαντικός αριθμός καθορίζει επίσης και την ενέργεια του ατόμου που για το υδρογόνο δίνεται από τη σχέση $E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4}{h^2 n^2}$, όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, e το φορτίο του ηλεκτρονίου και h η σταθερά του Planck, όπως αυτή προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger.

Ε.2. Ο δευτερεύων ή αξιμουθιακός κβαντικός αριθμός ℓ

Ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός ℓ προκύπτει, όπως και ο κύριος κβαντικός αριθμός, άμεσα από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger οι λύσεις της οποίας έχουν νόημα, για δεδομένη τιμή του n , μόνο όταν ο αριθμός αυτός παίρνει τις ακέραιες τιμές από 0 μέχρι και $n-1$. Ο δευτερεύων κβαντικός αριθμός καθορίζει το σχήμα του ηλεκτρονιακού νέφους και σχετίζεται με την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Ο περιορισμός σύμφωνα με τον οποίο η τιμή του δεν μπορεί να ξεπεράσει το $n - 1$ από φυσική άποψη σημαίνει ότι η τιμή της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου πρέπει να είναι μικρότερη από τη συνολική ενέργεια που καθορίζει ο αριθμός n . Ο αριθμός ℓ είχε εισαχθεί ήδη αυθαίρετα ως $k = \ell + 1$ από τον Sommerfeld για να υποδηλώσει τις υποστιβάδες και να εξηγήσει τη λεπτή υφή του φάσματος του υδρογόνου. Ο ℓ καθορίζει επίσης τη γωνιακή στροφορμή του ηλεκτρονίου η οποία

μπορεί να πάρει μόνο τις τιμές που δίνονται από τη σχέση $L = \sqrt{\ell(\ell+1)} \frac{h}{2\pi}$. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με τον Sommerfeld ισχύει ότι $L = \ell \frac{h}{2\pi}$.

Ε.3. Ο τρίτος κβαντικός αριθμός m_l

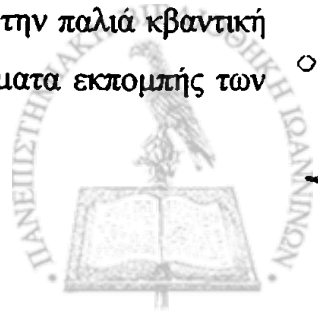
Ο τρίτος ή μαγνητικός κβαντικός αριθμός m_l , για δεδομένη τιμή του ℓ , μπορεί να πάρει όλες τις ακέραιες τιμές από $-\ell$ έως και $+\ell$, και ορίζει το μέτρο του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο λόγω της στροφορμής του, καθορίζοντας και τον προσανατολισμό του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο. Αναλυτικότερα, το ηλεκτρόνιο κατά την κίνησή του γύρω από τον πυρήνα έχει στροφορμή L , (όπως προκύπτει από την επίλυση της σχετικής κβαντομηχανικής εξίσωσης) με αποτέλεσμα να δημιουργείται μαγνητικό πεδίο με μαγνητική ροπή P_m που δίνεται από τη σχέση $P_m = L \cdot \frac{e}{2m}$.

Όταν το άτομο βρεθεί μέσα σε ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, τότε το ηλεκτρονιακό νέφος προσανατολίζεται έτσι ώστε η προβολή της στροφορμής στον άξονα του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, που θεωρούμε ότι είναι ο z , να παίρνει ως τιμές ακέραια πολλαπλάσια της ποσότητας $\frac{h}{2\pi}$ δηλαδή $L_z = m_l \cdot \frac{h}{2\pi}$ και φυσικά $P_{m,z} = m_l \cdot \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{e}{2m}$ όπου m_l ο τρίτος κβαντικός αριθμός.

Ο προσανατολισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα την άρση του εκφυλισμού που παρατηρείται στις ενέργειες τροχιακών ίδιου ℓ (κανονικό φαινόμενο Zeeman), διότι σε κάθε γωνία θ που σχηματίζει η στροφορμή (και η μαγνητική ροπή) του ηλεκτρονίου με τον άξονα του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου αντιστοιχεί και διαφορετική δυναμική ενέργεια, ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των δύο μαγνητικών πεδίων ($U = -P_m \cdot B_z \cdot \cos \theta$).

Ε.4. Ο τέταρτος κβαντικός αριθμός του spin s ή m_s

Ο κβαντικός αριθμός του spin s , όπως και ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin (m_s), σε αντίθεση με τους άλλους τρεις κβαντικούς αριθμούς δεν εισάγεται από την επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger. Η εισαγωγή του γίνεται αυθαίρετα, από την παλιά κβαντική θεωρία για την ερμηνεία φαινομένων όπως οι διπλές γραμμές στα φάσματα εκπομπής των



αλκαλίων δηλαδή το ανώμαλο φαινόμενο Zeeman. Ο m_s αναφέρεται στη γωνιακή στροφορμή του ηλεκτρονίου λόγω της περιστροφής γύρω από τον άξονα του και μπορεί να πάρει τις τιμές $\pm \frac{1}{2}$. Η γωνιακή αυτή στροφορμή συνεισφέρει στην τιμή της ολικής γωνιακής στροφορμής. Ο τέταρτος κβαντικός αριθμός εισάγεται αυτόματα από τη σχετικιστική κυματομηχανική του Dirac. Το μέγεθος της γωνιακής στροφορμής λόγω της αυτοπεριστροφής του ηλεκτρονίου (spin) δίνεται σύμφωνα με τη σχετικιστική κυματομηχανική από τη σχέση $L_s = \sqrt{s(s+1)} \frac{h}{2\pi}$ και όχι από τη σχέση $L_s = s \frac{h}{2\pi}$ της παλιάς κβαντικής θεωρίας.

ΣΤ. Πολυηλεκτρονιακά άτομα

Για τα πολυηλεκτρονιακά άτομα μπορεί να γραφεί, όπως και για το υδρογόνο, η αντίστοιχη εξίσωση Schrödinger, με την διαφορά ότι γι' αυτά δεν είναι δυνατή η ακριβής επίλυσή της επειδή σ' αυτήν υπάρχει όρος (ή όροι) που εκφράζουν τη δυναμική ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασης των ηλεκτρονίων. Για την προσεγγιστική επίλυση της εξίσωσης ο όρος αυτός παραλείπεται. Οι κυματοσυναρτήσεις που προκύπτουν από τη λύση της προσεγγιστικής αυτής εξίσωσης βελτιώνονται στη συνέχεια με διάφορες μεθόδους (θεωρία διαταράξεων, μέθοδος παραλλαγών κ.ά.)

Ως παράδειγμα αναφέρεται η κυματική εξίσωση για το άτομο του ηλίου, ενός στοιχείου που έχει δύο μόνο ηλεκτρόνια:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_1^2 \psi - \frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_2^2 \psi - \frac{Ze^2}{r_1} \psi - \frac{Ze^2}{r_2} \psi + \frac{e^2}{r_{12}} \psi = E\psi \quad (1)$$

Ο όρος $\frac{e^2}{r_{12}}$ που αναφέρεται στις αλληλεπιδράσεις των δύο ηλεκτρονίων καθιστά αδύνατη την επίλυση της εξίσωσης, επειδή είναι συνάρτηση της απόστασης των δύο ηλεκτρονίων (r_{12}) και ως εκ τούτου εξαρτάται από τις συντεταγμένες και των δύο ηλεκτρονίων, χωρίς να μπορεί να χωριστεί σε άθροισμα δύο όρων που ο κάθε ένας να εξαρτάται από τις συντεταγμένες του ενός μόνο ηλεκτρονίου, κάτι που θα επέτρεπε την επίλυση της εξίσωσης. Η εξίσωση λύνεται ακριβώς αν παραλειφθεί ο όρος $\frac{e^2}{r_{12}}$.

Μετά την παράλειψη του όρου αυτού, η προσεγγιστική κυματική εξίσωση για το ήλιο γίνεται:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_1^2 \psi^\circ - \frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_2^2 \psi^\circ - \frac{Ze^2}{r_1} \psi^\circ - \frac{Ze^2}{r_2} \psi^\circ = E \psi^\circ \quad (2')$$

της οποίας βεβαίως οι λύσεις ψ° αποτελούν προσεγγίσεις των λύσεων ψ της αρχικής εξίσωσης.

Η εξίσωση (2) μπορεί, μετά από μαθηματική επεξεργασία, να χωριστεί σε δύο ισοδύναμες εξισώσεις, όμοιες με την κυματική εξίσωση του υδρογονοειδούς ατόμου οι οποίες λύνονται επακριβώς. Οι δύο αυτές εξισώσεις είναι:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_1^2 \psi_1^\circ + (E_1^\circ + \frac{Ze^2}{r_1}) \cdot \psi_1^\circ = 0 \quad (3)$$

και

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \nabla_2^2 \psi_2^\circ + (E_2^\circ + \frac{Ze^2}{r_2}) \cdot \psi_2^\circ = 0 \quad (4)$$

Οι προσεγγιστικές λύσεις της εξίσωσης (2) ψ° θα είναι όλα τα δυνατά γινόμενα $\psi_1^\circ \cdot \psi_2^\circ$ και οι αντίστοιχες ενέργειες τα αθροίσματα $E^\circ = E_1^\circ + E_2^\circ$. Η συνάρτηση ψ° όπως έχει ήδη λεχθεί δεν αποδίδει την πραγματική συνάρτηση της θεμελιώδους κατάστασης του ατόμου του ηλίου. Το ίδιο συμβαίνει και με την ενέργεια E° η οποία απέχει πολύ από την πραγματική που υπολογίζεται πειραματικά. Έτσι τόσο η κυματοσυνάρτηση ψ° όσο και η ενέργεια E° βελτιώνονται στη συνέχεια με διάφορες μεθόδους, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Z. Η ενέργεια στο άτομο του υδρογόνου και στα πολυηλεκτρονιακά άτομα

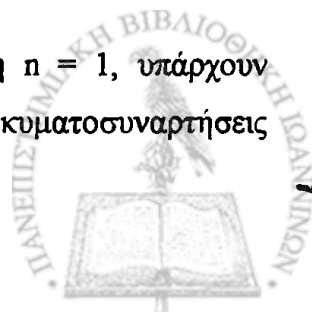
Από τη λύση της εξίσωσης του Schrödinger προκύπτουν εκτός από τις κυματοσυναρτήσεις Ψ και οι αντίστοιχες σ' αυτές ενέργειες E .

Ειδικά για το υδρογόνο και τα υδρογονοειδή ιόντα η ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{h^2 n^2} = -\frac{2,18 \cdot 10^{-18} \cdot Z^2}{n^2} \quad \text{εξαρτάται δηλαδή μόνο από τον κύριο κβαντικό}$$

αριθμό n .

Για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό, με εξαίρεση την περίπτωση $n = 1$, υπάρχουν περισσότερες από μία κυματοσυναρτήσεις ψ . Έτσι για $n = 2$ υπάρχουν οι κυματοσυναρτήσεις



$\psi_{2s}, \psi_{2p_x}, \psi_{2p_y}$ και ψ_{2p_z} , και στις τέσσερις αυτές κυματοσυναρτήσεις αντιστοιχεί η ίδια ενέργεια E_2 .

Όταν σε περισσότερες από μια κυματοσυναρτήσεις ψ αντιστοιχεί η ίδια ενέργεια, η τιμή αυτής της ενέργειας είναι εκφυλισμένη και ο αριθμός των ανεξάρτητων κυματοσυναρτήσεων ψ στις οποίες αντιστοιχεί η ενέργεια ονομάζεται βαθμός εκφυλισμού. Έτσι για $n = 2$ η ενέργεια E_2 είναι τετραπλώς εκφυλισμένη.

Κατά την προσεγγιστική επίλυση των εξισώσεων του Schrödinger για τα πολυηλεκτρονιακά άτομα, οι κυματοσυναρτήσεις ψ^0 που προκύπτουν αρχικά περιγράφουν καταστάσεις που, όπως και στο άτομο του υδρογόνου, είναι εκφυλισμένες στον ίδιο βαθμό. Όταν όμως στη συνέχεια, για να συμπεριληφθούν και οι αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων που αρχικά είχαν αγνοηθεί, επιφέρονται βελτιώσεις στις κυματοσυναρτήσεις ψ^0 , παρατηρείται μερική άρση του εκφυλισμού, δηλαδή σε όλες τις νέες βελτιωμένες κυματοσυναρτήσεις ψ δεν αντιστοιχεί η ίδια ενέργεια. Η ενέργεια που αντιστοιχεί σ' αυτές εξαρτάται και από το δεύτερο κβαντικό αριθμό ℓ . Έτσι για $n = 2$ προκύπτουν δύο ενέργειες η E_{2s} που δεν είναι εκφυλισμένη και η E_{2p} που είναι τριπλώς εκφυλισμένη. Για τις δύο αυτές ενέργειες ισχύει $E_{2s} < E_{2p}$.

Η. Ο υβριδισμός των ατομικών τροχιακών και ο άνθρακας

Η ηλεκτρονιακή δομή του άνθρακα στη θεμελιώδη κατάσταση, $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$, δεν εξηγεί τις ιδιότητες του άνθρακα κατά το σχηματισμό των ενώσεών του. Σύμφωνα με αυτή τη δομή ο άνθρακας έχει μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια, άρα μπορεί να σχηματίσει δύο μόνο ομοιοπολικούς δεσμούς, η γωνία των οποίων θα έπρεπε να είναι 90° , αφού τα δύο μονήρη ηλεκτρόνια βρίσκονται σε τροχιακά p που είναι κάθετα μεταξύ τους.

Ο άνθρακας όμως σχηματίζει τέσσερις ισοδύναμους απλούς δεσμούς τετραεδρικά διατεταγμένους, των οποίων η γωνία είναι περίπου 109° . Για να συμβαίνει αυτό απαιτούνται τέσσερα ισοδύναμα τροχιακά τετραεδρικά διατεταγμένα. Τα τροχιακά αυτά μπορούν να προέλθουν με γραμμικό συνδυασμό των τεσσάρων αρχικών υδρογονοειδών κυματοσυναρτήσεων $\psi_{2s}, \psi_{2p_x}, \psi_{2p_y}$ και ψ_{2p_z} :

$$\psi_1(sp^3) = \frac{1}{2}(\psi_{2s} + \psi_{2p_x} + \psi_{2p_y} + \psi_{2p_z})$$

$$\psi_2(sp^3) = \frac{1}{2}(\psi_{2s} + \psi_{2p_x} - \psi_{2p_y} - \psi_{2p_z})$$

$$\psi_3(sp^3) = \frac{1}{2}(\psi_{2s} - \psi_{2p_x} + \psi_{2p_y} - \psi_{2p_z})$$

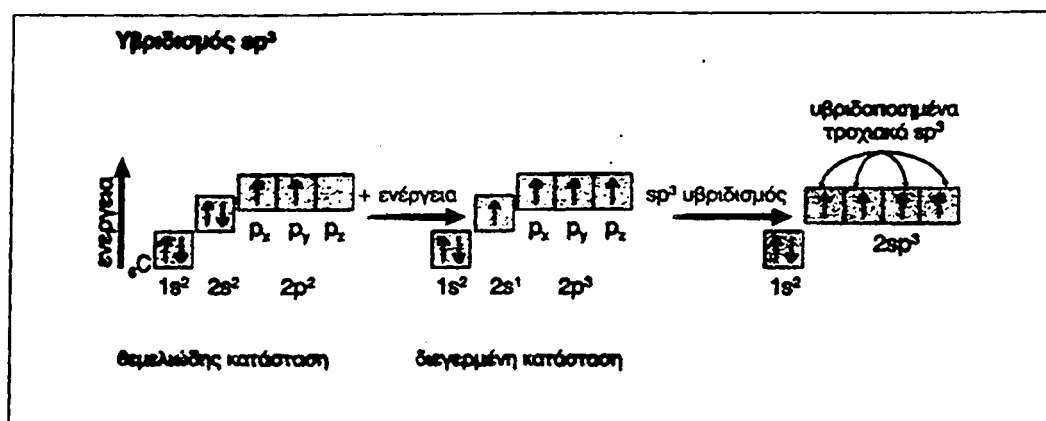
$$\psi_4(sp^3) = \frac{1}{2}(\psi_{2s} - \psi_{2p_x} - \psi_{2p_y} + \psi_{2p_z})$$

Οι κυματοσυναρτήσεις ψ_1, ψ_2, ψ_3 και ψ_4 ονομάζονται υβριδικά τροχιακά sp^3 , έχουν την ίδια τετραπλώς εκφυλισμένη, ενέργεια, και είναι τετραεδρικά διατεταγμένα γύρω από το άτομο του άνθρακα. Έτσι εξηγείται η συμπεριφορά του άνθρακα κατά το σχηματισμό απλών δεσμών. Παρόμοια επεξεργασία γίνεται στις αρχικές κυματοσυναρτήσεις για να εξηγηθεί η συμπεριφορά του άνθρακα όταν σχηματίζει διπλό ή τριπλό δεσμό, οπότε ο υβριδισμός ονομάζεται sp^2 και sp αντίστοιχα.

Σημειώνεται ότι ο υβριδισμός δεν είναι ένα φυσικό φαινόμενο, κάτι που παθαίνει ο άνθρακας όταν ενώνεται, αλλά μάλλον μια μαθηματική επεξεργασία που εκ των υστέρων γίνεται στις κυματοσυναρτήσεις για να εξηγηθεί η συμπεριφορά του ατόμου του άνθρακα όταν σχηματίζει χημικούς δεσμούς. Έτσι είναι λάθος η φράση που πολλές φορές λέγεται ότι «η δομή του μεθανίου είναι τετραεδρική επειδή στο άτομο του άνθρακα υπάρχει υβριδισμός sp^3 », η σωστή έκφραση είναι ότι «το μεθάνιο έχει τετραεδρική δομή η οποία ερμηνεύεται με υβριδικά τροχιακά sp^3 »

Μια απλουστευμένη μηχανιστική περιγραφή του υβριδισμού που περιλαμβάνεται σε δύο από τα τέσσερα σχολικά βιβλία (Μανουσάκης κ. ά. 2000, Λιοδάκης κ. ά. 2000) φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα 4:





Σχήμα 4: Μηχανιστική περιγραφή του υβριδισμού

Σύμφωνα με την περιγραφή αυτή, ένα ηλεκτρόνιο από το $2s$ τροχιακό διεγείρεται αρχικά στο κενό $2p_z$ τροχιακό. Στη συνέχεια τα τέσσερα τροχιακά με τα ηλεκτρόνιά τους αλληλεπιδρούν, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τα τέσσερα υβριδικά sp^3 τροχιακά που κατευθύνονται στις κορφές ενός κανονικού τετραέδρου. Η δημιουργία των τεσσάρων αυτών υβριδικών τροχιακών έχει ως συνέπεια την έκλυση ενέργειας μεγαλύτερης από αυτή που απαιτείται για την αρχική διέγερση, με αποτέλεσμα τα υβριδικά τροχιακά να έχουν χαμηλότερη ενέργεια από την αρχική και έτσι να σταθεροποιούνται. Η προσέγγιση όμως αυτή συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία της παρανόησης ότι ο υβριδισμός είναι ένα φαινόμενο.

Υβριδικά τροχιακά, δηλαδή κυματοσυναρτήσεις που αποτελούν γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών υδρογονοειδών συναρτήσεων, χρησιμοποιούνται και για την ερμηνεία των ιδιοτήτων άλλων ατόμων όταν η χρησιμοποίηση υδρογονοειδών τροχιακών δεν μπορεί να εξηγήσει τη γεωμετρία των μορίων που αυτά σχηματίζουν.

Θ. Μοριακά τροχιακά

Τα μοριακά τροχιακά, όπως και τα ατομικά τροχιακά, είναι μονοηλεκτρονικές κυματοσυναρτήσεις ψ , το τετράγωνο των οποίων περιγράφει την κατανομή του ηλεκτρονιακού νέφους στο μόριο, δίνει δηλαδή την πιθανότητα να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε ορισμένη θέση στον χώρο καθώς και την ενέργεια που έχει κάθε φορά.

Για τα μόρια μπορεί να γραφεί, όπως και για τα άτομα, η αντίστοιχη εξίσωση Schrödinger που όμως, όπως και για τα πολυηλεκτρονιακά άτομα, δεν είναι δυνατή η ακριβής επίλυσή της επειδή σ' αυτήν υπάρχουν όροι που εκφράζουν τη δυναμική ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασης των ηλεκτρονίων. Ακόμη και για το μοριακό ιόν υδρογόνου (H_2^+) που έχει

ένα μόνο ηλεκτρόνιο, η επίλυση της αντίστοιχης εξίσωσης αν και δυνατή, με βάση την προσέγγιση Born – Oppenheimer, οδηγεί σε λύσεις που είναι εξαιρετικά πολύπλοκες και για το λόγο αυτό δεν προσφέρονται για φυσική ερμηνεία/περιγραφή (Πολυδωρόπουλος, 1983).

Έτσι για το σχηματισμό των μοριακών τροχιακών χρησιμοποιούνται συνήθως γραμμικοί συνδυασμοί των αντίστοιχων ατομικών τροχιακών. Από το γραμμικό αυτό συνδυασμό των ατομικών τροχιακών προκύπτουν ισάριθμα μοριακά τροχιακά. Η ενέργεια των μισών από αυτά είναι μικρότερη από την ενέργεια των αρχικών ατομικών τροχιακών, ενώ η ενέργεια των υπολοίπων μισών είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια των αρχικών ατομικών τροχιακών. Τα τροχιακά με τη χαμηλότερη ενέργεια ονομάζονται δεσμικά, ενώ εκείνα με την υψηλότερη ενέργεια ονομάζονται αντιδεσμικά.

Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων που μετέχουν στο δεσμό κατανέμονται σε αυτά σύμφωνα με την αρχή της ελάχιστης ενέργειας, την απαγορευτική αρχή του Pauli και τον κανόνα του Hund, όπως ακριβώς και για τα άτομα. Πρώτα δηλαδή συμπληρώνονται τα δεσμικά τροχιακά και στη συνέχεια τα αντιδεσμικά. Ανάλογα με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν σε δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά, το μόριο είναι σταθερότερο από τα ελεύθερα άτομα και ο δεσμός υπάρχει ή δεν είναι σταθερότερο οπότε ο δεσμός δε σχηματίζεται. Ως τάξη δεσμού ονομάζεται η διαφορά μεταξύ ζευγών ηλεκτρονίων σε δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά. Τάξη δεσμού ένα σημαίνει απλός δεσμός, τάξη δεσμού δύο διπλός δεσμός, ενώ τάξη δεσμού μηδέν σημαίνει απουσία δεσμού.

Στη συνέχεια αναφέρεται το παράδειγμα των H_2^+ , H_2 και He_2 .

Για τον σχηματισμό των δύο μοριακών τροχιακών των πιο πάνω μορίων συνδυάζονται γραμμικά τα ατομικά τροχιακά $1s_A$ και $1s_B$ των δύο ατόμων H_A και H_B , οπότε προκύπτουν τα δύο μοριακά τροχιακά, το δεσμικό ψ_+ και το αντιδεσμικό ψ_- ως εξής:

$$\psi_+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(1s_A + 1s_B)$$

$$\psi_- = \frac{1}{\sqrt{2}}(1s_A - 1s_B)$$

Το H_2^+ έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο που τοποθετείται στο δεσμικό μοριακό τροχιακό ψ_+ , η τάξη δεσμού είναι 0,5 και αντιστοιχεί σε μισό δεσμό. Το H_2 έχει δύο ηλεκτρόνια που επίσης τοποθετούνται στο δεσμικό μοριακό τροχιακό ψ_+ , η τάξη δεσμού είναι ένα και αντιστοιχεί σε ένα δεσμό. Τέλος το He_2 έχει τέσσερα ηλεκτρόνια που τοποθετούνται ανά δύο στο δεσμικό



μοριακό τροχιακό ψ_+ και στο αντιδεσμικό μοριακό τροχιακό ψ_- , η τάξη δεσμού είναι μηδέν κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχει δεσμός. Πράγματι τα μόρια του He είναι μονατομικά, δεν υπάρχει δηλαδή το μόριο He_2 .

1. The first step in the process of the investigation is the identification of the problem. This is done by the investigator who is responsible for the study. The investigator must first identify the problem that is being investigated. This is done by the investigator who is responsible for the study. The investigator must first identify the problem that is being investigated.

[illegible]

Το κλειδί της αλλαγής στην κοινωνία μας γίνεται πιο
κατανοητό σε αυτή τη στιγμή με τη βοήθεια της ιστορίας. Ο γιος του
αρχι του Ραούλ και της κυρίας του Ελντ, ο οποίος ήταν η αγαπημένη
συμπρωτεύουσα της βασιλικής προτομέης της μητρώου, η οποία ήταν
απόλυτα τον ελεγχόμενη του βασιλιά, ο βασιλιάς και η βασίλισσα προηγουμένως, το πόσο
σταθερό και η ελπίδα είναι του ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος
βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς
ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς
ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς
ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς, ο οποίος είναι ο βασιλιάς

100-443887-100

The 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530, 540, 550, 560, 570, 580, 590, 600, 610, 620, 630, 640, 650, 660, 670, 680, 690, 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 890, 900, 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970, 980, 990, 1000, 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060, 1070, 1080, 1090, 1100, 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160, 1170, 1180, 1190, 1200, 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260, 1270, 1280, 1290, 1300, 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360, 1370, 1380, 1390, 1400, 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460, 1470, 1480, 1490, 1500, 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560, 1570, 1580, 1590, 1600, 1610, 1620, 1630, 1640, 1650, 1660, 1670, 1680, 1690, 1700, 1710, 1720, 1730, 1740, 1750, 1760, 1770, 1780, 1790, 1800, 1810, 1820, 1830, 1840, 1850, 1860, 1870, 1880, 1890, 1900, 1910, 1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090, 2100, 2110, 2120, 2130, 2140, 2150, 2160, 2170, 2180, 2190, 2200, 2210, 2220, 2230, 2240, 2250, 2260, 2270, 2280, 2290, 2300, 2310, 2320, 2330, 2340, 2350, 2360, 2370, 2380, 2390, 2400, 2410, 2420, 2430, 2440, 2450, 2460, 2470, 2480, 2490, 2500, 2510, 2520, 2530, 2540, 2550, 2560, 2570, 2580, 2590, 2600, 2610, 2620, 2630, 2640, 2650, 2660, 2670, 2680, 2690, 2700, 2710, 2720, 2730, 2740, 2750, 2760, 2770, 2780, 2790, 2800, 2810, 2820, 2830, 2840, 2850, 2860, 2870, 2880, 2890, 2900, 2910, 2920, 2930, 2940, 2950, 2960, 2970, 2980, 2990, 3000, 3010, 3020, 3030, 3040, 3050, 3060, 3070, 3080, 3090, 3100, 3110, 3120, 3130, 3140, 3150, 3160, 3170, 3180, 3190, 3200, 3210, 3220, 3230, 3240, 3250, 3260, 3270, 3280, 3290, 3300, 3310, 3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370, 3380, 3390, 3400, 3410, 3420, 3430, 3440, 3450, 3460, 3470, 3480, 3490, 3500, 3510, 3520, 3530, 3540, 3550, 3560, 3570, 3580, 3590, 3600, 3610, 3620, 3630, 3640, 3650, 3660, 3670, 3680, 3690, 3700, 3710, 3720, 3730, 3740, 3750, 3760, 3770, 3780, 3790, 3800, 3810, 3820, 3830, 3840, 3850, 3860, 3870, 3880, 3890, 3900, 3910, 3920, 3930, 3940, 3950, 3960, 3970, 3980, 3990, 4000, 4010, 4020, 4030, 4040, 4050, 4060, 4070, 4080, 4090, 4100, 4110, 4120, 4130, 4140, 4150, 4160, 4170, 4180, 4190, 4200, 4210, 4220, 4230, 4240, 4250, 4260, 4270, 4280, 4290, 4300, 4310, 4320, 4330, 4340, 4350, 4360, 4370, 4380, 4390, 4400, 4410, 4420, 4430, 4440, 4450, 4460, 4470, 4480, 4490, 4500, 4510, 4520, 4530, 4540, 4550, 4560, 4570, 4580, 4590, 4600, 4610, 4620, 4630, 4640, 4650, 4660, 4670, 4680, 4690, 4700, 4710, 4720, 4730, 4740, 4750, 4760, 4770, 4780, 4790, 4800, 4810, 4820, 4830, 4840, 4850, 4860, 4870, 4880, 4890, 4900, 4910, 4920, 4930, 4940, 4950, 4960, 4970, 4980, 4990, 5000, 5010, 5020, 5030, 5040, 5050, 5060, 5070, 5080, 5090, 5100, 5110, 5120, 5130, 5140, 5150, 5160, 5170, 5180, 5190, 5200, 5210, 5220, 5230, 5240, 5250, 5260, 5270, 5280, 5290, 5300, 5310, 5320, 5330, 5340, 5350, 5360, 5370, 5380, 5390, 5400, 5410, 5420, 5430, 5440, 5450, 5460, 5470, 5480, 5490, 5500, 5510, 5520, 5530, 5540, 5550, 5560, 5570, 5580, 5590, 5600, 5610, 5620, 5630, 5640, 5650, 5660, 5670, 5680, 5690, 5700, 5710, 5720, 5730, 5740, 5750, 5760, 5770, 5780, 5790, 5800, 5810, 5820, 5830, 5840, 5850, 5860, 5870, 5880, 5890, 5900, 5910, 5920, 5930, 5940, 5950, 5960, 5970, 5980, 5990, 6000, 6010, 6020, 6030, 6040, 6050, 6060, 6070, 6080, 6090, 6100, 6110, 6120, 6130, 6140, 6150, 6160, 6170, 6180, 6190, 6200, 6210, 6220, 6230, 6240, 6250, 6260, 6270, 6280, 6290, 6300, 6310, 6320, 6330, 6340, 6350, 6360, 6370, 6380, 6390, 6400, 6410, 6420, 6430, 6440, 6450, 6460, 6470, 6480, 6490, 6500, 6510, 6520, 6530, 6540, 6550, 6560, 6570, 6580, 6590, 6600, 6610, 6620, 6630, 6640, 6650, 6660, 6670, 6680, 6690, 6700, 6710, 6720, 6730, 6740, 6750, 6760, 6770, 6780, 6790, 6800, 6810, 6820, 6830, 6840, 6850, 6860, 6870, 6880, 6890, 6900, 6910, 6920, 6930, 6940, 6950, 6960, 6970, 6980, 6990, 7000, 7

To the above named party, the undersigned, James M. Smith, of the County of San Diego, State of California, do hereby certify that the above named party is the owner of the above described land, and that the same is not subject to any lien or claim of any person other than the owner thereof.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Α. Τα υποκείμενα της έρευνας

Η έρευνα έγινε σε νεοεισαχθέντες, με το νέο σύστημα, πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων Χημείας (ΤΧ), Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (ΤΒ) και Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών (ΤΥ) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων τον Οκτώβριο του 2001. Οι νέοι αυτοί φοιτητές είχαν μόλις εισέλθει στο Πανεπιστήμιο και είχαν ήδη αρχίσει μαθήματα χημείας σ' αυτό, δεν είχαν όμως διδαχθεί ακόμη την ύλη στην οποία αναφέρεται η έρευνα. Οι γνώσεις λοιπόν που είχαν οι φοιτητές αυτοί προέρχονταν από όσα είχαν διδαχθεί στη Γ λυκείου, την προηγούμενη σχολική χρονιά, στα πλαίσια των μαθημάτων της χημείας θετικής κατεύθυνσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ερωτηματολόγιο δεν απάντησε ένας μικρός αριθμός φοιτητών του ΤΧ και ένας μεγαλύτερος του τμήματος ΤΥ που στην τρίτη λυκείου παρακολούθησαν τα μαθήματα της τεχνολογικής και όχι της θετικής κατεύθυνσης και ως εκ τούτου δε διδάχθηκαν το σχετικό αντικείμενο. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι κατά τη σχολική χρόνια 2000-2001 ίσχυσε το πολλαπλό βιβλίο στα σχολεία. Έτσι οι φοιτητές αυτοί διδάχθηκαν, την ίδια ύλη βέβαια, από τέσσερα διαφορετικά βιβλία (Λιοδάκης κ.ά. 2000, Μανουσάκης κ.ά. 2000, Μαυρομούστακος κ.ά. 1999, Τσίπης κ.ά. 2000). Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα προέρχονταν από διάφορα σχολεία όλης της Ελλάδας. Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τα μόρια εισαγωγής των φοιτητών αυτών φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τα μόρια εισαγωγής των πρωτοετών φοιτητών

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Μόρια εισαγωγής ΤΧ	43	15716	17141	15951,77	269,603
Μόρια εισαγωγής ΤΒ	43	17167	18730	17475,70	382,346
Μόρια εισαγωγής ΤΥ	33	14949	16862	15342,58	455,773
Valid N (listwise)	33				



Το ερωτηματολόγιο δόθηκε χωρίς προειδοποίηση, σε ώρα που κανονικά οι φοιτητές είχαν πανεπιστημιακό μάθημα χημείας Α' έτους. Κατά τη διάρκεια της συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και επιμέλεια, ενώ δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα συνεργασίας και αντιγραφής.

Το ερωτηματολόγιο δόθηκε επίσης, χωρίς προειδοποίηση, σε φοιτητές του δεύτερου έτους του Τμήματος Χημείας (ΤΧ2) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, το Φεβρουάριο του 2002. Οι φοιτητές αυτοί δεν είχαν ακόμη διδαχθεί το μάθημα της Κβαντικής Χημείας, είχαν όμως διδαχθεί και εξετασθεί επιτυχώς τις σχετικές έννοιες σε μαθήματα γενικής χημείας (Ανόργανης και Οργανικής). Και σε αυτήν την περίπτωση οι φοιτητές έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και επιμέλεια και δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα συνεργασίας και αντιγραφής.

Στον πίνακα 4.2 φαίνεται ο αριθμός των φοιτητών που έλαβαν μέρος στην έρευνα. Σημειώνεται ότι ο αριθμός των πρωτοετών φοιτητών που αναφέρονται στον πίνακα αυτό είναι κατά έξι άτομα μεγαλύτερος από τον αριθμό των φοιτητών που αναφέρεται στον πίνακα 4.1. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για τους έξι αυτούς φοιτητές δεν υπήρχαν, στους φακέλους τους, μόρια εισαγωγής καθώς και άλλα στοιχεία από τις εισαγωγικές εξετάσεις.

Πίνακας 4.2: Αριθμός φοιτητών που έλαβε μέρος στην έρευνα.

Τμήμα	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	ΤΧ2
Αριθμός Φοιτητών	43	46	36	43

Β. Το Ερωτηματολόγιο

Για την κατάρτιση του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την έρευνα χρησιμοποιήθηκε, κατ' αρχήν, το ερωτηματολόγιο της έρευνάς μου για την απόκτηση του ΜΔΕ (Παπαφώτης 2001). Το ερωτηματολόγιο αυτό παρατίθεται στο παράρτημα Α. Οι ερωτήσεις αξιολογήθηκαν με βάση τις παρατηρήσεις από την έρευνα εκείνη. Τελικά επιλέχθηκε ένας αριθμός από τις ερωτήσεις αυτές που αποτέλεσε τη βάση για το νέο ερωτηματολόγιο.



Στη συνέχεια παρατίθενται οι παρατηρήσεις-διαπιστώσεις που έγιναν για τις ερωτήσεις εκείνου του ερωτηματολογίου, οι οποίες λήφθηκαν υπόψη για το σχηματισμό του νέου ερωτηματολογίου.

α) Στις ερωτήσεις που παρέπεμπαν σε γραφικές παραστάσεις ή σχήματα και ζητούσαν το σχολιασμό τους, η προσοχή μερικών μαθητών εστιάζετο σε άλλο χαρακτηριστικό και όχι στο ζητούμενο (ερωτήσεις: 6, 12 και 16)

β) Πολλοί μαθητές θεώρησαν ότι η ερώτηση 5 ζητούσε να ζωγραφίσουν το ηλεκτρονιακό νέφος.

γ) Η μορφή της ερώτησης 10 δεν είναι κατάλληλη, πολλοί μαθητές εντόπισαν, παρά τους περιορισμούς, άλλες διαφορές εκτός της αναμενόμενης.

δ) Η μορφή της ερώτησης 8 (α και β) δεν είναι κατάλληλη, η διάζευξη "τι ισχύει αυτό ή εκείνο" εισάγει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα η απάντηση να δίνεται στην τύχη.

ε) Όπως έδειξε η στατιστική ανάλυση, βοηθητικές φράσεις που δόθηκαν στις ερωτήσεις 8α και 6 δε βοήθησαν τους μαθητές να έχουν καλύτερα αποτελέσματα από τις αντίστοιχες ερωτήσεις (8β και 16) που δεν περιείχαν τις βοηθητικές φράσεις.

Για κάθε μια από τις ερωτήσεις αυτές υπολογίστηκε δείκτης διάκρισης με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας. Ο δείκτης διάκρισης δείχνει πόσο μία ερώτηση μπορεί να διακρίνει τους μαθητές ανάλογα με την επίδοσή τους (Τσαπαρλής 1991). Για τον υπολογισμό του δείκτη διάκρισης κατατάσσονται οι μαθητές κατά φθίνουσα βαθμολογική σειρά με βάση το συνολικό βαθμό τους και χωρίζονται σε τρία ίσα μέρη. Ο δείκτης διάκρισης για κάθε ερώτηση (Δ.Δ.) υπολογίστηκε από τη σχέση: Δ.Δ. = Μέση βαθμολογία 1/3 των μαθητών με την καλύτερη συνολική βαθμολογία - Μέση βαθμολογία 1/3 μαθητών με τη χειρότερη συνολική βαθμολογία / βαθμολογία σωστής απάντησης (που στην περίπτωση αυτή είναι δύο)

$$(\Delta\Delta. = \frac{MO_{καλ} - MO_{χειρ}}{2}).$$

Ο δείκτης διάκρισης κυμαίνεται από -1 μέχρι +1 και είναι προφανές ότι μια ερώτηση με καλό δείκτη διάκρισης αναμένεται να απαντάται από τους καλούς μαθητές και όχι από τους αδύνατους, μια πολύ εύκολη ερώτηση θα έχει Δ.Δ. κοντά στο μηδέν, ενώ αν μια ερώτηση έχει αρνητικό Δ.Δ., δηλαδή απαντάται περισσότερο από τους κακούς παρά τους καλούς μαθητές, έχει κάποιο πρόβλημα. Για παράδειγμα μια ερώτηση πολλαπλής επιλογής απαντάται τυχαία από όλους τους μαθητές επειδή είναι εκτός ύλης. Οι δείκτες διάκρισης που

υπολογίσθηκαν φαίνονται στον πίνακα 4.3. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό τους λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα που παρουσιάσθηκαν στη διατριβή μου για το ΜΔΕ, με εξαίρεση τα αποτελέσματα των δευτεροετών φοιτητών του τμήματος Χημείας, επειδή αυτοί είχαν διαφορετική χημική παιδεία από τους υπόλοιπους μαθητές και πρωτοετείς φοιτητές, των οποίων οι γνώσεις αναφέρονταν στην ύλη της Γ' λυκείου θετικής κατεύθυνσης.

Πίνακας 4.3: Δείκτες Διάκρισης για τις ερωτήσεις 1 – 19

Αριθμός Ερώτησης	Δείκτης Διάκρισης	Αριθμός Ερώτησης	Δείκτης Διάκρισης
1	0,15	11	0,01
2	0,00	12	0,43
3	0,42	13	0,19
4	0,38	14	0,51
5	0,48	15	0,57
6	0,30	16	0,47
7	0,26	17	0,39
8	0,20	18	0,11
9	0,31	19	0,14
10	0,20		

Στη συνέχεια εξετάσθηκε η συμμετοχή στο νέο ερωτηματολόγιο των ερωτήσεων που είχαν Δ.Δ. μεγαλύτερο του 0,25 ενώ οι υπόλοιπες απορρίφθηκαν. Οι ερωτήσεις αυτές παρατίθενται στη συνέχεια. Σημειώνεται ότι παρόμοιες ερωτήσεις έχουν ομαδοποιηθεί, ενώ σε παρένθεση αναφέρεται ο αριθμός κάθε ερώτησης στο αρχικό ερωτηματολόγιο.

1. Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάστασή του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$; (3)
2. Να συγκρίνετε την ενέργεια των $2s$ και $2p$ τροχιακών (α) στο άτομο του υδρογόνου (β) σε όλα τα άλλα άτομα. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας. (4)

ή



Στο άτομο του υδρογόνου τα $2s$ και $2p$ τροχιακά έχουν την ίδια ενέργεια. Σε όλα τα άλλα άτομα, το $2p$ έχει υψηλότερη ενέργεια από το $2s$. Ξέρεις για ποιο λόγο; (17)

3. Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.) (5)
4. Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1.3β και 1.5β. Ενώ στο 1.3 υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο 1.5 δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; (6)

ή

Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα Σχήματα 1.3β και 1.5β. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; (16)

ή

Παρατηρήστε τις καμπύλες στα σχήματα 1.3α και 1.5α. Ενώ στο 1.3 η καμπύλη πλησιάζει ασυμπτωτικά τον άξονα των πιθανοτήτων, στο 1.5 η καμπύλη τέμνει τον άξονα. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; (12)

5. Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου. (7)
6. Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά την γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στον χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό; (9)
7. Η εξίσωση Schrödinger λύεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων; (14)
8. Στη σελίδα 7 του βιβλίου αναφέρεται ότι το ακριβές μέγεθος του τροχιακού είναι αδύνατο να αποδοθεί ... δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα. Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών; (15)

Από τις ερωτήσεις αυτές απορρίφθηκαν οι 16 και 12 (αρχική αρίθμηση) που ήταν παρόμοιες με την 6. Επίσης οι παρόμοιες ερωτήσεις 4 και 17 αντικαταστάθηκαν από την ερώτηση «Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;» η οποία συνδυάστηκε με μια από τις νέες ερωτήσεις. Οι υπόλοιπες χρησιμοποιήθηκαν στο νέο ερωτηματολόγιο.

Στη συνέχεια γράψαμε νέες ερωτήσεις οι οποίες ζητούσαν απλές γνώσεις μερικές από τις οποίες θα μπορούσαν να συνδυασθούν ή να αποτελέσουν τη βάση για την απάντηση των πιο απαιτητικών αρχικών ερωτήσεων. Αυτό έγινε διότι θέλαμε να διακρίνουμε τους μαθητές ανάλογα με την επίδοσή τους σε ερωτήσεις γνώσεως και κρίσεως. Οι ερωτήσεις αυτές παρατίθενται στη συνέχεια.

1. Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας.
2. Κάντε την κατανομή των ηλεκτρονίων κατά ατομικά τροχιακά στο άτομο του Cr ($Z=24$) και βρείτε πόσα μονήρη ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου
3. Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου.
4. Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.
5. Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς;

Προκειμένου να εξετάσουμε την ουσιαστική κατανόηση της αρχής της αβεβαιότητας του Heisenberg περιλάβαμε και την ερώτηση:

«Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα και άρα την αβεβαιότητα ή

β. Στο γεγονός ότι τα αόρατα σωματίδια τα οποία μελετούμε (μόρια, άτομα, ηλεκτρόνια κλπ) είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν ακριβή όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε αβεβαιότητα στις μετρήσεις που κάνουμε.»

Τέλος περιλάβαμε δύο ερωτήσεις από ένα ερωτηματολόγιο του Taber στην προσπάθειά μας να έχουμε ενδεχομένως συγκριτικά στοιχεία με άλλες έρευνες.

Τελικά είχαμε ένα ερωτηματολόγιο με δεκαέξι ερωτήσεις που το δώσαμε στα πλαίσια μιας δοκιμαστικής εφαρμογής σε οκτώ αποφοίτους λυκείου τον Ιούνιο του 2001 λίγο μετά το



τέλος των εξετάσεων. Το ερωτηματολόγιο αυτό παρατίθεται στο παράρτημα Β μαζί με τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής εφαρμογής

- Στο ερωτηματολόγιο αυτό έγιναν στη συνέχεια, μικρές διορθώσεις με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής εφαρμογής του για τις ερωτήσεις 1 – 14, ενώ οι ερωτήσεις 15 και 16 (από το ερωτηματολόγιο του Taber) για τις οποίες παρατηρήθηκε γενική αδυναμία κατανόησης και απάντησης, παραλείφθηκαν. Το πλήρες τελικό ερωτηματολόγιο παρατίθεται στο παράρτημα Γ.

Οι δεκατέσσερις ερωτήσεις του τελικού ερωτηματολογίου μπορούν να ταξινομηθούν στις πιο κάτω κατηγορίες.

1. Η ερώτηση 1 εξετάζει τον τρόπο προσέγγισης του μαθητή στις νέες έννοιες, αν δηλαδή, επιφανειακά έστω, έχει αποδεχθεί το νέο μοντέλο του ατόμου ή αν επιμένει στο ντετερμινιστικό πλανητικό μοντέλο του Bohr.
2. Οι ερωτήσεις 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13 και 14 απαιτούν βαθύτερη γνώση, νοηματική κατανόηση και/ή κριτική ικανότητα.
3. Οι ερωτήσεις 6, 9, 12 απαιτούν για να απαντηθούν απλή επιφανειακή γνώση της ύλης
4. Οι ερωτήσεις 2 και 4 απαιτούν για να απαντηθούν ικανότητες εφαρμογής απλών αλγορίθμων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ορισμένες από τις απλές ερωτήσεις μπορούν να συνδυασθούν ή να αποτελέσουν τη βάση για την απάντηση των πιο απαιτητικών ερωτήσεων. Τα ζεύγη αυτών των ερωτήσεων είναι η ερώτηση 2 με την ερώτηση 3, η ερώτηση 4 με την ερώτηση 5, η ερώτηση 6 με την ερώτηση 7 και η ερώτηση 12 με την ερώτηση 13.

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων τα ερωτηματολόγια βαθμολογήθηκαν ως εξής: Κάθε σωστή απάντηση έπαιρνε δύο μονάδες και κάθε εν μέρει σωστή απάντηση μία μονάδα, ενώ οι λανθασμένες απαντήσεις όπως και η μη απάντηση μηδέν μονάδες. Έτσι ο μέγιστος δυνατός βαθμός ήταν το εικοσιοκτώ για δεκατέσσερις σωστές απαντήσεις.

Τα αποτελέσματα μελετήθηκαν στατιστικά με τη βοήθεια του στατιστικού υπολογιστικού προγράμματος SPSS 11.0. for windows. Για τον έλεγχο της στατιστικής συμφωνίας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης, δηλαδή το τεστ ANOVA (Analysis of Variance) και όπου δεν υπήρχε στατιστική συμφωνία για περαιτέρω

έλεγχω το τεστ Tukey HSD (Tukey's honesty significant difference test). Με το τελευταίο αυτό τεστ γίνονται πολλαπλές συγκρίσεις των μεταβλητών ανά ζεύγη, έτσι ώστε να βρεθούν ομογενή, στατιστικά σύμφωνα, υποσύνολα.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΑ ΤΡΟΧΙΑΚΑ ΑΡΧΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1) Η ηλεκτρονιακή δομή του H: $1s^1$ είναι ακριβής δομή. Οι ηλεκτρονιακές δομές των άλλων ατόμων π.χ. He: $1s^2$, O: $1s^2 2s^2 2p^4$ είναι προσεγγιστικές δομές. Ξέρεις για ποιο λόγο συμβαίνει αυτό;

2) Δίνεται ότι το τροχιακό $2p_z$ αντιστοιχεί στην τριάδα (2,1,0) των τριών πρώτων κβαντικών αριθμών, ενώ τα τροχιακά $2p_x$ και $2p_y$ προκύπτουν από πρόσθεση και αφαίρεση των τροχιακών που αντιστοιχούν στις τριάδες (2,1,+1) και (2,1,-1). Να χρησιμοποιήσεις το παραπάνω δεδομένο για να σχολιάσεις το κατά πόσο ο τρίτος κβαντικός αριθμός δείχνει τον προσανατολισμό καθενός από τα τροχιακά $2p_z$, $2p_x$ και $2p_y$.

3) Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

4) Να συγκρίνετε την ενέργεια των $2s$ και $2p$ τροχιακών (α) στο άτομο του υδρογόνου (β) σε όλα τα άλλα άτομα. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

5) Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες)

6) Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1.3β και 1.5β. Ενώ στο 1.3 υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο 1.5 δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

7) Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

8α) Τελικά τι νομίζετε ποιο από τα δύο παρακάτω συμβαίνει, (α) το ηλεκτρόνιο δημιουργεί το τροχιακό; ή (β) προϋπάρχει το τροχιακό και σ' αυτό τοποθετούμε το

ηλεκτρόνιο; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Απόσπασμα από το βιβλίο του L. Catoll “ Η Αλίκη στη χώρα των θαυμάτων” “ – Και σε παρακαλώ να μην εμφανίζεσαι και εξαφανίζεσαι έτσι απότομα, είτε η Αλίκη στη γάτα. – Εντάξει, είτε η γάτα κι αυτή τη φορά εξαφανίστηκε σιγά-σιγά, αρχίζοντας απ’ την άκρη της ουράς και τελειώνοντας με το χαμόγελο, που έμεινε για λίγη ώρα, αφού όλα τα’ άλλα είχαν εξαφανισθεί. – Χμ! έχω δει συχνά γάτα χωρίς χαμόγελο, σκέφτηκε η Αλίκη, αλλά χαμόγελο χωρίς γάτα! Είναι το πιο περίεργο πράγμα που είδα ποτέ στη ζωή μου.”)

8β) Τελικά τι νομίζετε ποιο από τα δύο παρακάτω συμβαίνει, (α) το ηλεκτρόνιο δημιουργεί το τροχιακό; ή (β) προϋπάρχει το τροχιακό και σ’ αυτό τοποθετούμε το ηλεκτρόνιο;

9) Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά τη γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;

10) Ανάμεσα στην ηλεκτρονιακή δομή του H: $1s^1$ και του He: $1s^2$ υπάρχει μια βασική διαφορά. (Εκτός βέβαια ότι το υδρογόνο έχει ένα πρωτόνιο στον πυρήνα ενώ το ήλιο έχει δύο, και εκτός από το ότι το υδρογόνο έχει ένα ηλεκτρόνιο, ενώ το ήλιο έχει δύο. Εκτός ακόμα από το ότι στο υδρογόνο το ηλεκτρόνιο είναι μόνο του, ενώ στο ήλιο έχουμε ζευγάρι ηλεκτρονίων με αντίθετα σπιν.) Η διαφορά έχει σχέση με το τροχιακό $1s$ που χρησιμοποιείται και στις δύο περιπτώσεις. Ποια είναι αυτή η βασική διαφορά;

11) Ο τρίτος κβαντικός αριθμός ονομάζεται μαγνητικός. Ξέρεις για ποιο λόγο;

12) Παρατηρήστε τις καμπύλες στα σχήματα 1.3α και 1.5α. Ενώ στο 1.3 η καμπύλη πλησιάζει ασυμπτωτικά τον άξονα των πιθανοτήτων, στο 1.5 η καμπύλη τέμνει τον άξονα. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

13) Στη σελίδα 7 του βιβλίου αναφέρεται ότι τα τροχιακά παριστάνονται με σφαίρες, μέσα στις οποίες η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου είναι 95%. Πώς το υπόλοιπο 5% απεικονίζεται στο σχήμα του τροχιακού;

14) Η εξίσωση Schrödinger λύνεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δεν λύνεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων;



15) Στη σελίδα 7 του βιβλίου αναφέρεται ότι το ακριβές μέγεθος του τροχιακού είναι αδύνατο να αποδοθεί...δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα. Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

16) Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα Σχήματα 1.3β και 1.5β. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

17) Στο άτομο του υδρογόνου τα $2s$ και $2p$ τροχιακά έχουν την ίδια ενέργεια. Σε όλα τα άλλα άτομα, το $2p$ έχει υψηλότερη ενέργεια από το $2s$. Ξέρεις για ποιο λόγο;

18) Χρησιμοποιώντας το Σχήμα 1.3α, να βρεις ποια είναι η απόσταση από τον πυρήνα όπου ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε τροχιακό $1s$ έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί. Νομίζετε ότι αυτό είναι σωστό ή λάθος; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

19) Ποια είναι η απόσταση από τον πυρήνα όπου ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε τροχιακό $1s$ έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΑ ΤΡΟΧΙΑΚΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1. Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δύο μαθητές σχεδίασαν ηλεκτρονιακό νέφος και άλλοι δύο ηλεκτρονιακό νέφος μαζί με εντοπισμένο ηλεκτρόνιο.

Δύο σχεδίασαν το πλανητικό μοντέλο.

Ένας σχεδίασε μία σφαίρα επηρεασμένος, σύμφωνα με δήλωση του, από τα μοντέλα εκείνα όπου τα άτομα συμβολίζονται με σφαίρες.

Ένας μαθητής δεν απάντησε στην ερώτηση αυτή.

2. Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλοι οι μαθητές απάντησαν σωστά.

3. Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δύο μαθητές έδωσαν σωστές πλήρεις απαντήσεις.

Τρεις μαθητές έδωσαν σωστές αλλά ελλιπείς απαντήσεις.

Ένας μαθητής έδωσε λανθασμένη απάντηση, αναφέρθηκε στην ηλεκτρονιακή δομή του υδρογόνου.

Δύο μαθητές δεν απάντησαν.

4. Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλοι οι μαθητές απάντησαν σωστά.

5. Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $\text{H}\hat{\text{C}}\text{H}$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τέσσερις μαθητές δεν απάντησαν.

Τρεις μαθητές απάντησαν θετικά αναφερόμενοι με περισσότερες ή λιγότερες λεπτομέρειες στον υβριδισμό.

Ένας μαθητής απάντησε θετικά αναφερόμενος στο γεγονός ότι ο άνθρακας χρειάζεται τέσσερα ηλεκτρόνια για να αποκτήσει δομή ευγενούς αερίου.

Και οι τέσσερις μαθητές που απάντησαν αγνόησαν τη θεμελιώδη δομή.

6. Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλοι οι μαθητές απάντησαν σωστά.

7. Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται: α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα και άρα την αβεβαιότητα ή β. Στο γεγονός ότι τα αόρατα σωματίδια τα οποία μελετούμε (μόρια, άτομα, ηλεκτρόνια κλπ) είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν ακριβή όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε αβεβαιότητα στις μετρήσεις που κάνουμε.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τέσσερις μαθητές επέλεξαν το α και τέσσερις το β.

8. Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάστασή του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$;



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τρεις μαθητές απάντησαν όχι.

- Τρεις μαθητές απάντησαν ναι, όταν διεγερθεί.

Ένας μαθητής έδωσε σωστή απάντηση.

Ένας μαθητής απάντησε ναι διότι όλα τα τροχιακά του υδρογόνου έχουν ίδια ενέργεια.

9. Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλοι οι μαθητές απάντησαν σωστά.

10. Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τέσσερις μαθητές ζωγράφισαν ηλεκτρονιακό νέφος.

Δύο μαθητές δεν απάντησαν.

Ένας μαθητής έδωσε σωστή απάντηση.

Ένας μαθητής ως απάντηση έγραψε την υπόδειξη 2.

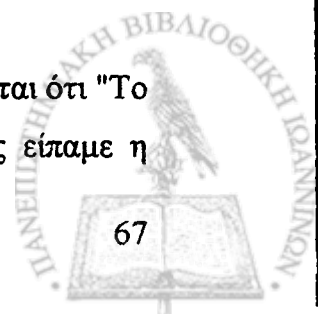
11. Η εξίσωση Schrödinger λύεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δύο μαθητές έδωσαν σωστή απάντηση.

Έξι μαθητές δεν απάντησαν.

12. Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η



πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα" Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

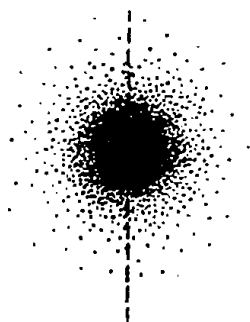
Τέσσερις μαθητές έδωσαν σωστή απάντηση.

Ένας μαθητής αναφέρθηκε στις καμπύλες $P = f(r)$.

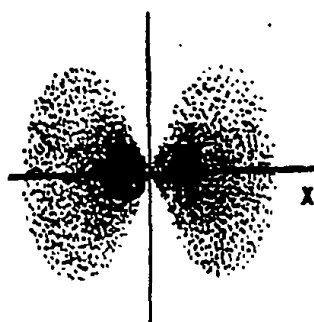
Δύο μαθητές απάντησαν ότι τα σχήματα δείχνουν το 90 ή 95% της πιθανότητας.

Ένας μαθητής έδωσε άσχετη απάντηση.

13. Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

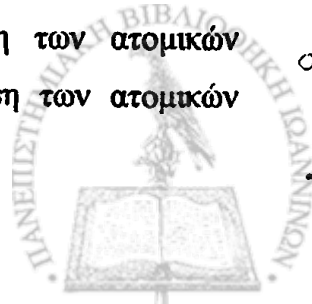
Τέσσερις μαθητές έδωσαν σωστή απάντηση.

Ένας μαθητής θεώρησε το σχήμα 2 ως οριακή καμπύλη.

Δύο μαθητές θεώρησαν σωστά και τα δύο σχήματα.

Ένας μαθητής δεν απάντησε.

14. Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά την γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών



τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τρεις μαθητές δεν απάντησαν.

Δύο μαθητές απάντησαν όχι.

Τρεις μαθητές έδωσαν σωστή απάντηση.

15. Να γράψετε μέσα στα κουτάκια τον αριθμό των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε κάθε είδος από τα ακόλουθα τροχιακά στο μόριο του υδρογόνου (H_2). (Για το υδρογόνο $Z = 1$)

1s ατομικό τροχιακό Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐	2s ατομικό τροχιακό Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐	2p ατομικά τροχιακά Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐
σ – μοριακό τροχιακό ☐	π – μοριακό τροχιακό ☐	

16. Να γράψετε μέσα στα κουτάκια τον αριθμό των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε κάθε είδος από τα ακόλουθα τροχιακά στο μόριο του οξυγόνου (O_2). (Για το οξυγόνο $Z = 8$)

1s ατομικό τροχιακό Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐	2s ατομικό τροχιακό Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐	2p ατομικά τροχιακά Ατόμου A ☐ Ατόμου B ☐
σ – μοριακό τροχιακό ☐	π – μοριακό τροχιακό ☐	

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ 15 ΚΑΙ 16

Όλοι οι μαθητές έδωσαν άσχετες λανθασμένες απαντήσεις, διαπιστώθηκε αδυναμία κατανόησης των ερωτήσεων αυτών με τις οποίες οι μαθητές δεν ήταν εξοικειωμένοι.

στη συνέχεια της ανάλυσης των αποτελεσμάτων της έρευνας, οι οποίοι θα πρέπει να είναι σε θέση να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα της έρευνας.

ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΤΕΣ

Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα:

1. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

2. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

3. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

4. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

5. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

6. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

7. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

☐ Α. Αποφασιστική	☐ Β. Αποφασιστική	☐ Γ. Αποφασιστική	☐ Δ. Αποφασιστική	☐ Ε. Αποφασιστική
☐ Α. Αποφασιστική	☐ Β. Αποφασιστική	☐ Γ. Αποφασιστική	☐ Δ. Αποφασιστική	☐ Ε. Αποφασιστική

8. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

9. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

☐ Α. Αποφασιστική	☐ Β. Αποφασιστική	☐ Γ. Αποφασιστική	☐ Δ. Αποφασιστική	☐ Ε. Αποφασιστική
☐ Α. Αποφασιστική	☐ Β. Αποφασιστική	☐ Γ. Αποφασιστική	☐ Δ. Αποφασιστική	☐ Ε. Αποφασιστική

10. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

11. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

12. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

13. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

14. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

15. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.

16. Η έρευνα μπορεί να γίνει σε δύο επίπεδα: *επίπεδο της έρευνας* και *επίπεδο της ανάλυσης*.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ
ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Τμήμα: Μόρια εισαγωγής:
Ονοματεπώνυμο: Βαθμός Χημείας:
Ημερομηνία: Βιβλίο:

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΑ ΤΡΟΧΙΑΚΑ

1. Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα.

2. Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου.

3. Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;

4. Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου;

5. Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $\text{H}\hat{\text{C}}\text{H}$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

6. Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.

7. Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε αυτό που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε τη σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β.

8. Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάστασή του έξω από τον χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας

9. Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς;

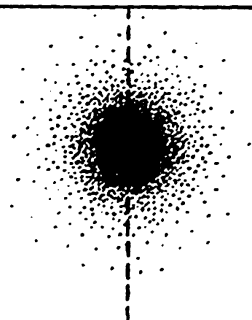
10. Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)



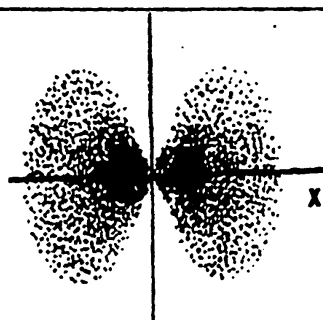
11. Η εξίσωση Schrödinger λύνεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύνεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων;

12. Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα". Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

13. Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

14. Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά την γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ-ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ

Α. Εισαγωγή

Τα αποτελέσματα της ποσοτικής έρευνας παρουσιάζονται αρχικά, σε αυτό το κεφάλαιο, συγκεντρωτικά. Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση κάθε ερώτησης με λεπτομέρειες, παραδείγματα και σχόλια.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, τα τέσσερα τμήματα που έλαβαν μέρος στην έρευνα συμβολίζονται ως TX, TB, TY και TX2 σύμφωνα με τη συντομογραφία που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4: πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων Χημείας (TX), Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (TB), Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών (TY) και δευτεροετείς φοιτητές του τμήματος Χημείας (TX2).

Υπενθυμίζεται ότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 4 για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, τα ερωτηματολόγια βαθμολογήθηκαν ως εξής: Κάθε σωστή απάντηση έπαιρνε δύο μονάδες και κάθε εν μέρει σωστή απάντηση μία μονάδα, έτσι ο μέγιστος δυνατός βαθμός ήταν το εικοσιοκτώ για δεκατέσσερις σωστές απαντήσεις.

Τα αποτελέσματα μελετήθηκαν στατιστικά με τη βοήθεια του στατιστικού υπολογιστικού προγράμματος SPSS 11.0 for Windows. Για τον έλεγχο της στατιστικής συμφωνίας των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκε το τεστ ANOVA και όπου δεν υπήρχε στατιστική συμφωνία το τεστ Tukey HSD για περαιτέρω έλεγχο. Σημειώνεται ότι σε ορισμένους από τους πίνακες των αποτελεσμάτων για τα τεστ αυτά χρησιμοποιούνται, για τεχνικούς λόγους, αριθμοί για τον συμβολισμό των τμημάτων, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1.



Πίνακας 5.1: Αριθμητικός συμβολισμός τμημάτων.

Τμήμα	Αριθμός
Χημείας (Πρωτοετείς)	1
Βιολογικών εφαρμογών	2
Επιστήμης Υλικών	3
Χημείας (Δευτεροετείς)	4

Β. Συγκεντρωτική παρουσίαση-επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Παρατίθενται στη συνέχεια τα αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής επεξεργασίας των επιδόσεων των φοιτητών στις ερωτήσεις του τεστ. Στον πίνακα 5.2 φαίνονται τα αποτελέσματα για κάθε ερώτηση για τους πρωτοετείς φοιτητές, ενώ στον πίνακα 5.3 για τους δευτεροετείς φοιτητές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χωριστά για τις δύο αυτές ομάδες των φοιτητών λόγω της διαφορετικής χημικής παιδείας που είχε η κάθε ομάδα. Σημειώνεται ότι ως περιγραφικά στατιστικά εννοούνται και περιλαμβάνονται στους πιο κάτω πίνακες η μέγιστη και ελάχιστη τιμή, ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση και η διακύμανση.

Πίνακας 5.2: Περιγραφικά στατιστικά για τούς πρωτοετείς φοιτητές.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Πρωτοετείς-Ερώτηση 1	125	0	2	,34	,751	,564
Πρωτοετείς-Ερώτηση 2	125	0	2	1,49	,876	,768
Πρωτοετείς-Ερώτηση 3	125	0	2	,24	,614	,377
Πρωτοετείς-Ερώτηση 4	125	0	2	1,40	,762	,581
Πρωτοετείς-Ερώτηση 5	125	0	2	,45	,837	,701
Πρωτοετείς-Ερώτηση 6	125	0	2	1,23	,977	,954
Πρωτοετείς-Ερώτηση 7	125	0	2	1,12	,997	,994
Πρωτοετείς-Ερώτηση 8	125	0	2	,27	,688	,474
Πρωτοετείς-Ερώτηση 9	125	0	2	1,18	,987	,974
Πρωτοετείς-Ερώτηση 10	125	0	2	,26	,671	,450
Πρωτοετείς-Ερώτηση 11	125	0	2	,70	,959	,920
Πρωτοετείς-Ερώτηση 12	125	0	2	1,30	,959	,920
Πρωτοετείς-Ερώτηση 13	125	0	2	,75	,973	,946
Πρωτοετείς-Ερώτηση 14	125	0	2	,49	,819	,671
Valid N (listwise)	125					



Πίνακας 5.3: Περιγραφικά στατιστικά για τους δευτεροετείς φοιτητές.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Δευτεροετείς-Ερώτηση 1	43	0	2	1,02	1,012	1,023
Δευτεροετείς-Ερώτηση 2	43	0	2	1,81	,588	,346
Δευτεροετείς-Ερώτηση 3	43	0	2	,05	,305	,093
Δευτεροετείς-Ερώτηση 4	43	0	2	1,74	,492	,243
Δευτεροετείς-Ερώτηση 5	43	0	2	1,67	,747	,558
Δευτεροετείς-Ερώτηση 6	43	0	2	1,26	,978	,957
Δευτεροετείς-Ερώτηση 7	43	0	2	1,40	,929	,864
Δευτεροετείς-Ερώτηση 8	43	0	2	,14	,516	,266
Δευτεροετείς-Ερώτηση 9	43	0	2	1,12	1,005	1,010
Δευτεροετείς-Ερώτηση 10	43	0	2	,05	,305	,093
Δευτεροετείς-Ερώτηση 11	43	0	2	1,16	,998	,997
Δευτεροετείς-Ερώτηση 12	43	0	2	1,12	1,005	1,010
Δευτεροετείς-Ερώτηση 13	43	0	2	,56	,908	,824
Δευτεροετείς-Ερώτηση 14	43	0	2	,51	,768	,589
Valid N (listwise)	43					

Στον πίνακα 5.4 εξετάζονται για τους πρωτοετείς φοιτητές οι επιμέρους συνολικές βαθμολογίες στις ερωτήσεις γνώσεως και στις ερωτήσεις κρίσεως.

Πίνακας 5.4: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τη συνολική βαθμολογία στις ερωτήσεις γνώσεως και κρίσεως για τους πρωτοετείς φοιτητές.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Ερωτήσεις γνώσεως, Αθροισμα	125	0	10	6,60	2,250	5,065
Ερωτήσεις κρίσεως, Αθροισμα.	125	0	14	4,62	3,215	10,335
Valid N (listwise)	125					

Οι διαφορές που παρατηρούνται στον πίνακα αυτόν είναι στατιστικά σημαντικές, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA που παρατίθενται στον πίνακα 5.5

Πίνακας 5.5: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA ανάμεσα στις ερωτήσεις γνώσεως και κρίσεως για τους πρωτοετείς φοιτητές.

Ερωτήσεις γνώσεως-κρίσεως Άθροισμα Πρωτοετών φοιτητών

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	246,016	1	246,016	31,951	,000
Within Groups	1909,568	248	7,700		
Total	2155,584	249			

Οι στατιστικά σημαντικές αυτές διαφορές ανάμεσα στην επίδοση στις ερωτήσεις κρίσεως και στις ερωτήσεις γνώσεως αποτελούν την πρώτη ένδειξη για τον απομνημονευτικό και αλγοριθμικό προσανατολισμό της διδασκαλίας των εννοιών αυτών στο λύκειο. Αντίστοιχος διαχωρισμός δεν έγινε για τους δευτεροετείς φοιτητές, για τους οποίους, λόγω της διαφορετικής χημικής παιδείας, δεν ισχύει η κατάταξη των ερωτήσεων που έγινε με βάση την ύλη της Γ' λυκείου.

Για τις ερωτήσεις της έρευνας υπολογίστηκαν δείκτες διάκρισης που παρατίθενται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Δείκτες διάκρισης για τις ερωτήσεις της έρευνας

Αριθμός Ερώτησης	Δείκτης Διάκρισης	Αριθμός Ερώτησης	Δείκτης Διάκρισης
1	0,33	8	0,29
2	0,19	9	0,29
3	0,30	10	0,21
4	0,20	11	0,47
5	0,40	12	0,55
6	0,38	13	0,55
7	0,19	14	0,25

Υπάρχουν τέσσερις ερωτήσεις με Δ.Δ. μικρότερο από το 0,25. Το όριο αυτό είχαμε θέσει για την επιλογή των ερωτήσεων (κεφάλαιο 4) που θα περιλαμβάναμε σε αυτή την έρευνα από τις ερωτήσεις της αρχικής έρευνας για το ΜΔΕ.

Οι τρεις από αυτές είναι καινούργιες: πρόκειται για τις αλγοριθμικές ερωτήσεις 2 και 4 και την ερώτηση 7 που ήταν ερώτηση διπλής επιλογής, μια ερώτηση δηλαδή όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τυχαίας απάντησης. Οι χαμηλοί δείκτες διάκρισης και στις δύο αλγοριθμικές ερωτήσεις που υπήρχαν στο ερωτηματολόγιο αποτελούν ισχυρή ένδειξη του προσανατολισμού της διδασκαλίας των εννοιών αυτών στο λύκειο, όπου συχνά η διδασκαλία εξαντλείται στην εκμάθηση και εφαρμογή αλγορίθμων.

Η τέταρτη ερώτηση, η ερώτηση 10, υπήρχε και στο πρώτο ερωτηματολόγιο όπου και είχε Δ.Δ. 0,48. Ο μικρός Δ.Δ. που έχει αυτή τη φορά οφείλεται στην κακή επίδοση που γενικά είχαν οι φοιτητές στην ερώτηση αυτή.



Γ. Κατανομή της συνολικής βαθμολογίας των τμημάτων.

Είναι σημαντικό για την επιλογή των καταλλήλων δοκιμασιών για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, να διαπιστωθεί αν αυτά ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στο σημείο αυτό γίνεται έλεγχος για τη συνολική βαθμολογία τόσο για κάθε τμήμα χωριστά όσο και για το σύνολο των φοιτητών.

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιείται η δοκιμασία Kolmogorov-Smirnov. Με τη δοκιμασία αυτή γίνεται έλεγχος και σύγκριση της κατανομής των τιμών του δείγματος με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από την αντίστοιχη κανονική κατανομή. Από τη σύγκριση αυτή προκύπτει ένας αριθμός Z ως το γινόμενο της τετραγωνικής ρίζας του μεγέθους του δείγματος επί τη μέγιστη διαφορά ανάμεσα στη θεωρητική και την πραγματική τιμή που έχει υπολογισθεί. Αν το Z είναι στατιστικά σημαντικό δηλαδή αν $\text{sig} < 0,05$, τότε υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στην κανονική κατανομή και την κατανομή των τιμών του δείγματος και προφανώς το δείγμα δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Αντίθετα αν το Z δεν είναι στατιστικά σημαντικό, τότε το δείγμα ακολουθεί την κανονική κατανομή (Siegel, Castellan, 1988). Στον πίνακα 5.7 που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα της δοκιμασίας Kolmogorov-Smirnov,

Πίνακας 5.7: Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας Kolmogorov-Smirnov στις συνολικές βαθμολογίες

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

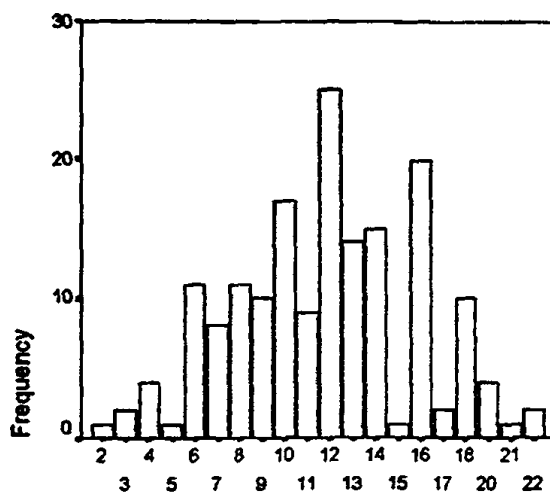
		Συνολική βαθμολογία, όλοι οι φοιτητές	Συνολική βαθμολογία, όλοι οι πρωτοετείς φοιτητές	Συνολική βαθμολογία ΤΧ	Συνολική βαθμολογία ΤΒ	Συνολική βαθμολογία ΤΥ	Συνολική βαθμολογία ΤΧ2
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	168	125	43	46	36	43
	Std. Deviation	11,81	11,19	10,58	13,37	9,14	13,60
Most Extreme Differences	Absolute	4,131	4,161	3,587	4,149	3,571	3,506
	Positive	,078	,095	,160	,150	,099	,161
	Negative	,071	,095	,160	,089	,099	,153
Kolmogorov-Smirnov Z		-,078	-,084	-,110	-,150	-,079	-,161
Asymp. Sig. (2-tailed)		1,010	1,062	1,051	1,017	,595	1,054
		,260	,209	,220	,252	,871	,216

a. Test distribution is Normal.

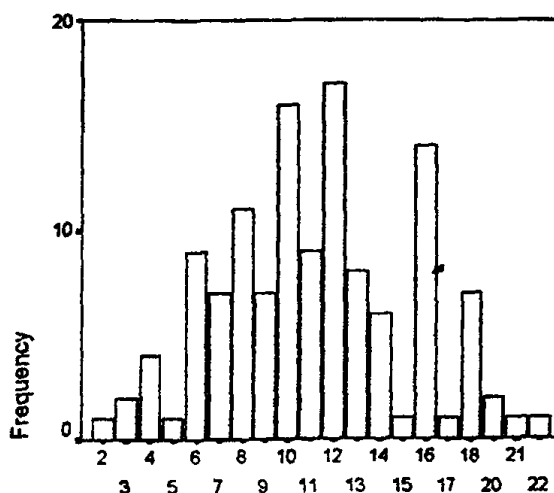
b. Calculated from data.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της δοκιμασίας Kolmogorov-Smirnov, όλες οι συνολικές βαθμολογίες που ελέγχθηκαν ακολουθούν την κανονική κατανομή. Το γεγονός αυτό φαίνεται και στα ιστογράμματα που ακολουθούν.

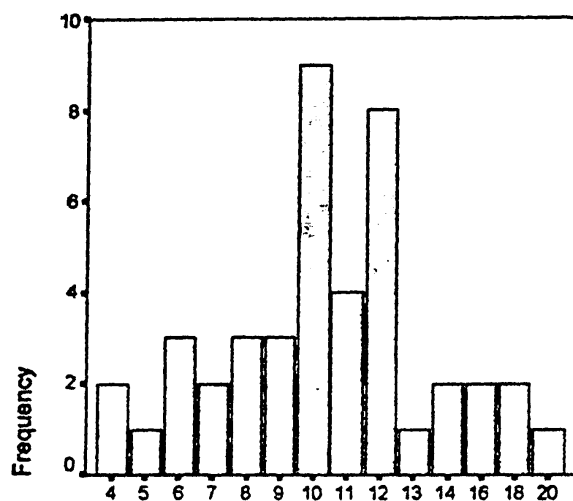
Ιστόγραμμα 5.1: Συνολική βαθμολογία, όλοι οι φοιτητές.



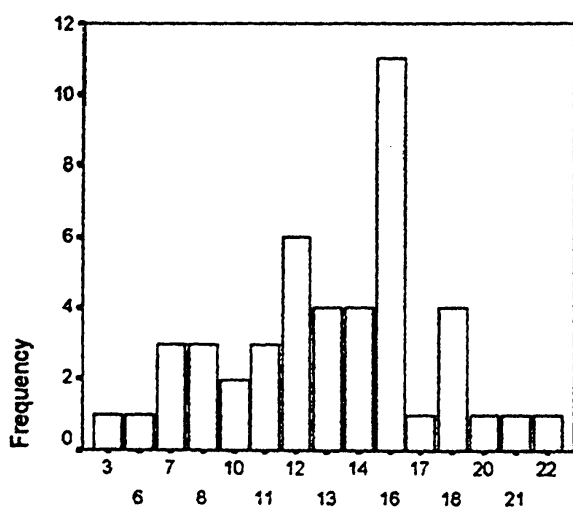
Ιστόγραμμα 5.2: Συνολική βαθμολογία, όλοι οι πρωτοετείς φοιτητές.



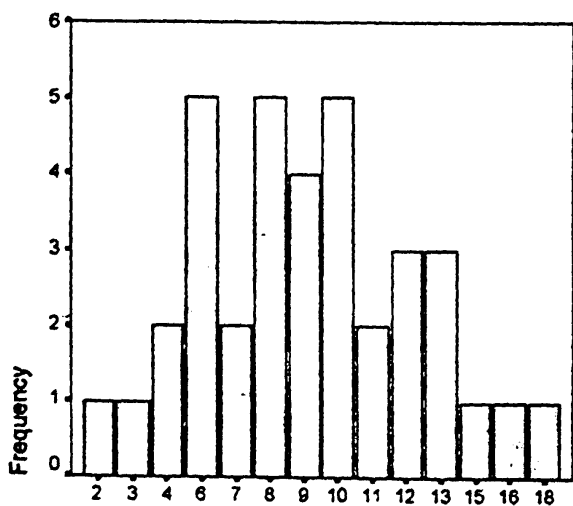
Ιστογράμμα 5.3: Συνολική βαθμολογία, ΤΧ.



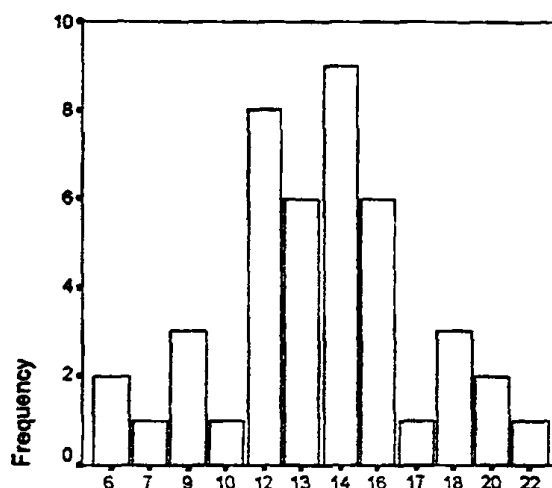
Ιστογράμμα 5.4: Συνολική βαθμολογία, ΤΒ



Ιστογράμμα 5.5: Συνολική βαθμολογία, ΤΥ



Ιστόγραμμα 5.6: Συνολική βαθμολογία, TX2.

**Δ. Σύγκριση συνολικών αποτελεσμάτων των τμημάτων.**

Η συνολική βαθμολογία των φοιτητών των τεσσάρων τμημάτων ελέγχθηκε για να διαπιστωθεί η τυχόν στατιστική συμφωνία ανάμεσα στα αποτελέσματα των τεσσάρων τμημάτων. Στον πίνακα 5.8 παρατίθενται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τη συνολική βαθμολογία κάθε τμήματος χωριστά. Ενώ στον πίνακα 5.9 τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA.

Πίνακας 5.8: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τη συνολική βαθμολογία κάθε τμήματος.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Συνολική βαθμολογία TX	43	4	20	10,58	3,587	12,868
Συνολική βαθμολογία TB	46	3	22	13,37	4,149	17,216
Συνολική βαθμολογία TY	36	2	18	9,14	3,571	12,752
Συνολική βαθμολογία TX2	43	6	22	13,60	3,506	12,292
Valid N (listwise)	36					

Πίνακας 5.9: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τη συνολική βαθμολογία των τμημάτων

Συνολική βαθμολογία					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	572,138	3	190,713	13,731	,000
Within Groups	2277,767	164	13,889		
Total	2849,905	167			

Οι^ο διαφορές που φαίνονται στον πίνακα 5.8 είναι στατιστικά σημαντικές όπως προκύπτει από το σχετικό Τεστ ANOVA που παρατίθεται στον πίνακα 5.9. Με το τεστ Tukey διαπιστώθηκε ότι τα τμήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο ομογενείς ομάδες όπως φαίνεται και στο πιο κάτω πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για τη συνολική βαθμολογία όλων των τμημάτων

Συνολική βαθμολογία			
Tukey HSD ^{a,b}			
Όλα τα τμήματα	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
3	36	9,14	
1	43	10,58	
2	46		13,37
4	43		13,60
Sig.		,293	,992

Η διαφορετική και στατιστικά καλύτερη επίδοση των δευτεροετών φοιτητών του τμήματος χημείας ήταν αναμενόμενη και οφείλεται στη διαφορετική και σαφώς μεγαλύτερη, χημική τους παιδεία. Η τελική, πάντως, μέση επίδοση του 13,6 σε σύνολο 28 μονάδων δεν είναι ικανοποιητική και οφείλεται στο ότι σε ορισμένες από τις ερωτήσεις η επίδοση τους ήταν πάρα πολύ μικρή.

Εξετάζοντας την επίδοση των τριών τμημάτων των πρωτοετών φοιτητών παρατηρούμε ότι τα τμήματα Χημείας (ΤΧ) και Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών (ΤΥ) έχουν στατιστικά όμοια μέση επίδοση, η οποία είναι σαφώς μικρότερη από την επίδοση των φοιτητών τμήματος Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (ΤΒ).

Η διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στα τρία αυτά τμήματα μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στο ΤΒ φοιτούν φοιτητές που κατά τεκμήριο ήταν καλύτεροι μαθητές από τους φοιτητές των άλλων δύο τμημάτων. Αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τα μόρια εισαγωγής όπου αξίζει να παρατηρηθεί ότι για τους φοιτητές που έλαβαν μέρος στην έρευνα τα λιγότερα μόρια που έχει φοιτητής ΤΒ είναι περισσότερα από τα περισσότερα που έχουν οι φοιτητές των άλλων δύο τμημάτων, όσο και από τη μέση επίδοση τους στο μάθημα της χημείας στις

εισαγωγικές εξετάσεις. Τα στοιχεία αυτά παρατίθενται στη συνέχεια στους πίνακες 5.11 και 5.12.

Πίνακας 5.11: Τα μόρια εισαγωγής των πρωτοετών φοιτητών

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Μόρια εισαγωγής ΤΧ	43	15716	17141	15951,77	269,603
Μόρια εισαγωγής ΤΒ	43	17167	18730	17475,70	382,346
Μόρια εισαγωγής ΤΥ	33	14949	16862	15342,58	455,773
Valid N (listwise)	33				

Πίνακας 5.12: Ο βαθμός στο μάθημα της χημείας στις εισαγωγικές εξετάσεις για τους πρωτοετείς φοιτητές.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Βαθμός Χημείας ΤΧ	40	11,9	19,8	17,148	2,0495
Βαθμός Χημείας ΤΒ	43	13,6	20,0	17,909	1,6751
Βαθμός Χημείας ΤΥ	32	10,2	19,1	14,981	2,8124
Valid N (listwise)	32				



Ε. Ανάλυση παραγόντων

Τα αποτελέσματα των πρωτοετών φοιτητών μελετήθηκαν με ανάλυση παραγόντων (Factor analysis) για να εξετασθούν και να ανιχνευθούν σχέσεις ανάμεσα στις ερωτήσεις.

Οι διάφορες μέθοδοι της ανάλυσης παραγόντων έχουν ως στόχο τη μείωση του αριθμού των μεταβλητών και την αναζήτηση βαθύτερων ή άδηλων σχέσεων ανάμεσα στις μεταβλητές, στη συγκεκριμένη περίπτωση σχέσεων ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι φοιτητές απαντούν στις ερωτήσεις. Έτσι καταλήγει κανείς σε μια ταξινόμηση των μεταβλητών, «κοιτάζοντάς» τους συσχετισμούς μεταξύ των μεταβλητών και των παραγόντων (factors) ή κυρίων συνιστωσών (principal components) που είναι οι νέες μεταβλητές όπως αυτές προκύπτουν από την ανάλυση (Anderson, 1984). Οι συσχετισμοί αυτοί ονομάζονται επίσης και «φορτίσεις» παραγόντων (factor loadings). Οι μεταβλητές που συσχετίζονται πολύ με διαφορετικούς «παράγοντες» ή «κύριες συνιστώσες» ταξινομούνται σε διαφορετικές τάξεις ή κατηγορίες.

Η κάθε αρχική μεταβλητή ερμηνεύει μόνο τη δική της διακύμανση και έχει ιδιοτιμή (eigenvalue) ίση με ένα. Οι πρώτοι νέοι παράγοντες ερμηνεύουν μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης, με αποτέλεσμα οι πρώτοι από αυτούς να έχουν ιδιοτιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα. Όσο όμως υπολογίζονται καινούργιοι παράγοντες, το ποσοστό της διακύμανσης που ερμηνεύουν μειώνεται, έτσι ώστε το τελικό άθροισμα των ιδιοτιμών να είναι ίσο με το άθροισμα των αρχικών μεταβλητών. Το αποτέλεσμα αυτής της συνεχούς μείωσης είναι οι τελευταίοι παράγοντες να έχουν ιδιοτιμές μικρότερες της μονάδας. Αυτούς τους παράγοντες αγνοούμε σύμφωνα με το κριτήριο του Kaiser και διατηρούμε μόνο τους παράγοντες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας (Kaiser, 1958). Πρέπει να σημειωθεί ότι με αυτόν τον τρόπο ερμηνεύεται ένα μέρος μόνο της διακύμανσης, ότι δηλαδή η ένταξη των αρχικών μεταβλητών σε λιγότερες ομάδες, τις νέες μεταβλητές, έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος των πληροφοριών να χάνεται, μια και όσο λιγότερους παράγοντες επιλέξουμε τόσο λιγότερο είναι και το ποσοστό της διακύμανσης που αυτοί εξηγούν.

Όλες οι σειρές δεδομένων δεν μπορούν να υποβληθούν επιτυχώς σε ανάλυση παραγόντων. Υπάρχουν δύο δοκιμές τα αποτελέσματα των οποίων δείχνουν αν για τα συγκεκριμένα δεδομένα θα ήταν χρήσιμη η ανάλυση παραγόντων.

Σύμφωνα με την πρώτη δοκιμή, την Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO test), υψηλές τιμές, κοντά στο 1,0 δείχνουν ότι η ανάλυση παραγόντων θα

ήταν χρήσιμη, ενώ τιμές μικρότερες από το 0,5 δείχνουν ότι η ανάλυση παραγόντων δε θα ήταν χρήσιμη για τα συγκεκριμένα δεδομένα. Η δοκιμή αυτή δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης που θα μπορούσε να ερμηνευτεί από βαθύτερες ή άδηλες σχέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές.

Με τη δεύτερη δοκιμή, την Bartlett's Test of Sphericity, γίνεται έλεγχος στην υπόθεση ότι οι αρχικές μεταβλητές δε συνδέονται μεταξύ τους και ως εκ τούτου είναι ακατάλληλες για ανάλυση παραγόντων. Μικρές τιμές του επιπέδου σημαντικότητας, μικρότερες από 0.05, δείχνουν ότι δεν ισχύει η αρχική υπόθεση και ότι τα δεδομένα είναι κατάλληλα για ανάλυση παραγόντων.

Στον πίνακα 5.13 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα των δύο αυτών δοκιμών για τα δεδομένα της έρευνας αυτής.

Πίνακας 5.13: Τα αποτελέσματα των δοκιμών KMO και Bartlett's

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,583
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	128,790
	df	91
	Sig.	,006

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των δύο αυτών δοκιμών, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να υποστούν ανάλυση παραγόντων αν και η διακύμανση που αναμένεται να ερμηνευθεί με τους νέους παράγοντες δε θα είναι πολύ μεγάλη.

Δύο ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν κατά τη διενέργεια της ανάλυσης παραγόντων είναι «Πόσοι παράγοντες απαιτούνται για να αντιπροσωπευθούν όλες οι μεταβλητές;» και «Τι παριστάνουν, τι σημαίνουν οι παράγοντες αυτοί;»

Παρά το γεγονός ότι σύμφωνα με το κριτήριο του Kaiser θα έπρεπε να επιλέξουμε έξι παράγοντες, αποφασίσαμε να επιλέξουμε τελικά μόνο τέσσερις και να μελετήσουμε πώς κατανέμονται σε αυτούς οι αρχικές 14 ερωτήσεις της έρευνας. Επιλέγοντας να έχουμε μόνο τέσσερις παράγοντες, άρα μόνο τέσσερις ομάδες ερωτήσεων, μας δίνεται η ευκαιρία να συγκρίνουμε την ομαδοποίηση αυτή, που στηρίζεται στην ομοιότητα των αποτελεσμάτων, με την αρχική ομαδοποίηση που κάναμε σύμφωνα με το περιεχόμενο των ερωτήσεων (κεφάλαιο 4). Για την ανάλυση χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (principal



component analysis, PCA) και τα αποτελέσματα φαίνονται στους πιο κάτω πίνακες 5.14 και 5.15.

Πίνακας 5.14: Εξαγωγή τεσσάρων παραγόντων.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2,104	15,031	15,031	2,104	15,031	15,031	1,649	11,782	11,782
2	1,476	10,544	25,575	1,476	10,544	25,575	1,636	11,687	23,469
3	1,313	9,379	34,954	1,313	9,379	34,954	1,528	10,917	34,386
4	1,253	8,946	43,900	1,253	8,946	43,900	1,332	9,514	43,900
5	1,108	7,915	51,815						
6	1,017	7,261	59,077						
7	,978	6,989	66,066						
8	,867	6,196	72,262						
9	,771	5,510	77,771						
10	,720	5,144	82,915						
11	,687	4,909	87,824						
12	,642	4,586	92,410						
13	,555	3,963	96,372						
14	,508	3,628	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Πίνακας 5.15: Συσχέτιση των τεσσάρων παραγόντων με τις 14 ερωτήσεις της έρευνας

	Component			
	1	2	3	4
Πρωτοετείς-Ερώτηση 1	,727	-,159	-9,54E-03	3,858E-02
Πρωτοετείς-Ερώτηση 2	-5,62E-02	9,486E-02	-,122	,767
Πρωτοετείς-Ερώτηση 3	,445	,321	,369	-2,32E-02
Πρωτοετείς-Ερώτηση 4	-2,39E-02	-7,45E-02	,399	,318
Πρωτοετείς-Ερώτηση 5	,459	,284	,109	,237
Πρωτοετείς-Ερώτηση 6	4,191E-02	8,124E-02	,594	-,245
Πρωτοετείς-Ερώτηση 7	-,166	6,378E-02	,114	-,472
Πρωτοετείς-Ερώτηση 8	,163	,721	-3,62E-02	-4,00E-02
Πρωτοετείς-Ερώτηση 9	-4,17E-02	-,135	,693	-,193
Πρωτοετείς-Ερώτηση 10	-5,00E-02	,752	-5,62E-02	-,104
Πρωτοετείς-Ερώτηση 11	-6,45E-02	,472	,318	,196
Πρωτοετείς-Ερώτηση 12	,156	,233	,405	7,434E-02
Πρωτοετείς-Ερώτηση 13	,493	-4,07E-03	,185	,322
Πρωτοετείς-Ερώτηση 14	,614	,148	-,235	-,323

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 8 iterations.

Θεωρώντας ως όριο συσχέτισης το 0,400 έχουν σημειωθεί στον πίνακα 5.13 όλες οι αξιοσημείωτες συσχετίσεις που είναι οι εξής:

- Ο παράγων 1 σχετίζεται με τις ερωτήσεις 1, 3, 5, 13 και 14
- Ο παράγων 2 σχετίζεται με τις ερωτήσεις 8, 10 και 11

- Ο παράγων 3 που σχετίζεται με τις ερωτήσεις 6, 9 και 12
- Ο παράγων 4 που σχετίζεται με τις ερωτήσεις 2 και 7

Σημειώνεται ότι η ερώτηση 4 δε σχετίζεται ιδιαίτερα με κάποιον από τους παράγοντες αυτούς.

Στους παράγοντες 1 και 2 εντάσσονται οι πιο απαιτητικές ερωτήσεις, αυτές δηλαδή που για να απαντηθούν απαιτούν βαθύτερη γνώση, νοηματική κατανόηση και/ή κριτική ικανότητα. Στον παράγοντα 3 εντάσσονται οι ερωτήσεις γνώσεως, ενώ η ερώτηση 2 που αφορούσε την εφαρμογή ενός απλού αλγορίθμου μαζί με την ερώτηση 7 που ήταν ερώτηση διπλής επιλογής εντάσσονται στον παράγοντα 4. Η ερώτηση 4, που με το κριτήριο του 0,400 δεν εντάσσεται σε κανένα από τους παράγοντες αυτούς, ήταν μια ερώτηση εφαρμογής αλγορίθμου πιο απαιτητική από την ερώτηση 2. Αξίζει ίσως να σημειωθεί ότι ερώτηση 4 συσχετίζεται με τον παράγοντα 3 με συντελεστή 0,399.

Είναι αξιοσημείωτη η σύμπτωση των αποτελεσμάτων αυτών με την αρχική κατάταξη που έγινε στις ερωτήσεις με βάση το περιεχόμενό τους. Στον επόμενο πίνακα 5.16 γίνεται φανερή η σύμπτωση αυτή.

Πίνακας 5.16: Ομαδοποίηση των ερωτήσεων με βάση το περιεχόμενο και τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραγόντων.

Κατηγορία/παράγοντας	Ερωτήσεις			
	1	2	3	4
Περιεχόμενο	1	3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14	6, 9, 12	2, 4
Αποτελέσματα	1, 3, 5, 13, 14	8, 10, 11	6, 9, 12, (4)	2, 7



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Α. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε μια ερώτηση χωριστά. Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, οι απαντήσεις που δόθηκαν ή δε δόθηκαν κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες :

1. Σωστή απάντηση.
2. Εν μέρει σωστή απάντηση.
3. Άσχετη-λάθος απάντηση.
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά.

Σε μερικές περιπτώσεις, όταν υπάρχει δυνατότητα ομαδοποίησής τους, κρίνεται σκόπιμο οι άσχετες-λάθος απαντήσεις να αναλύονται σε υποπεριπτώσεις-κατηγορίες.

Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε ερώτηση ακολουθούν χαρακτηριστικές απαντήσεις όπως δόθηκαν κατά την έρευνα. Δίπλα από κάθε απάντηση δίνεται σε παρένθεση το τμήμα (ΤΧ ή ΤΒ ή ΤΥ ή ΤΧ2) και ο α/α του γραπτού. [Υπενθυμίζεται η σημασία των συμβόλων αυτών όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4: πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων: Χημείας (ΤΧ), Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (ΤΒ), Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών (ΤΥ) και δευτεροετείς φοιτητές του τμήματος Χημείας (ΤΧ2)].



B. Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Ερώτηση 1: *Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα.*

Η ερώτηση αυτή, που ήταν πρώτη στο ερωτηματολόγιο, είχε στόχο να γίνει μια πρώτη ανίχνευση της προσέγγισης των φοιτητών στις κβαντοχημικές έννοιες.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πίνακα 6.1, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.2. Τα αποτελέσματα δίνονται στους δύο πίνακες ξεχωριστά για κάθε τμήμα αλλά και αθροιστικά για τους πρωτοετείς φοιτητές. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα των δευτεροετών φοιτητών δεν αθροίζονται στα συνολικά αποτελέσματα λόγω της διαφορετικής χημικής παιδείας που έχουν οι φοιτητές αυτοί. Η ίδια τακτική θα ακολουθηθεί και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολοίπων ερωτήσεων.

Ως σωστές απαντήσεις θεωρήθηκαν αυτές που το άτομο του υδρογόνου σχεδιάστηκε είτε ως ηλεκτρονιακό νέφος είτε ως τροχιακό $1s$ με οριακή καμπύλη (κύκλο). Οι λανθασμένες απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, την κατηγορία 3α όπου το άτομο του υδρογόνου σχεδιάζόταν σύμφωνα με το ατομικό πρότυπο του Bohr και την κατηγορία 3β που περιλαμβάνει όλες τις άλλες λανθασμένες απαντήσεις. Σε αυτή την ερώτηση δεν υπήρχαν εν μέρει σωστές απαντήσεις.

Πίνακας 6.1: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 1

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	5	8	7	20	22
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	32	33	25	90	14
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	3	3	2	8	6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	3	2	2	7	1
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43



Πίνακας 6.2: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 1

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	11,6	17,4	19,4	16,0	51,1
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	74,4	71,8	69,4	72,0	32,6
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	7,0	6,5	5,6	6,4	14,0
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	7,0	4,3	5,6	5,6	2,3

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι πρωτοετείς φοιτητές (72%) εξακολουθούν να έχουν στο μυαλό τους το πλανητικό ατομικό πρότυπο του Bohr, παρά τη διδασκαλία στη Γ λυκείου του κβαντομηχανικού προτύπου. Με άλλα λόγια, η διδασκαλία στην τρίτη λυκείου δεν επέφερε στους μαθητές αυτούς την αναμενόμενη ή προσδοκώμενη νοηματική αλλαγή και έμειναν πιστοί στα νοητικά σχήματα που είχαν ήδη δημιουργήσει από τη διδασκαλία του ατομικού προτύπου του Bohr στις προηγούμενες τάξεις.

β) Η εικόνα είναι διαφορετική στους δευτεροετείς φοιτητές του Τμήματος Χημείας όπου οι μισοί περίπου από αυτούς δίνουν το κβαντομηχανικό πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου. Υπάρχει όμως και εδώ ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 30% που επιμένει στο πλανητικό ατομικό μοντέλο.

γ) Αν και οι περιπτώσεις των λανθασμένων απαντήσεων της κατηγορίας 3β είναι λίγες, αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες από αυτές οι φοιτητές ζωγράφισαν, πιθανολογικά ή ντετερμινιστικά, το μόριο του υδρογόνου και όχι το άτομο.

δ) Οι επιδόσεις των πρωτοετών φοιτητών στην ερώτηση αυτή δε διαφέρουν στατιστικά, η διαφορά όμως που παρουσιάζουν με τους δευτεροετείς φοιτητές, οι οποίοι φαίνεται να έχουν αποδεχθεί το κβαντομηχανικό μοντέλο σε σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό, είναι στατιστικά σημαντική. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.3, 6.4 και 6.5 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.

Πίνακας 6.3: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ των πρωτοετών φοιτητών στην ερώτηση 1.

Ερώτηση 1

	Sum Square	df	Mean	F	Sig.
Between	,890	2	,445	,787	,458
Within	68,99	122	,566		
Total	69,88	124			

Πίνακας 6.4: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών στην ερώτηση 1.

Ερώτηση 1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16,001	3	5,334	7,812	,000
Within Groups	111,975	164	,683		
Total	127,976	167			

Πίνακας 6.5: Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών στην ερώτηση 1

Dependent Variable: Ερώτηση 1

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,12	,175	,913	-,57	,34
	3	-,21	,187	,668	-,70	,27
	4	-,79*	,178	,000	-1,25	-,33
2	1	,12	,175	,913	-,34	,57
	3	-,10	,184	,953	-,57	,38
	4	-,68*	,175	,001	-1,13	-,22
3	1	,21	,187	,668	-,27	,70
	2	,10	,184	,953	-,38	,57
	4	-,58*	,187	,012	-1,06	-,09
4	1	,79*	,178	,000	,33	1,25
	2	,68*	,175	,001	,22	1,13
	3	,58*	,187	,012	,09	1,06

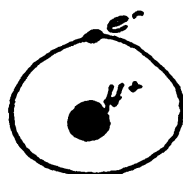
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις-σχήματα που δόθηκαν στην ερώτηση 1.





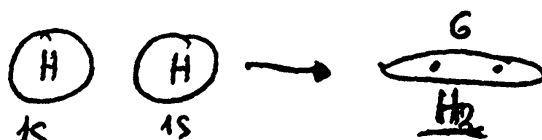
TB20



TB-6



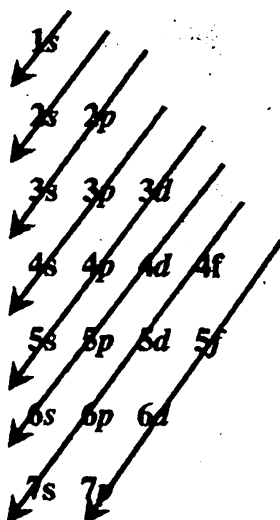
TX-35



TX2-32

Ερώτηση 2: Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου

Πρόκειται για μια απλή αλγοριθμική ερώτηση, ο φοιτητής αναμένεται να απαντήσει σωστά αν θυμάται το σχετικό μνημονικό κανόνα – αλγόριθμο (Σχήμα 6.1) με τον οποίο, αρχίζοντας από πάνω και ακολουθώντας τη σειρά που δείχνουν τα βέλη, βρίσκεται πρακτικά η ενεργειακή σειρά των υποστιβάδων.



Σχήμα 6.1: Αλγόριθμος εύρεσης της ενεργειακής σειράς των υποστιβάδων

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πιο κάτω πίνακα 6.6, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.7. Οι λανθασμένες απαντήσεις δόθηκαν όλες μαζί, ενώ δεν υπήρξαν εν μέρει σωστές απαντήσεις.

Πίνακας 6.6: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 2

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2,
1. Σωστή απάντηση	29	36	28	93	39
2. Άσχετη-Λάθος απάντηση	14	9	7	30	4
3. Δεν ξέρει-δεν απαντά	-	1	1	2	-
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.7: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 2

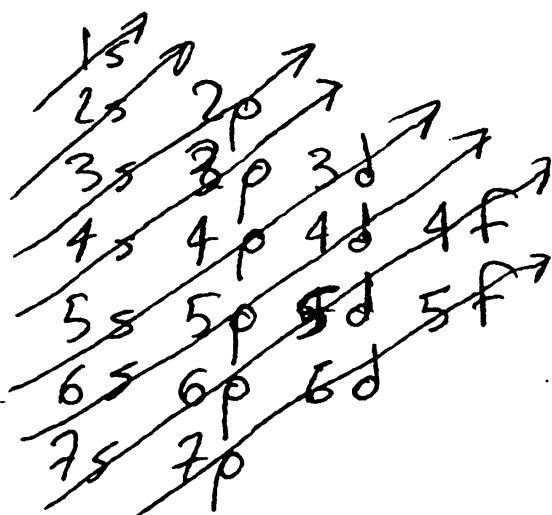
Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	67,4	78,3	77,8	74,4	90,7
2. Άσχετη-Λάθος απάντηση	32,6	19,6	19,4	24,0	9,3
3. Δεν ξέρει-δεν απαντά	-	2,1	2,8	1,6	-

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι ένα μεγάλο ποσοστό (74,4%) των πρωτοετών φοιτητών γνωρίζει και εφαρμόζει σωστά τον αλγόριθμο. Το ποσοστό αυτό είναι ακόμη μεγαλύτερο (90,7) για τους δευτεροετείς φοιτητές που εκ των πραγμάτων είναι πιο έμπειροι.

β) Από τις λανθασμένες απαντήσεις αξίζει να αναφερθούν δύο περιπτώσεις που αποτελούν το 50% των λανθασμένων απαντήσεων. Στην πρώτη από αυτές, που αντιστοιχεί στο 26,5% των περιπτώσεων, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται αντίθετα (Σχήμα 6.2) (ΤΧ-36). Στη δεύτερη οι υποστιβάδες διατάσσονται με βάση τον κύριο κβαντικό αριθμό και μετά με βάση την υποστιβάδα. Στις υπόλοιπες λανθασμένες απαντήσεις είτε παραλείπονται κάποιες υποστιβάδες είτε η διάταξη δεν παρουσιάζει κάποια λογική, είτε τέλος γίνεται αντίθετα.





Σχήμα 6.2: Λανθασμένος Αλγόριθμος για την εύρεση της ενεργειακής σειράς των υποστιβάδων.

γ) Οι επιδόσεις όλων των φοιτητών στην ερώτηση αυτή δε διαφέρουν στατιστικά, η μόνη στατιστικά σημαντική διαφορά σε αυτήν την ερώτηση είναι ανάμεσα στους πρωτοετείς και τους δευτεροετείς φοιτητές του τμήματος χημείας. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.8 και 6.9 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.

Πίνακας 6.8 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 2.

Dependent Variable: Ερώτηση 2

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,22	,173	,593	-,66	,23
	3	-,21	,184	,675	-,68	,27
	4	-,47*	,175	,043	-,92	-,01
2	1	,22	,173	,593	-,23	,66
	3	,01	,181	1,000	-,46	,48
	4	-,25	,173	,475	-,70	,20
3	1	,21	,184	,675	-,27	,68
	2	-,01	,181	1,000	-,48	,46
	4	-,26	,184	,497	-,74	,22
4	1	,47*	,175	,043	,01	,92
	2	,25	,173	,475	-,20	,70
	3	,26	,184	,497	-,22	,74

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Πίνακας 6.9: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 2.

Ερώτηση 2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,671	3	1,557	2,354	,074
Within Groups	108,472	164	,661		
Total	113,143	167			

Ακολουθούν ενδεικτικές λανθασμένες απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

Με τη χρήση του λανθασμένου αλγόριθμου προκύπτει η διάταξη:

«2s, 2p, 4s, 3p, 5s, 4p, 3d, 4d, 5f.» (TX-36)

Η διάταξη με βάση τον κύριο κβαντικό αριθμό είναι:

«2s, 2p, 3p, 3d, 4s, 4p, 4d, 5s, 5f.» (TB-9)

Άλλες λανθασμένες διατάξεις ήταν και οι εξής:

«2s < 2p < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 5f» (TB-23),

«2s < 2p < 4s = 3p < 3d = 5s = 4p < 4d < 5f» (TY- 5) και

«5f < 4d < 5s < 4p < 3d < 4s < 3p < 2p < 2s» (TX-4).

Ερώτηση 3: Η διάταξη που έγραψες στη προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα

Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο

Πρόκειται για μια ερώτηση που απαιτεί βαθύτερη γνώση και κατανόηση της ύλης, δεν αρκεί για την απάντησή της η γνώση ενός αλγόριθμου ή έστω της σωστής ενεργειακής σειράς.

Ως σωστή απάντηση θεωρείται εκείνη που έχει τόσο τη σωστή σειρά όσο και την αιτία που συμβαίνει αυτό. Απαντήσεις στις οποίες απουσιάζει είτε η σωστή σειρά είτε η αιτιολόγηση θεωρήθηκαν ως εν μέρει σωστές. Οι λανθασμένες απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, την κατηγορία 3α όπου οι φοιτητές αναφέρονται στην ηλεκτρονιακή δομή του υδρογόνου ($1s^1$) και στην κατηγορία 3β που περιλαμβάνει όλες τις άλλες λανθασμένες απαντήσεις.



Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πιο κάτω πίνακα 6.10, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.11.

Πίνακας 6.10: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 3

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	1	10	1	12	1
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	2	3	-	5	-
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	12	7	6	25	5
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	13	8	5	26	2
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	15	18	24	57	35
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.11: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 3

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	2,3	21,7	2,8	9,6	2,3
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	4,7	6,5	-	4,0	-
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	27,9	15,2	16,7	20,0	11,6
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	30,2	17,4	13,9	20,8	4,7
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	34,9	39,2	66,6	45,6	81,4

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι φοιτητές δε γνωρίζουν τι συμβαίνει με το άτομο του υδρογόνου και είτε αποφεύγουν να απαντήσουν είτε απαντούν λανθασμένα.

β) Η εικόνα αυτή τη φορά είναι ίδια και για τους δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2. Καλύτερη εικόνα παρουσιάζει μόνο το ΤΒ και μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι φοιτητές αυτοί ήταν κατά τεκμήριο καλύτεροι μαθητές, δεδομένης της υψηλής βάσης εισαγωγής στο συγκεκριμένο τμήμα.

γ) Στις μισές περίπου από τις λανθασμένες απαντήσεις (περίπτωση 3α), οι φοιτητές αναφέρονται στην ηλεκτρονιακή δομή του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση. Θεωρούν δηλαδή ότι μπορούμε να μιλούμε για ενέργεια υποστιβάδων και να τις κατατάσσουμε σε σειρά μόνο όταν αυτές είναι κατειλημμένες.

δ) Η διαφορά που παρουσιάζουν οι φοιτητές του ΤΒ με τους υπόλοιπους φοιτητές είναι στατιστικά σημαντική, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των σχετικών τεστ ANOVA και TUKEY που παρατίθενται στη συνέχεια στους πίνακες 6.12 και 6.13.

Πίνακας 6.12: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 3.

Ερώτηση 3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7,003	3	2,334	8,526	,000
Within Groups	44,902	164	,274		
Total	51,905	167			

Πίνακας 6.13: Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 3.

Dependent Variable: Ερώτηση 3

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,43*	,111	,001	-,72	-,14
	3	,04	,118	,989	-,27	,34
	4	,05	,113	,976	-,25	,34
2	1	,43*	,111	,001	,14	,72
	3	,47*	,116	,001	,16	,77
	4	,48*	,111	,000	,19	,76
3	1	-,04	,118	,989	-,34	,27
	2	-,47*	,116	,001	-,77	-,16
	4	,01	,118	1,000	-,30	,32
4	1	-,05	,113	,976	-,34	,25
	2	-,48*	,111	,000	-,76	-,19
	3	-,01	,118	1,000	-,32	,30

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

-Α. Σωστές απαντήσεις:

«Η παραπάνω διάταξη στο άτομο του υδρογόνου διαφοροποιείται γιατί ο αζιμουθιακός αριθμός (που δείχνει την άπωση των ηλεκτρονίων μεταξύ τους) δεν παίζει κανένα ρόλο, αφού το άτομο του υδρογόνου έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο. $2s = 2p < 3p = 3d < 4s = 4p = 4d < 5s = 5f$ » (TB-23)

« $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d$ κλπ, διότι το υδρογόνο έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο και δεν υπάρχει έλξη μεταξύ των ηλεκτρονίων, αλλά η ενέργεια εξαρτάται μόνο από την έλξη του πυρήνα, δηλαδή μόνο από τον κύριο κβαντικό αριθμό» (TY-7)

B. Εν μέρει σωστές απαντήσεις:

«Η διάταξη είναι διαφορετική τώρα γιατί στο υδρογόνο δεν υπάρχουν διηλεκτρονικές απώσεις αφού υπάρχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο και έτσι η ενέργεια καθορίζεται μόνο από τον κύριο κβαντικό αριθμό n και όχι το l που καθορίζει τις διηλεκτρονικές απώσεις.» (TX-7)

«Το υδρογόνο διαφοροποιείται γιατί είναι το άτομο το οποίο έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο» (TB-14)

Γ. Λανθασμένες απαντήσεις (περίπτωση 3α):

«Το άτομο του υδρογόνου καταλαμβάνει με ηλεκτρόνια μόνο το $1s$ τροχιακό, τα άλλα τροχιακά είναι κενά» (TX2-2)

«Το υδρογόνο έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο που θα πάει στο $1s$ τροχιακό. Όλες οι άλλες στιβάδες υπάρχουν αλλά είναι εκφυλισμένες. Έχουν όλες την ίδια ενέργεια.» (TX2-24)

«Το υδρογόνο έχει ένα ηλεκτρόνιο. Η παραπάνω διάταξη χρησιμοποιείται για πιο σύνθετα άτομα (πολυηλεκτρονιακά). Η διάταξη του υδρογόνου είναι $1s^1$.» (TX-5)

« $1s^1$. Έχει ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα.» (TB-2)

Δ. Λανθασμένες απαντήσεις (περίπτωση 3β):

« $2s < 2p < 3p < 3d < 4s < 4p < 4d < 5s < 5f$. Διαφοροποιείται γιατί ανήκει στα μονοατομικά στοιχεία.» (TX-11)

«Το άτομο του υδρογόνου έχει την ίδια ενέργεια γιατί έχει ένα ηλεκτρόνιο» (TB-7)

«Δεν πιστεύω ότι είναι διαφορετική» (TB-8)

« $2s < 2p < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5f$ » (TB-15)

«Επειδή υπάρχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου σε όποια στιβάδα και αν βρίσκεται έχει σχεδόν την ίδια ενέργεια.» (TY-26)

Ερώτηση 4: Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου

Πρόκειται για μια απλή ερώτηση γνώσεως για την απάντηση του πρώτου μέρους της οποίας απαιτείται η γνώση της σειράς πλήρωσης των υποστιβάδων (ερώτηση 2, σχήμα), ενώ για το δεύτερο μέρος απαιτείται η γνώση του κανόνα του Hund. Σημειώνεται ότι ερωτήσεις αυτής της μορφής υπάρχουν και στα τέσσερα διδακτικά εγχειρίδια που οι φοιτητές χρησιμοποιούσαν ως μαθητές της Γ λυκείου.

Ως σωστή απάντηση θεωρείται εκείνη που έχει τόσο τη σωστή ηλεκτρονιακή δομή όσο και το σωστό αριθμό μονήρων ηλεκτρονίων. Απαντήσεις στις οποίες απουσιάζει είτε η σωστή ηλεκτρονιακή δομή είτε ο σωστός αριθμός μονήρων ηλεκτρονίων θεωρήθηκαν ως εν μέρει σωστές, στην πρώτη περίπτωση βέβαια μόνο αν ο αριθμός των μονήρων ηλεκτρονίων συμφωνούσε με τη λανθασμένη ηλεκτρονιακή δομή που έγραψε ο φοιτητής. Οι λανθασμένες απαντήσεις δόθηκαν όλες μαζί.

Ως σωστές ηλεκτρονιακές δομές θεωρήθηκαν τόσο η δομή $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$ που όμως ήταν εκτός ύλης Γ λυκείου όσο και η δομή $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πίνακα 6.14, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.15.



Πίνακας 6.14: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 4.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	27	28	16	71	33
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	9	14	11	34	9
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	6	4	8	18	1
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	1	-	1	2	-
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.15: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 4.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	62,8	60,9	44,4	56,8	76,8
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	20,9	30,4	30,6	27,2	20,9
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	14,0	8,7	22,2	14,4	2,3
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	2,3	-	2,8	1,6	-

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι φοιτητές απαντούν σωστά (56,8%) ή εν μέρει σωστά (27,2%) σε αυτή την ερώτηση. Τα ποσοστά είναι ακόμη μεγαλύτερα για τους δευτεροετείς φοιτητές όπου το 97,7% απαντά σωστά ή εν μέρει σωστά.

β) Από τις εν μέρει σωστές απαντήσεις το 79% είχε σωστή την ηλεκτρονιακή δομή και το 21% τα μονήρη ηλεκτρόνια.

γ) Τα κυριότερα λάθη που παρατηρήθηκαν στην εύρεση της ηλεκτρονιακής δομής ήταν η εφαρμογή λανθασμένου αλγόριθμου για την πλήρωση των υποστιβάδων, με κυριότερο σφάλμα την παράλειψη της υποστιβάδας 4s και την κατανομή στις υποστιβάδες διαφορετικού αριθμού ηλεκτρονίων.

δ) Τα κυριότερα λάθη που παρατηρήθηκαν στην εύρεση του αριθμού μονήρων ηλεκτρονίων ήταν είτε η αναγραφή ενός λανθασμένου αριθμού χωρίς αιτιολόγηση, που στις περισσότερες φορές ήταν το δύο, είτε η μη ενασχόληση με το σκέλος αυτό της ερώτησης. Σημειώνεται ότι σε τρεις περιπτώσεις ο αριθμός δύο δικαιολογήθηκε θεωρώντας ότι η υποστιβάδα 3d έχει τρία τροχιακά, σφάλμα που ίσως έκαναν και οι υπόλοιποι φοιτητές που έδωσαν την απάντηση δύο χωρίς αιτιολόγηση.

ε) Οι επιδόσεις των φοιτητών στην ερώτηση αυτή διαφέρουν στατιστικά. Αυτό οφείλεται στην στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους φοιτητές του ΤΥ και στους δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.16 και 6.17 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.

Πίνακας 6.16: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 4

Ερώτηση 4					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5,993	3	1,998	4,200	,007
Within Groups	78,001	164	,476		
Total	83,994	167			

Πίνακας 6.17 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 4

Dependent Variable: Ερώτηση 4

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,06	,146	,980	-,44	,32
	3	,27	,156	,308	-,13	,68
	4	-,28	,149	,242	-,67	,11
2	1	,06	,146	,980	-,32	,44
	3	,33	,153	,147	-,07	,73
	4	-,22	,146	,428	-,60	,16
3	1	-,27	,156	,308	-,68	,13
	2	-,33	,153	,147	-,73	,07
	4	-,55*	,156	,003	-,95	-,15
4	1	,28	,149	,242	-,11	,67
	2	,22	,146	,428	-,16	,60
	3	,55*	,156	,003	,15	,95

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

-Α. Σωστές απαντήσεις:

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$, 4 μονήρη ηλεκτρόνια.» (TY-5)

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$, Περιέχονται 6 μονήρη ηλεκτρόνια.» (TX2-5)

Β. Εν μέρει σωστές απαντήσεις:

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$ » (TX-12)

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^7$, υπάρχουν 3 μονήρη ηλεκτρόνια.» (TB-1)

« $1s^2 2s^2 3s^2 2p^6 4s^2 3p^6 5s^2 4p^2$, 2 μονήρη ηλεκτρόνια με παράλληλα spin.» (TB-17)

Γ. Λανθασμένες απαντήσεις:

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$ » (TY-7)

« $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$, κανένα μονήρες» (TY-32)

« $1s^2 2s^2 2p^3 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$, Υπάρχει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο» (TX-21)

Ερώτηση 5: Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $H\hat{C}H$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Πρόκειται για ερώτηση κρίσεως. Αυτό που ζητείται από τους φοιτητές είναι να διαπιστώσουν ότι σ' αυτήν τη δομή υπάρχουν δύο μόνο μονήρη ηλεκτρόνια σε δύο p τροχιακά που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 90° και για αυτόν ακριβώς το λόγο δεν είναι σύμφωνη η δομή με το γεγονός ότι ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς. Θεωρήθηκαν σωστές απαντήσεις που αναφέρονται μόνο στην ύπαρξη δύο μονήρων ηλεκτρονίων χωρίς να αναφέρονται στις γωνίες ακόμη και όταν η προσπάθεια απάντησης στο ερώτημα «και τότε τι γίνεται, πως φτιάχνει ο άνθρακας τέσσερις δεσμούς;» που δεν περιλαμβάνόταν στην ερώτηση ήταν λανθασμένη ή ελλιπής. Σημειώνεται ότι ο υβριδισμός τη συγκεκριμένη σχολική χρονιά (2000 – 2001) ήταν εκτός ύλης. Δεν υπήρξαν εν μέρει σωστές απαντήσεις και οι λανθασμένες απαντήσεις δόθηκαν όλες μαζί.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πιο κάτω πίνακα 6.18, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.19.

Πίνακας 6.18: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 5.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	8	18	2	28	36
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	19	10	10	39	6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	16	18	24	58	1
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.19: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 5.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	18,6	39,1	5,6	22,4	83,7
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	44,2	21,8	27,8	31,2	14,0
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	37	39,1	66,6	46,4	2,3

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια πολύ μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην επίδοση των πρωτοετών και των δευτεροετών φοιτητών, όπου ένα μεγάλο ποσοστό πρωτοετών ξαφνιάζεται και δεν απαντά στην ερώτηση. Η διαφορά αυτή, που κυμαίνεται από 44,6 % ανάμεσα στο ΤΒ και το ΤΧ2 μέχρι και 78,1% ανάμεσα στο ΤΥ και το ΤΧ2, είναι κατά μέσο όρο 60%. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη διαφορετική χημική τους παιδεία. Οι δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2 έχουν διδαχθεί στο πανεπιστήμιο τόσο στην ανόργανη όσο και στην οργανική χημεία για τον άνθρακα, τους δεσμούς του και τον υβριδισμό. Αντίθετα οι πρωτοετείς μαθητές δεν ασχολήθηκαν ιδιαίτερα με τον άνθρακα, ούτε διδάχθηκαν για τον υβριδισμό, που τη συγκεκριμένη σχολική χρονιά ήταν εκτός ύλης. Έτσι η ερώτηση αυτή είναι



μια ερώτηση κρίσεως, όπως έχει αναφερθεί στην αρχή, μόνο για τους πρωτοετείς φοιτητές, ενώ για τους δευτεροετείς είναι μια ερώτηση γνώσεως.

- β) Οι περισσότεροι δευτεροετείς φοιτητές στις απαντήσεις τους, αφού δηλώσουν ότι η δομή αυτή δεν είναι σύμφωνη επειδή σύμφωνα με αυτήν ο άνθρακας έχει μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια, προσπαθούν στη συνέχεια να εξηγήσουν γιατί ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς. Οι κυριότερες απαντήσεις που δίνονται αναφέρονται α) στη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ (12 απαντήσεις), β) στην ίδια διεγερμένη δομή που ταυτίζουν με τον υβριδισμό (18 απαντήσεις) και γ) στον υβριδισμό (3 απαντήσεις). Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι οι φοιτητές όταν αναφέρονται είτε στη διεγερμένη δομή είτε στον υβριδισμό, αναφέρονται σε φαινόμενα. Αυτό προκύπτει από χαρακτηριστικές φράσεις και ρήματα που χρησιμοποιούνται στις απαντήσεις όπως:

«Ένα $2s$ ηλεκτρόνιο διεγείρεται και τοποθετείται... »

«Πρέπει να γίνει υβριδισμός... »

«Απαιτείται διέγερση... »

« ... γίνεται υβριδοποίηση... »

« ..ο άνθρακας προωθεί το ένα... »

« Το άτομο του άνθρακα πρέπει να πάθει υβριδισμό... »

« ο άνθρακας διεγείρει το ένα από... »

Ο υβριδισμός δηλαδή θεωρείται από τους δευτεροετείς φοιτητές ως ένα φαινόμενο και όχι ως μια μαθηματική επεξεργασία που εκ των υστέρων γίνεται στις υδρογονοειδείς κυματοσυναρτήσεις για να εξηγηθεί η συμπεριφορά του άνθρακα όταν ενώνεται. Αποδίδονται επίσης ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά στον άνθρακα που θέλει, που προωθεί, που παθαίνει.

γ) Ένας μικρός αριθμός πρωτοετών φοιτητών αναφέρει επίσης τη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ (5 απαντήσεις), την ταυτίζει με τον υβριδισμό (2 απαντήσεις) ή αναφέρεται στον υβριδισμό (9 απαντήσεις). Σημειώνεται ότι οι αναφορές στον υβριδισμό δείχνουν άγνοια, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις αναφέρεται λανθασμένος τύπος υβριδισμού (sp ή sp^2) και βέβαια αντιμετωπίζεται πάλι ως φαινόμενο.

δ) Στις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις οι φοιτητές δεν ασχολήθηκαν με τη θεμελιώδη δομή, αλλά απλά αρκέστηκαν στο συλλογισμό: «Αυτή είναι η θεμελιώδης δομή

και αφού ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς δεν μπορεί παρά να συμφωνεί». Σε λιγότερες απαντήσεις οι φοιτητές απαντούν στο ερώτημα αν η ηλεκτρονιακή δομή που δίνεται είναι η θεμελιώδης, ενώ άλλοι σχεδιάζουν το μόριο του μεθανίου.

ε) Οι επιδόσεις των φοιτητών στην ερώτηση αυτή διαφέρουν στατιστικά. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους πρωτοετείς φοιτητές όλων των τμημάτων και τους δευτεροετείς φοιτητές του TX2. Στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει και ανάμεσα στους πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων TY και TB, με καλύτερη την επίδοση των τελευταίων. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.20 και 6.21 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY

Πίνακας 6.20: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 5.

Ερώτηση 5					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	57,606	3	19,202	31,220	,000
Within Groups	100,870	164	,615		
Total	158,476	167			

Πίνακας 6.21: Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 5

Dependent Variable: Ερώτηση 5

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,41	,166	,069	-,84	,02
	3	,26	,177	,456	-,20	,72
	4	-1,30*	,169	,000	-1,74	-,86
2	1	,41	,166	,069	-,02	,84
	3	,67*	,175	,001	,22	1,12
	4	-,89*	,166	,000	-1,32	-,46
3	1	-,26	,177	,456	-,72	,20
	2	-,67*	,175	,001	-1,12	-,22
	4	-1,56*	,177	,000	-2,02	-1,10
4	1	1,30*	,169	,000	,86	1,74
	2	,89*	,166	,000	,46	1,32
	3	1,56*	,177	,000	1,10	2,02

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

- Υπενθυμίζεται ότι θεωρήθηκαν σωστές απαντήσεις που αναφέρονται στην ύπαρξη δύο μονήρων ηλεκτρονίων ακόμη και όταν η προσπάθεια απάντησης στο ερώτημα «και τότε τι γίνεται, πως φτιάχνει ο άνθρακας τέσσερις δεσμούς;» που δεν περιλαμβανόταν στην ερώτηση ήταν λανθασμένη ή ελλιπής, όπως συμβαίνει με μερικές από τις απαντήσεις που ακολουθούν.

« Όχι, αφού στην περίπτωση αυτή τα μονήρη ηλεκτρόνια είναι δύο, ενώ στην πραγματικότητα πρέπει να είναι τέσσερα, ώστε να σχηματίζει τέσσερις δεσμούς.» (TX-16)

«Όχι γιατί σύμφωνα με τη δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ ο άνθρακας έχει μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια» (TY-6)

«Όχι, η θεμελιώδης δομή θα έπρεπε να είναι $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$, έτσι ώστε να μπορεί να δημιουργήσει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς και να έχει την τετραεδρική διάταξη.» (TX-18)

«Όχι, η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ δεν αντικατοπτρίζει την ιδιότητα της τετρασθενικότητας του άνθρακα. Στην περίπτωση αυτή διεγείρεται το ένα από τα δύο ηλεκτρόνια του $2s$ τροχιακού του άνθρακα και τοποθετείται στο τρίτο p τροχιακό του, δηλαδή γίνεται $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$. Οπότε εξηγείται το γεγονός ότι ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς. Η ενέργεια που χρειάστηκε για τη διέγερση αυτή δίνεται πίσω με το σχηματισμό δεσμού. Επίσης η διέγερση γίνεται επειδή τα τροχιακά $2s$ και $2p$ είναι της ίδιας ενέργειας. Οπότε καταλήγουμε και στη διάταξη των δεσμών με γωνίες $H\hat{C}H$ είναι 109° .» (TX2-1)

« Η δομή αυτή δεν είναι σύμφωνη με το γεγονός ότι ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς. Σύμφωνα με τη δομή αυτή έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια, άρα μπορεί να σχηματίσει δύο ομοιοπολικούς δεσμούς. Υφίσταται υβριδισμό όταν πρόκειται να ενωθεί με άλλα άτομα και η δομή του γίνεται: $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ » (TX-33)

« Δεν είναι σύμφωνη αυτή η θεμελιώδης δομή διότι σύμφωνα με αυτή μπορούν να σχηματισθούν μόνο δύο ομοιοπολικοί δεσμοί. Για να σχηματισθούν τέσσερις, πρέπει να γίνει υβριδισμός, δηλαδή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$. Σύμφωνα με αυτή τη δομή έχουμε τέσσερις ισοδύναμους ομοιοπολικούς δεσμούς και η γωνία $H\hat{C}H$ είναι 109° .» (TX2-2)

«Όχι, για να μπορεί ο άνθρακας να σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς και να λαμβάνει τετραεδρική διάταξη των δεσμών, υπόκειται σε υβριδισμό, μια διαδικασία κατά την οποία τα $2s^2$ ηλεκτρόνια λαμβάνουν ένα ποσό ενέργειας, ούτως ώστε να είναι πιο μονήρη και να μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς» (TB-22)

« Όχι δεν είναι σύμφωνη γιατί ο άνθρακας θα σχημάτιζε δύο δεσμούς. Γίνεται sp^3 υβριδισμός, $1s + 3p$ τροχιακά και έτσι έχουμε τέσσερα εκφυλισμένα τροχιακά και έτσι τέσσερις δεσμούς. » (TX2-19)

B. Λανθασμένες απαντήσεις:

« Ο άνθρακας έχει τέσσερα μονήρη ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να δημιουργήσει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς με τέσσερα υδρογόνα, σχηματίζοντας έτσι το μόριο του μεθανίου, κάτι που φαίνεται και από τη θεμελιώδη δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της εξωτερικής του στιβάδας. » (TX-8)

«Είναι σύμφωνη γιατί ο άνθρακας περιέχει τέσσερα μονήρη ηλεκτρόνια στο άτομό του. » (TX-11)

«Ναι, γιατί από την ηλεκτρονιακή δομή φαίνεται ότι ο άνθρακας έχει τέσσερα ελεύθερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, ενώ από τους κβαντικούς αριθμούς καταλαβαίνουμε ότι έχει τετραεδρική δομή» (TB-3)

«Εφόσον σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς, άρα έχει τέσσερα ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους, άρα η ηλεκτρονιακή δομή είναι σωστή.» (TB-18)

«Ναι είναι σωστή αυτή η πρόταση γιατί αν κάνουμε την διάταξη (το $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ αντιστοιχεί στην $2s^2 2p^2$), αυτή αντιστοιχεί στην L στιβάδα, όπου αυτή έχει τέσσερα ηλεκτρόνια άρα και κάνει τέσσερις δεσμούς. » (TY-2)

«Είναι σωστό διότι ο άνθρακας έχει έξι ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα, άρα η ηλεκτρονιακή δομή του είναι $1s^2 2s^2 2p^2$ και στην p υποστιβάδα καλύπτει τα p_x και p_y » (TX-20)

Ερώτηση 6: Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.

Πρόκειται για μια απλή ερώτηση γνώσεως η οποία βέβαια δεν εξετάζει κατά πόσο η αρχή αυτή έχει κατανοηθεί. Ως σωστές απαντήσεις θεωρήθηκαν όσες αναφέρονταν τόσο στην ορμή ή την ταχύτητα, όσο και στη θέση, καθώς επίσης και στον ταυτόχρονο προσδιορισμό των δύο. Ελλιπείς απαντήσεις θεωρήθηκαν λανθασμένες.



Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομήθηκαν στον πιο κάτω πίνακα 6.22, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.23

Πίνακας 6.22: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 6.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	29	32	16	77	27
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	7	7	11	25	8
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	7	7	9	23	8
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.23: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 6.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	67,4	69,6	44,4	61,6	62,8
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	16,3	15,2	30,6	20,0	18,6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	16,3	15,2	25,0	18,4	18,6

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία παρόμοια συμπεριφορά όλων των φοιτητών, πρωτοετών και δευτεροετών, στην ερώτηση αυτή. Μικρή διαφορά παρουσιάζει μόνο το ΤΥ.

β) Οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις ήταν ελλιπείς, δηλαδή απουσίαζε από αυτές είτε η ορμή είτε η θέση είτε ο ταυτόχρονος προσδιορισμός.

γ) Οι επιδόσεις όλων των φοιτητών στην ερώτηση αυτή δεν διαφέρουν στατιστικά. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.24 και 6.25 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.

Πίνακας 6.24: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 6.

Ερώτηση 6

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6,011	3	2,004	2,155	,095
Within Groups	152,466	164	,930		
Total	158,476	167			

Πίνακας 6.25: Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 6.

Dependent Variable: Ερώτηση 6

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,04	,205	,997	-,57	,49
	3	,46	,218	,154	-,11	1,03
	4	,09	,208	,970	-,45	,63
2	1	,04	,205	,997	-,49	,57
	3	,50	,215	,093	-,05	1,06
	4	,14	,205	,911	-,40	,67
3	1	-,46	,218	,154	-1,03	,11
	2	-,50	,215	,093	-1,06	,05
	4	-,37	,218	,335	-,93	,20
4	1	-,09	,208	,970	-,63	,45
	2	-,14	,205	,911	-,67	,40
	3	,37	,218	,335	-,20	,93

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός ηλεκτρονίου» (TB-1)

«Είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της ταχύτητας και της θέσης του ηλεκτρονίου» (TB-5)

B. Λανθασμένες απαντήσεις:

«Δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί η ορμή και η θέση των ηλεκτρονίων στο χώρο» (TX-20)



• «Σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της θέσης και της κατάστασης ενός ηλεκτρονίου στο χώρο.» (TX-28)

«Είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός σώματος» (TX-40)

« Λόγω του μικρού μεγέθους και της μεγάλης ταχύτητας των ηλεκτρονίων δεν είναι δυνατό να εντοπίσουμε τη θέση τους αλλά μόνο να προσδιορίσουμε απλώς το χώρο μέσα στον οποίο κινούνται. » (TY-9)

• «Δεν είναι δυνατό να καθορισθούν ταυτόχρονα η μάζα και η θέση του τροχιακού.» (TY-22)

«Δεν είναι δυνατό να υπολογίσουμε την ακριβή θέση ενός ηλεκτρονίου σε ένα άτομο κάποια χρονική στιγμή.» (TB-8)

«Είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της θέσης και της ενέργειας ενός ηλεκτρονίου.» (TX2-7)

Ερώτηση 7: Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε αυτό που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε τη σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β.

Πρόκειται για μια ερώτηση επιλογής. Γενικά οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής εμπεριέχουν τον κίνδυνο της τυχαίας απάντησης, κίνδυνος που στη συγκεκριμένη ερώτηση είναι μεγαλύτερος, δεδομένου ότι υπήρχαν μόνο δύο επιλογές. Συμπεριλάβαμε όμως στο ερωτηματολόγιο την ερώτηση αυτή έτσι ώστε να έχουμε μια πρώτη ένδειξη για τον τρόπο που αντιλαμβάνονται οι φοιτητές την αρχή της αβεβαιότητας και, κυρίως, για να έχουμε τη δυνατότητα να συζητήσουμε διεξοδικά για το θέμα αυτό στις συνεντεύξεις που θα ακολουθούσαν. Οι δύο επιλογές διατυπώθηκαν με παρόμοιο τρόπο και σε ίση περίπτωση έκτασης, έτσι που να αποκλείουν την δυνατότητα οι φοιτητές να μαντέψουν τη σωστή απάντηση.

Στη συνέχεια στους πίνακες 6.26 και 6.27 παρατίθενται τα αποτελέσματα στην ερώτηση αυτή, που φυσικά περιλαμβάνουν σωστές ή λάθος απαντήσεις καθώς και μη απαντήσεις.

Πίνακας 6.26: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 7.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	25	22	23	70	30
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	17	22	11	50	11
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	1	2	2	5	2
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.27: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 7.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	58,2	47,8	63,9	56,0	69,8
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	39,5	47,8	30,6	40,0	25,6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	2,3	4,4	5,5	4,0	4,6

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι φοιτητές επιλέγουν τη σωστή απάντηση, αλλά και ένα σημαντικό ποσοστό επιλέγει τη λανθασμένη απάντηση, ενώ η συμπεριφορά όλων των φοιτητών, πρωτοετών και δευτεροετών, είναι παρόμοια. Οι διαφορές που παρατηρούνται δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνονται οι φοιτητές την αρχή της αβεβαιότητας, ακόμη και όσοι απάντησαν σωστά σε αυτήν την ερώτηση, θα συζητηθεί διεξοδικά στο δεύτερο μέρος αυτής της έρευνας, στη φάση των συνεντεύξεων.

Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.28 και 6.29 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.



Πίνακας 6.28: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 7.

Ερώτηση 7

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,630	3	1,543	1,609	,189
Within Groups	157,275	164	,959		
Total	161,905	167			

Πίνακας 6.29 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 7.

Dependent Variable: Ερώτηση 7

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	,21	,208	,754	-,33	,75
	3	-,11	,221	,954	-,69	,46
	4	-,23	,211	,689	-,78	,32
2	1	-,21	,208	,754	-,75	,33
	3	-,32	,218	,455	-,89	,24
	4	-,44	,208	,153	-,98	,10
3	1	,11	,221	,954	-,46	,69
	2	,32	,218	,455	-,24	,89
	4	-,12	,221	,951	-,69	,46
4	1	,23	,211	,689	-,32	,78
	2	,44	,208	,153	-,10	,98
	3	,12	,221	,951	-,46	,69

Ερώτηση 8: Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s

Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Με την ερώτηση αυτή γίνεται προσπάθεια να ανιχνευθούν οι ιδέες των φοιτητών για το τροχιακό. Πρόκειται για μια ερώτηση που απαιτεί βαθύτερη γνώση και κατανόηση της έννοιας του τροχιακού. Σωστές απαντήσεις θεωρήθηκαν αυτές που δικαιολογούσαν σωστά την απάντηση. Από τις λανθασμένες απαντήσεις, οι περισσότερες αναφέρονταν ή υπονοούσαν ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο του 1s τροχιακού μόνο σε

κατάσταση διέγερσης. Αυτές οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν στην περίπτωση 3α, ενώ όλες οι υπόλοιπες στην περίπτωση 3β. Εν μέρει σωστές απαντήσεις δεν υπήρξαν.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομούνται στον πιο κάτω πίνακα 6.30, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.31.

Πίνακας 6.30: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 8.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	2	11	4	17	3
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	35	24	20	79	29
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	5	8	9	22	4
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	1	3	3	7	7
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.31: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 8.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	4,7	23,9	11,1	13,6	7,0
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	81,4	52,2	55,6	63,2	67,4
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	11,6	17,4	25,0	17,6	9,3
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	2,3	6,5	8,3	5,6	16,3

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι φοιτητές, από 69,6% για το ΤΒ μέχρι και 93% για το ΤΧ, απαντούν λανθασμένα στην ερώτηση αυτή, ενώ το ποσοστό που δίνει τη σωστή απάντηση κυμαίνεται από 5% μέχρι και 24%. Αξίζει να σημειωθεί η πολύ μικρή απόδοση



των δευτεροετών φοιτητών του ΤΧ2 (7%). Την καλύτερη εικόνα παρουσιάζει το ΤΒ (24%) και μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι φοιτητές αυτοί ήταν κατά τεκμήριο καλύτεροι μαθητές, δεδομένης της υψηλής βάσης εισαγωγής στο συγκεκριμένο τμήμα.

β) Στις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις, περίπτωση 3α, οι φοιτητές θεωρούν ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από τον χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό μόνο αν είναι διηγεμένο. Πρόκειται για μια ντετερμινιστική θεώρηση του 1s τροχιακού ως συγκεκριμένου και καθορισμένου χώρου, κάτι σαν τα διαμερίσματα της πολυκατοικίας, παρομοίωση που χρησιμοποιείται μερικές φορές κατά τη διδασκαλία της σειράς πλήρωσης των υποστιβάδων. Ακόμη και όταν αναφέρονται στο τροχιακό ως το χώρο που υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, φαίνεται να μη συνειδητοποιούν την έννοια της πιθανότητας.

γ) Οι επιδόσεις όλων των φοιτητών στην ερώτηση αυτή, παρά τις διαφορές που φαίνεται να έχουν δε διαφέρουν στατιστικά με μόνη εξαίρεση τις επιδόσεις των πρωτοετών φοιτητών του ΤΧ και των φοιτητών του ΤΒ. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 6.32 και 6.33 τα σχετικά τεστ ANOVA και TUKEY.

Πίνακας 6.32: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 8.

Ερώτηση 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,985	3	1,328	3,276	,023
Within Groups	66,491	164	,405		
Total	70,476	167			

Πίνακας 6.33: Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 8.

Dependent Variable: Ερώτηση 8

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,39*	,135	,025	-,74	-,03
	3	-,13	,144	,806	-,50	,24
	4	-,05	,137	,987	-,40	,31
2	1	,39*	,135	,025	,03	,74
	3	,26	,142	,274	-,11	,62
	4	,34	,135	,062	-,01	,69
3	1	,13	,144	,806	-,24	,50
	2	-,26	,142	,274	-,62	,11
	4	,08	,144	,939	-,29	,46
4	1	,05	,137	,987	-,31	,40
	2	-,34	,135	,062	-,69	,01
	3	-,08	,144	,939	-,46	,29

* The mean difference is significant at the .05 level.

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Ναι γιατί ως τροχιακό θεωρείται ο χώρος στον οποίο υπάρχει η μέγιστη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, άρα μπορεί να βρεθεί και αλλού, αλλά πολύ δύσκολα.» (TB-7)

«Ναι. Η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο στο χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s στη θεμελιώδη κατάσταση είναι 95%. Άρα υπάρχει ένα 5% πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο και έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s στη θεμελιώδη κατάσταση. έστω και αν η πιθανότητα αυτή είναι μικρή.» (TB-20)

«Το ηλεκτρόνιο μπορεί θεωρητικά να βρεθεί σε οποιαδήποτε θέση, απλώς ο χώρος 1s είναι αυτός στον οποίο υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.» (TB-43)

«Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο αυτό, αλλά η πιθανότητα είναι πάρα πολύ μικρή. Συνήθως το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στο χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s.» (TX-15)



Β. Λανθασμένες απαντήσεις (3α):

«Ναι, όταν βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση.» (TY-7)

«Όχι, για να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$, θα πρέπει να είναι σε διεγερμένη κατάσταση, αφού το $1s$ τροχιακό είναι ο μικρότερης ενέργειας "χώρος"» (TB-11)

«Η θεμελιώδης κατάσταση είναι η κατάσταση με τη μικρότερη ενέργεια. Για το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου η ελάχιστη ενέργεια είναι στο $1s$ τροχιακό. Αν βρεθεί έξω από αυτό το χώρο, θα έχει μεγαλύτερη ενέργεια άρα δε θα είναι στη θεμελιώδη του κατάσταση.» (TB-39)

Γ. Λανθασμένες απαντήσεις (3β):

«Όχι δε γίνεται» (TY-14)

«Δεν είναι δυνατό.» (TX2-38)

«Όχι, γιατί ως τροχιακό ορίζουμε το χώρο που κινείται το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου» (TY-25)

«Το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου είναι δυνατό να βρεθεί σε οποιοδήποτε τροχιακό, αφού το άτομο του υδρογόνου διαθέτει όλα τα τροχιακά. Με τη μόνη διαφορά, ότι λόγω του γεγονότος που έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο, τα υπόλοιπα τροχιακά θα είναι κενά, εκτός αυτού στο οποίο βρίσκεται το ηλεκτρόνιο. Άλλωστε τροχιακό είναι ο χώρος στον οποίο μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.» (TB-23)

«Δε γίνεται γιατί δε θα ισχύουν οι βασικές αρχές για τη δόμηση των ατόμων» (TX-6)

«Ναι είναι δυνατό, μπορεί το τροχιακό $1s$ να μην είναι γεμάτο και το ηλεκτρόνιο να βρίσκεται σε κάποιο άλλο τροχιακό π.χ. το $2s$ » (TX-17)

«Όχι, δεν υπάρχει τέτοια περίπτωση γιατί το τροχιακό $1s$ είναι ο χώρος μέσα στον οποίο υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Θεωρητικά το τροχιακό έχει άπειρα σημεία, άσχετα αν εμείς πρακτικά το συμβολίζουμε σαν σφαίρα και το περιορίζουμε» (TX2-12)

Ερώτηση 9: Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς;

Πρόκειται για μια απλή ερώτηση γνώσεως. Ως σωστές θεωρήθηκαν εκείνες οι απαντήσεις στις οποίες ορίζονταν σωστά τρεις τουλάχιστον κβαντικοί αριθμοί. Στους πίνακες 6.34 και 6.35 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα στην ερώτηση αυτή.

Πίνακας 6.34: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 9.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	22	33	19	74	24
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	20	11	15	46	18
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	1	2	2	5	1
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.35: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 9.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	51,2	71,8	52,8	59,2	55,8
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	46,5	23,9	41,7	36,8	41,9
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	2,3	4,3	5,5	4,0	2,3

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι ένα σημαντικό ποσοστό των φοιτητών, πρωτοετών και δευτεροετών, δεν ορίζει σωστά δύο τουλάχιστον κβαντικούς αριθμούς. Υπενθυμίζεται ότι στις σωστές απαντήσεις περιλαμβάνονται και όσες είχαν σωστά τους ορισμούς για τρεις κβαντικούς αριθμούς. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι και τους τέσσερις κβαντικούς



αριθμούξ, όρισαν σωστά 54 πρωτοετείς και 4 μόνο δευτεροετείς φοιτητές, δηλαδή ποσοστό 43% και 9% αντίστοιχα.

- Το γεγονός ότι η ερώτηση αυτή ήταν μια απλή ερώτηση γνώσεων δείχνει το πόσο επιφανειακή ήταν η γνώση αυτή, ώστε το 40% έως 45% των φοιτητών να την έχει ξεχάσει μερικούς μήνες μετά. Γενικά παρατηρείται μια σύγχυση, με αποτέλεσμα να αποδίδονται σε έναν κβαντικό αριθμό χαρακτηριστικά άλλου.

β) Πολλές από τις απαντήσεις των δευτεροετών φοιτητών, σωστές ή λανθασμένες, είναι πιο «περίπλοκες», χρησιμοποιούν μια πιο επιστημονική-τεχνική γλώσσα, ως αποτέλεσμα της διαφορετικής πηγής των γνώσεων αυτών, που για τους πρωτοετείς φοιτητές ήταν τα σχολικά εγχειρίδια που έχουν ήδη αναφερθεί, ενώ για τους δευτεροετείς ήταν πανεπιστημιακά συγγράμματα (Χατζηλιάδης, 1998)

γ) Καλύτερη εικόνα παρουσιάζουν οι φοιτητές του TB που όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY που παρατίθενται στους πίνακες 6.36 και 6.37.

Πίνακας 6.36: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 9.

Ερώτηση 9

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,745	3	1,582	1,636	,183
Within Groups	158,589	164	,967		
Total	163,333	167			

Πίνακας 6.37 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 9.

Dependent Variable: Ερώτηση 9

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,41	,209	,203	-,95	,13
	3	-,03	,222	,999	-,61	,54
	4	-,09	,212	,972	-,64	,46
2	1	,41	,209	,203	-,13	,95
	3	,38	,219	,310	-,19	,95
	4	,32	,209	,424	-,22	,86
3	1	,03	,222	,999	-,54	,61
	2	-,38	,219	,310	-,95	,19
	4	-,06	,222	,993	-,64	,52
4	1	,09	,212	,972	-,46	,64
	2	-,32	,209	,424	-,86	,22
	3	,06	,222	,993	-,52	,64

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«n: μέγεθος τροχιακού, l: σχήμα τροχιακού, m₁: προσανατολισμός τροχιακού m₂: περιστροφή ηλεκτρονίου.» (TB-1)

«n: μέγεθος και ενέργεια, l: σχήμα τροχιακού, m₁: προσανατολισμό τροχιακού m₂: φορά περιστροφής ηλεκτρονίου.» (TX-9)

«n: δείχνει την απόσταση από τον πυρήνα, l: μέτρο της στροφορμής, m₁: κατεύθυνση στροφορμής, m₂: δείχνει το spin του ηλεκτρονίου, αναφέρεται στην ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου.»

B. Λανθασμένες απαντήσεις :

Οι λανθασμένες απαντήσεις παρατίθενται ανά κβαντικό αριθμό.

I. Κύριος κβαντικός αριθμός n

« Εκφράζει το μέγεθος και το σχήμα του τροχιακού» (TB-18)

«Δηλώνει τη στιβάδα» (TY-31)

«Δείχνει τον αριθμό των στιβάδων του ατόμου» (TX-32)

«Δείχνει το μέγεθος του ατόμου» (TX-19)

«Δηλώνει τη θέση του» (TX-17)



«Δείχνει τον αριθμό του τροχιακού» (TX2-13)

«Προσδιορίζει τον αριθμό των τροχιακών» (TX2-17)

II. Δευτερεύων κβαντικός αριθμός l.

«Εκφράζει το μέγεθος του τροχιακού στο οποίο βρίσκεται το ηλεκτρόνιο»
(TB-38)

«Εκφράζει την κατεύθυνση του τροχιακού στο χώρο» (TB-22)

«Εκφράζει την ενέργεια του τροχιακού» (TB-18)

«Δηλώνει την υποστιβάδα» (TY-31)

«Συμβολίζει τον προσανατολισμό του τροχιακού» (TY-24)

«Δείχνει τον αριθμό των υποστιβάδων» (TX-32)

«Προσδιορίζει τη θέση του μορίου στο χώρο.» (TX-28)

«Δείχνει την ενέργεια του ατόμου.» (TX-19)

«Δείχνει τον αριθμό των υποστιβάδων και την έλξη του πυρήνα» (TX-14)

«Κατεύθυνση μαγνητικού πεδίου» (TX-2)

«Προσδιορίζει τον προσανατολισμό στο χώρο» (TX2-17)

III. Τρίτος κβαντικός αριθμός m_l.

«Καθορίζει τη μορφή του ατόμου στο χώρο» (TB-45)

«Εκφράζει τις έλξεις και τις απώσεις ανάμεσα στα ηλεκτρόνια» (TB-38)

«Είναι ενδεικτικός της διηλεκτρονιακής άπωσης.» (TB-22)

«Δείχνει τον προσανατολισμό του ατόμου στο χώρο.» (TB6)

«Δηλώνει το τροχιακό» (TY-31)

«Εκφράζει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από το ηλεκτρόνιο
εξαιτίας της περιστροφικής του κίνησης.» (TY-1)

«Καθορίζει το spin του ηλεκτρονίου» (TY-2)

«Πόσα τροχιακά έχει κάθε υποστιβάδα» (TX-32)

«Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας του μορίου» (TX-28)

«Δείχνει το μοριακό τροχιακό του ηλεκτρονίου» (TX-25)

«Τον αριθμό των ηλεκτρονίων» (TX-21)

«Ιδιοπεριστροφή ηλεκτρονίου» (TX-15)

«Το μέγεθος του τροχιακού» (TX-8)

«Προσδιορίζει τη θέση του ηλεκτρονίου» (TX2-17)

«Καθορίζει τη φύση του ατόμου μέσα σε μαγνητικό πεδίο» (TX2-3)

IV. Τέταρτος κβαντικός αριθμός m_s .

«Το spin, προσδιορίζει αν τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε ζεύγη ή μονήρη.»

(TY-3)

«Δείχνει τον προσανατολισμό (spin)» (TX-39)

«Δείχνει τη στροφορμή του ατόμου» (TX-19)

«Εκφράζει τη στροφορμή του ηλεκτρονίου.» (TX2-20)

«Εκφράζει την περιστροφή» (TX2-11)

Ερώτηση 10: Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους

(ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)

Πρόκειται για μια ερώτηση κρίσεως και φαντασίας. Σε ένα από τα σχολικά εγχειρίδια (Μαυρομούστακος κ.ά. 1999) αναφέρεται ότι αν σε ένα χελιδόνι προσαρμοσθεί ένας πομπός, τότε καθώς το χελιδόνι κινείται γύρω από τη φωλιά του θα σχηματισθεί στην οθόνη τού δέκτη μια εικόνα παρόμοια με το ηλεκτρονιακό νέφος. Ένας άλλος τρόπος απεικόνισης του ηλεκτρονιακού νέφους θα μπορούσε να ήταν αυτός που περιγράφει η ερώτηση 10.

Σχεδόν όλες οι λανθασμένες απαντήσεις περιέγραφαν ή σχεδίαζαν το ηλεκτρονιακό νέφος. Οι απαντήσεις αυτές ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες: την 3α όπου το ηλεκτρονιακό νέφος σχεδιάζεται ή περιγράφεται σύμφωνα με το κβαντομηχανικό μοντέλο και την 3β όπου η περιγραφή ή το σχέδιο του ηλεκτρονιακού νέφους γίνεται σύμφωνα ή σε συνδυασμό με το μοντέλο του Bohr. Υπήρχαν ελάχιστες ερωτήσεις που δεν μπορούσαν να ταξινομηθούν σε μια από τις δύο αυτές κατηγορίες. Οι ερωτήσεις αυτές ταξινομήθηκαν στην κατηγορία 3γ. Εν μέρει σωστές απαντήσεις δεν υπήρξαν.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν ταξινομούνται στον πιο κάτω πίνακα 6.38, ενώ τα επί τοις εκατό ποσοστά στον πίνακα 6.39.



Πίνακας 6.38: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 10.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	4	10	2	16	1
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	23	14	15	52	13
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	8	7	2	17	12
3γ. Άσχετη-Λάθος απάντηση	2	2	1	5	2
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	6	13	16	35	15
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.39: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 10.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	9,3	21,8	5,6	12,8	2,3
3α. Άσχετη-Λάθος απάντηση	53,5	30,4	41,7	41,6	30,3
3β. Άσχετη-Λάθος απάντηση	18,6	15,2	5,6	13,6	27,9
3γ. Άσχετη-Λάθος απάντηση	4,6	4,3	2,7	4,0	4,6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	14,0	28,3	44,4	28,0	34,9

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των πρωτοετών φοιτητών απαντά σωστά στην ερώτηση αυτή. Το ποσοστό είναι ακόμη μικρότερο για τους δευτεροετείς φοιτητές.

β) Ένα σημαντικό μέρος των φοιτητών (45%-70%, περιπτώσεις 3α και 3β) παρανοεί την ερώτηση, με αποτέλεσμα να ζωγραφίζει ή να περιγράφει το ηλεκτρονιακό νέφος.

γ) Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι η ερώτηση αναφέρεται σε ηλεκτρονικό νέφος, υπάρχουν ακόμη φοιτητές που απαντούν με βάση το μοντέλο του Bohr (περίπτωση 3β). Ορισμένοι μάλιστα προσπαθούν να συνδυάσουν τα δύο μοντέλα, σχεδιάζοντας ηλεκτρονικό νέφος σε τροχιά ή πεπλατυσμένη-απλωμένη τροχιά.

δ) Οι διαφορές που παρατηρούνται στις σωστές απαντήσεις είναι στατιστικά σημαντικές, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY που παρατίθενται στους πίνακες 6.40 και 6.41. Αυτό οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στους δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ και τους φοιτητές του ΤΒ.

Πίνακας 6.40: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 10.

Ερώτηση 10

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,841	3	1,280	3,665	,014
Within Groups	57,279	164	,349		
Total	61,119	167			

Πίνακας 6.41 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 10.

Dependent Variable: Ερώτηση 10

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,25	,125	,198	-,57	,08
	3	,07	,134	,943	-,27	,42
	4	,14	,127	,693	-,19	,47
2	1	,25	,125	,198	-,08	,57
	3	,32	,132	,070	-,02	,67
	4	,39*	,125	,012	,06	,71
3	1	-,07	,134	,943	-,42	,27
	2	-,32	,132	,070	-,67	,02
	4	,06	,134	,963	-,28	,41
4	1	-,14	,127	,693	-,47	,19
	2	-,39*	,125	,012	-,71	-,06
	3	-,06	,134	,963	-,41	,28

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Θα φωτογράφιζα το ηλεκτρόνιο σε διάφορες χρονικές στιγμές. Θα έπαιρνα μετά όλες τις φωτογραφίες τη μια πάνω στην άλλη και θα τις τύπωνα στο χαρτί. Έτσι θα φαινόταν τα διάφορα σημεία στα οποία πέρασε το ηλεκτρόνιο σαν κουκίδες.» (TX-15)

«Σταδιακά τραβάμε φωτογραφίες, σε ίσους χρόνους, του ηλεκτρονίου. Τυπώνουμε τις φωτογραφίες σε διαφάνειες, και αν τοποθετήσουμε τις διαφάνειες, με τη σειρά, τη μία πάνω στην άλλη θα έχουμε την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους» (TB-30)

B. Λανθασμένες απαντήσεις (3α):

«Ο πυρήνας θα βρίσκεται στο κέντρο σχεδόν, ενώ το ηλεκτρονιακό νέφος θα τον περιβάλλει. Θα μπορούσαμε να παραστήσουμε το ηλεκτρονιακό νέφος με κουκίδες. Ο χρωματισμός των κουκίδων θα ήταν εντονότερος κοντά στον πυρήνα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έχουμε εξουδετέρωση του ηλεκτρικού φορτίου.» (TX-1)

«Η εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους μπορεί να αποτελείται από πλήθος στιγμών.» (TX2-35)



(TY-5)

Γ. Λανθασμένες απαντήσεις (3β):

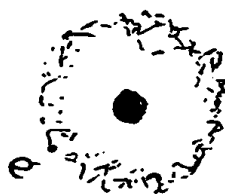
«Το ηλεκτρονιακό νέφος κινείται με μεγάλη ταχύτητα γύρω από τον πυρήνα και από τον εαυτό του σε συγκεκριμένες τροχιές.» (TX-38)

«Το ηλεκτρόνιο κινείται ελλειπτικά γύρω από τον πυρήνα. Έτσι η εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους θα ήταν περίπου σαν αυτή που παρουσιάζει ο πλανήτης Κρόνος με το "δακτυλίδι" του» (TX2-12)

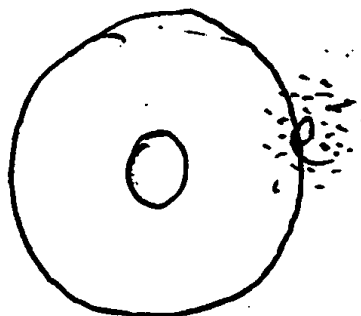
«Θα ξεκίναγα με τον πυρήνα ο οποίος είναι σταθερός και παράλληλα θα τοποθετούσα ένα κυκλικό σωματίδιο (ηλεκτρόνιο) σε μια τροχιά κοντά στον πυρήνα.

Παράλληλα θα έφτιαχνα μια αχνογραμμένη γραμμή η οποία θα ήταν η τροχιά του.»

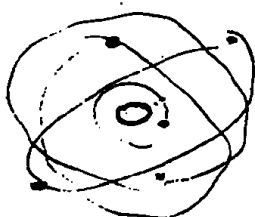
(TX-29)



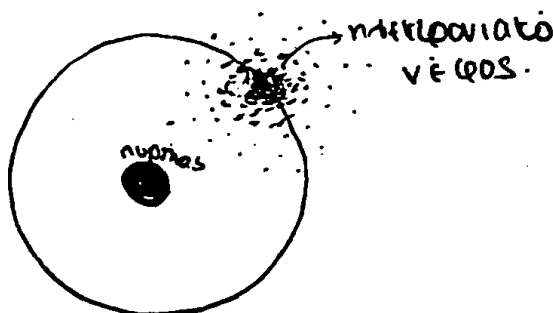
TX2-29,



TX-27,



TY-29,



TB-38.

Ερώτηση 11: Η εξίσωση Schrödinger λύνεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύνεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων

Πρόκειται για μια ερώτηση η οποία απαιτεί βαθύτερη γνώση και κατανόηση της ύλης. Σημειώνεται ότι το θέμα αυτό δεν αναφέρεται ξεκάθαρα στα σχολικά εγχειρίδια, σε ένα μάλιστα από αυτά (Μανουσάκης κ.ά. 1999) δεν αναφέρεται καθόλου η εξίσωση Schrödinger. Αυτό που ζητείται από τους φοιτητές είναι να αναφέρουν ότι ο λόγος για τον οποίο η εξίσωση Schrödinger λύνεται προσεγγιστικά για τα άλλα άτομα είναι οι αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων. Στους πίνακες 6.42 και 6.43 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα στην ερώτηση αυτή.

Πίνακας 6.42: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 11.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	17	20	7	44	25
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	11	8	10	29	6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	15	18	19	52	12
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.43: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 11.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	39,5	43,5	19,4	35,2	58,1
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	25,6	17,4	27,8	23,2	14,0
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	34,9	39,1	52,8	41,6	27,9

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι το ποσοστό των σωστών απαντήσεων είναι μόλις 35,2% για τους πρωτοετείς φοιτητές, κάτι που δικαιώνει την αρχική επισήμανση ότι η ερώτηση αυτή δεν είναι μια απλή ερώτηση γνώσεως. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι φοιτητές που επιλέγουν να μην απαντήσουν σε αυτήν την ερώτηση (41,6%) είναι σχεδόν διπλάσιοι από όσους δίνουν λανθασμένη απάντηση (23,2%). Το γεγονός αυτό μπορεί εν μέρει να αποδοθεί στο ότι κάποιοι από αυτούς δεν είχαν ακούσει τίποτε για την εξίσωση του Schrödinger.

β) Τα αποτελέσματα των δευτεροετών φοιτητών φαίνεται να είναι καλύτερα (58,1% σωστές απαντήσεις), όμως και εδώ ένα σημαντικό ποσοστό δεν απαντά στην ερώτηση (27,9%). Σημειώνεται επίσης ότι οι σωστές απαντήσεις δεν είναι πιο επιστημονικά διάτυπωμένες από τις απαντήσεις των πρωτοετών φοιτητών.

γ) Στις λανθασμένες απαντήσεις παρατηρείται σύγχυση ανάμεσα στα υποατομικά σωματίδια, αναφέρεται ο όρος πολυατομικά αντί πολυηλεκτρονικά, καθώς και ανάμεσα στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας και τα συνολικά ηλεκτρόνια ενός ατόμου. Ούτε από εδώ απουσιάζει ο Bohr, στη θεωρία του οποίου βασίζεται η εξίσωση Schrödinger σύμφωνα με κάποιο φοιτητή.

δ) Οι διαφορές που παρατηρούνται στις σωστές απαντήσεις είναι στατιστικά σημαντικές, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY που παρατίθενται στους πίνακες 6.44 και 6.45. Αυτό οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στους δευτεροετείς φοιτητές του TX2 και τους φοιτητές του TY.

Πίνακας 6.44: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 11.

Ερώτηση 11					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11,893	3	3,964	4,313	,006
Within Groups	150,750	164	,919		
Total	162,643	167			

Πίνακας 6.45 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 11.

Dependent Variable: Ερώτηση 11

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,08	,203	,980	-,61	,45
	3	,40	,217	,252	-,16	,96
	4	-,37	,207	,277	-,91	,16
2	1	,08	,203	,980	-,45	,61
	3	,48	,213	,114	-,07	1,03
	4	-,29	,203	,475	-,82	,23
3	1	-,40	,217	,252	-,96	,16
	2	-,48	,213	,114	-1,03	,07
	4	-,77*	,217	,003	-1,34	-,21
4	1	,37	,207	,277	-,16	,91
	2	,29	,203	,475	-,23	,82
	3	,77*	,217	,003	,21	1,34

*. The mean difference is significant at the .05 level.



Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Επειδή στο άτομο του υδρογόνου υπάρχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο, ενώ στα άλλα άτομα υπάρχουν και άλλα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν και απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους.» (TY-3)

«Γιατί δε λαμβάνει υπόψη την άπωση μεταξύ των ηλεκτρονίων» (TX-35)

«Γιατί στο υδρογόνο υπάρχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο, ενώ στα υπόλοιπα υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων που εμποδίζουν τον ακριβή υπολογισμό.» (TX-18)

«Διότι τα άλλα άτομα διαθέτουν περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια» (TY-15)

B. Λανθασμένες απαντήσεις:

«Η εξίσωση Schrödinger λύεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου και όλα τα υδρογονοειδή, δηλαδή τα άτομα που στην εξωτερική τους στοιβάδα έχουν ένα μονήρες ηλεκτρόνιο. Για τα άλλα άτομα, που στην εξωτερική στοιβάδα έχουν περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια, δεν είναι δυνατόν να λυθεί διότι δεν έχουν ίδιες χημικές ιδιότητες.» (TB-31)

«Διότι το άτομο του υδρογόνου έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο και ασχολήθηκε με αυτό, [ο Schrödinger], δεχόμενος τη θεωρία του Bohr, η οποία είχε κάποιες αυθαιρεσίες. Για άτομα με περισσότερα ηλεκτρόνια δεν ισχύει ακριβώς διότι δεν τα μελέτησε.» (TX-22)

«Η εξίσωση Schrödinger λύνεται συναρτήσει της απόστασης του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα, αυτό όμως δεν είναι δυνατό να το γνωρίζουμε για όλα τα άτομα και γι' αυτό βρίσκεται κατά προσέγγιση.» (TX-17)

«Η εξίσωση Schrödinger ισχύει μόνο για το άτομο του υδρογόνου και αυτό γιατί ισχύει για άτομα που έχουν λίγα ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στοιβάδα.» (TX-8)

«Λόγω των ιδιαιτεροτήτων του ατόμου του υδρογόνου.» (TY-9)

«Διότι είναι πολυατομικό» (TY-28)

«Δεν έχει έννοια η εξίσωση Schrödinger επειδή μόνο το τετράγωνο της εξίσωσης έχει φυσική έννοια» (TY-19)

«Δεν λύνεται στην περίπτωση των άλλων ατόμων γιατί είναι πολυατομικά ενώ το άτομο του υδρογόνου δεν είναι.» (TX2-6)

Ερώτηση 12: Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα" Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

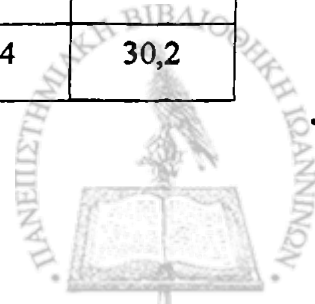
Πρόκειται για μια απλή ερώτηση γνώσεως, εικόνες τροχιακών με στιγμές ή διαβαθμίσεις χρωμάτων υπάρχουν και στα τέσσερα σχολικά εγχειρίδια. Στόχος της ερώτησης αυτής ήταν να ευαισθητοποιήσει τους φοιτητές στον τρόπο παράστασης των τροχιακών, ώστε να βοηθηθούν στην απάντηση της επόμενης ερώτησης. Τα αποτελέσματα στην ερώτηση 12 παρατίθενται στους επόμενους πίνακες 6.46 και 6.47.

Πίνακας 6.46: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 12.

Απάντηση	Τμήμα				
	TX	TB	TY	Σύνολο	TX2
1. Σωστή απάντηση	29	34	18	81	24
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	9	7	5	21	6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	5	5	13	23	13
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.47: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 12.

Απάντηση	Τμήμα				
	TX	TB	TY	Σύνολο	TX2
1. Σωστή απάντηση	67,5	73,9	50,0	64,8	55,8
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	20,9	15,2	13,9	16,8	14,0
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	11,6	10,9	36,1	18,4	30,2



Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι ένα σημαντικό ποσοστό φοιτητών από 50 μέχρι και 74% απαντά σωστά στην ερώτηση αυτή.

β) Στις περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις γίνεται αναφορά στο ηλεκτρονικό νέφος, χωρίς όμως να δίνεται απάντηση στο ερώτημα πως αυτό πρέπει να σχεδιασθεί.

γ) Οι διαφορές που παρατηρούνται στις επιδόσεις όλων των φοιτητών στην ερώτηση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντικές όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY που παρατίθενται στους πίνακες 6.48 και 6.49.

Πίνακας 6.48: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 12.

Ερώτηση 12

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5,836	3	1,945	2,103	,102
Within Groups	151,664	164	,925		
Total	157,500	167			

Πίνακας 6.49 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 12.

Dependent Variable: Ερώτηση 12

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,13	,204	,921	-,66	,40
	3	,35	,217	,378	-,22	,91
	4	,23	,207	,677	-,31	,77
2	1	,13	,204	,921	-,40	,66
	3	,48	,214	,118	-,08	1,03
	4	,36	,204	,289	-,17	,89
3	1	-,35	,217	,378	-,91	,22
	2	-,48	,214	,118	-1,03	,08
	4	-,12	,217	,950	-,68	,45
4	1	-,23	,207	,677	-,77	,31
	2	-,36	,204	,289	-,89	,17
	3	,12	,217	,950	-,45	,68

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Πρέπει να δείχνεται με πιο εξασθενημένο χρώμα ή ακόμα και πιο αραιές κουκίδες.» (TX-11)

«Σε μεγάλες αποστάσεις θα πρέπει να υπάρχουν στίγματα (καθορισμού πιθανής θέσης του ηλεκτρονίου), ακόμα και αν είναι αραιά μεταξύ τους.» (TY-9)

«Ο χώρος κοντά στον πυρήνα είναι σημειωμένος πιο έντονα (πιο σκούρος), εκφράζοντας μεγαλύτερη πιθανότητα το ηλεκτρόνιο να βρίσκεται εκεί. Και όσο η απόσταση από τον πυρήνα μεγαλώνει, τόσο οι στιγμές (που εκφράζουν την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου στο χώρο) αραιώνουν.» (TY-6)

B. Λανθασμένες απαντήσεις:

«Θα πρέπει να σχεδιάζεται ένα συγκεκριμένο σχήμα, για το οποίο να γνωστοποιείται ότι εκεί μέσα υπάρχει 95% πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο» (TB-22)

«Με τη βοήθεια του ηλεκτρονιακού νέφους, μέσα στο οποίο υπάρχει η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου.» (TB-9)

«Το νέφος πρέπει να είναι πιο κοντά στον άξονα για να δηλώνεται έτσι πιο καλά το μέγεθος.» (TX-6)

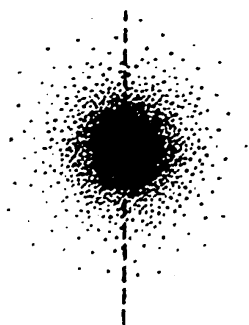
«Το μέγεθος των τροχιακών, που εξαρτάται από τον κύριο κβαντικό αριθμό, αποδίδεται με τη διαφορετική απεικόνιση σχημάτων, π.χ. το 1s τροχιακό συμβολίζεται με μικρότερο κύκλο απ' ότι το 2s. Η απεικόνιση όμως γίνεται στο περίπου γιατί η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται. Αυτό οφείλεται στο ότι αν ασκηθούν μεγάλες ηλεκτροστατικές δυνάμεις και δοθεί μεγάλη ενέργεια, υπάρχουν διεγερμένες καταστάσεις, όπου το ηλεκτρόνιο μπορεί να φτάσει πολύ μακριά από τον πυρήνα. Η μεγάλη αυτή απόσταση μπορεί να παρασταθεί πρακτικά με απεικόνιση του ηλεκτρονίου σε στιβάδες πολύ απομακρυσμένες από τον πυρήνα.» (TX-19)

«Το μέγεθος των τροχιακών καθορίζεται από τον κύριο κβαντικό αριθμό n , οπότε με βάση αυτόν θα πρέπει να σχεδιάζονται τα τροχιακά.» (TX-41)

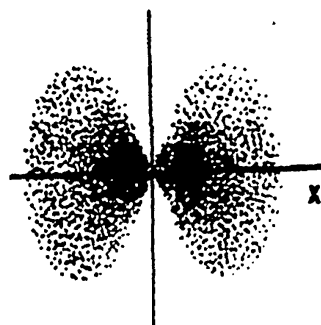
«Με τη βοήθεια του ηλεκτρονιακού νέφους.» (TY-5)



Ερώτηση 13: Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Πρόκειται για μια ερώτηση κρίσεως. Με αυτήν αναμένουμε οι φοιτητές, έχοντας ήδη ευαισθητοποιηθεί από την ερώτηση 12, να αναφέρουν ότι η εικόνα στο σχήμα 2 είναι λανθασμένη αφού δείχνει το ηλεκτρονιακό νέφος με σαφή όρια. Η σωστή ή μη απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι και ένα μέτρο του πόσο έχουν κατανοήσει το γεγονός ότι “η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα”

Στους πίνακες 6.50 και 6.51 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα στην ερώτηση αυτή.

Πίνακας 6.50: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 13.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	15	22	10	47	12
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	20	17	13	50	22
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	8	7	13	28	9
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.51: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 13.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	34,9	47,8	27,8	37,6	27,9
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	46,5	37,0	36,1	40,0	51,2
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	18,6	15,2	36,1	22,4	20,9

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Παρατηρούμε ότι οι φοιτητές που απαντούν σωστά σε αυτήν την ερώτηση είναι περίπου οι μισοί από όσους απάντησαν σωστά στην προηγούμενη ερώτηση. Ενώ οι λανθασμένες απαντήσεις είναι περισσότερες από τις σωστές.

β) Στις λανθασμένες απαντήσεις αρκετοί φοιτητές αποδίδουν τις διαφορές στα σχήματα στη διαφορετική φύση των δύο τροχιακών (s και p), ενώ άλλοι εστιάζουν την προσοχή τους σε άλλα σημεία των σχημάτων. Σε κάποιες απαντήσεις παρατηρείται ταύτιση ανάμεσα στην p υποστιβάδα και στο p τροχιακό, ενώ σε άλλες αποδίδονται ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά στα ηλεκτρόνια. Τέλος πολλοί φοιτητές, ενώ παρατηρούν τη σωστή διαφορά στα δύο σχήματα και εστιάζουν σε αυτήν την προσοχή τους, είτε θεωρούν λανθασμένο το σχήμα 1, είτε προσπαθούν να τη δικαιολογήσουν.

γ) Οι διαφορές που παρατηρούνται στις επιδόσεις όλων των φοιτητών σε αυτήν την ερώτηση δεν είναι στατιστικά σημαντικές, όμως είναι αξιοσημείωτη η ιδιαίτερα μικρή επίδοση καθώς και ο μεγάλος αριθμός λανθασμένων απαντήσεων των δευτεροετών φοιτητών του ΤΧ2. Στους πίνακες 6.52 και 6.53 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY για την ερώτηση αυτή.



Πίνακας 6.52: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 13.

Ερώτηση 13

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,643	3	1,548	1,709	,167
Within Groups	148,476	164	,905		
Total	153,119	167			

Πίνακας 6.53 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 13.

Dependent Variable: Ερώτηση 13

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,26	,202	,575	-,78	,27
	3	,14	,215	,911	-,42	,70
	4	,14	,205	,905	-,39	,67
2	1	,26	,202	,575	-,27	,78
	3	,40	,212	,235	-,15	,95
	4	,40	,202	,202	-,13	,92
3	1	-,14	,215	,911	-,70	,42
	2	-,40	,212	,235	-,95	,15
	4	,00	,215	1,000	-,56	,56
4	1	-,14	,205	,905	-,67	,39
	2	-,40	,202	,202	-,92	,13
	3	,00	,215	1,000	-,56	,56

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Στο σχήμα 2 υπάρχει λάθος γιατί θα έπρεπε να υπήρχαν στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, όπως στο σχήμα 1, διότι η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα.» (TY-7)

«Το σχήμα 1 είναι σωστό γιατί μας δίνει πιθανές θέσεις εύρεσης ενός ηλεκτρονίου σωστά (μεγάλη πυκνότητα κοντά στον πυρήνα, μικρότερη πιο μακριά).

Το σχήμα 2 είναι λάθος γιατί ενώ δίνει τις πιθανές θέσεις των ηλεκτρονίων, τις περιορίζει σ' ένα συγκεκριμένο χώρο.» (TX-2)

«Στο σχήμα 2 το ηλεκτρονιακό νέφος φαίνεται συγκεντρωμένο σε ένα συγκεκριμένο χώρο, κάτι που κατά την άποψη μου είναι λάθος διότι το ηλεκτρονιακό νέφος δεν μπορεί να συγκεκριμενοποιηθεί. Δεν είναι κάτι σταθερό αλλά δείχνει πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου ακόμα και σε χώρο μακριά από τον πυρήνα.» (TB-8)

B. Λανθασμένες απαντήσεις:

«Όχι, στην περίπτωση που έχουμε s τροχιακό το σχήμα είναι κυκλικό, ενώ στο p τροχιακό σχηματίζονται δύο λοβοί.» (TY-5)

«Τα δύο σχήματα είναι σωστά γιατί το πρώτο αναφέρεται σε s τροχιακό (κυκλικό σχήμα) και το δεύτερο σε p τροχιακό (λοβοί) και μάλιστα η ηλεκτρονική πυκνότητα είναι μεγαλύτερη στις περιοχές κοντά στον πυρήνα και μικρότερη στις περιοχές μακριά από αυτόν.» (TB-9)

«Το λάθος είναι στο σχήμα 2 αφού η πιθανότητα εύρεσης ηλεκτρονίου στα p τροχιακά είναι μέγιστη μακριά από τον πυρήνα και ελάχιστη κοντά στον πυρήνα.» (TB-20)

«Όχι, δεν υπάρχει κανένα λάθος σε αυτά τα δύο τροχιακά. Απλά στο δεύτερο, που παριστάνει ένα $2p$ τροχιακό, η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου κοντά στον πυρήνα είναι μηδενική.» (TX2-10)

«Σωστά είναι και τα δύο. Στο σχήμα 1, όπου παριστάνει το ηλεκτρονιακό νέφος του τροχιακού $1s$, τα ηλεκτρόνια δεν έχουν τη διάθεση να βρίσκονται κοντά στον πυρήνα. Αντίθετα με το σχήμα 2, όπου τα ηλεκτρόνια έχουν τη διάθεση (στο τροχιακό $2p$) να βρίσκονται κοντά στον πυρήνα.» (TB-37)

«Όχι, δεν υπάρχει κάποιο λάθος, απλώς τα ηλεκτρόνια τα οποία έχει ένα τροχιακό s είναι έως 2, ενώ ένα τροχιακό p έως 6. Γι' αυτό και οι κουκίδες στο σχήμα 2 είναι λιγότερο αραιές αφού στο σχήμα 2 υπάρχουν μεγαλύτερες πιθανότητες εύρεσης ηλεκτρονίων.» (TX-21)

«Άσχετα από το μέγεθος, τα τροχιακά έχουν κάποιο καθορισμένο σχήμα στο χώρο. Οπότε το σχήμα 1 του $1s$ είναι λανθασμένο.» (TY-1)

«Στο πρώτο σχήμα υπάρχει λάθος. Τα έξω σημεία δεν είναι του $1s$ τροχιακού.» (TB-44)

«Δεν υπάρχει κάποιο λάθος γιατί στο $1s$ τροχιακό το νέφος δεν είναι και τόσο καθορισμένο γι' αυτό και υπάρχουν και αραιές στιγμές, σε αντίθεση με το $2p$ τροχιακό όπου το νέφος είναι πιο καθορισμένο.» (TX2-11)



«Η ύπαρξη ηλεκτρονίων στο $2p$ προϋποθέτει ένα μεγάλο πυρήνα ο οποίος αυξάνει την έλξη και άρα τα ηλεκτρόνια δε θα μπορούν να απομακρυνθούν πολύ από τον πυρήνα.» (TX-35)

«Τα σχήματα δεν είναι λάθος γιατί σε ένα s τροχιακό είναι δυνατή η εύρεση ενός ηλεκτρονίου σε μεγάλη απόσταση από τον πυρήνα, ενώ σε ένα p τροχιακό δεν είναι δυνατή η εύρεση ηλεκτρονίου μακριά από τον πυρήνα.» (TX-28)

Ερώτηση 14: Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά τη γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;

Για τους πρωτοετείς φοιτητές πρόκειται για ερώτηση κρίσεως διότι τα μοριακά τροχιακά θίγονται ελάχιστα στη Γ' λυκείου και πάντως χωρίς καμία αναφορά σε μαθηματικές συναρτήσεις. Αντίθετα για τους δευτεροετείς φοιτητές η ερώτηση αυτή είναι ερώτηση γνώσεως, αφού διδάχθηκαν το αντικείμενο αυτό στα πλαίσια του μαθήματος της ανόργανης χημείας.

Σωστές απαντήσεις θεωρούνται εκείνες που απαντούσαν σωστά και στα δύο σκέλη της ερώτησης, αναφέρονταν δηλαδή τόσο στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα όσο και στον χημικό δεσμό, έστω και αν ο φοιτητής δεν ήταν σίγουρος αν αυτό μπορούσε να γίνει. Οι απαντήσεις που αναφέρονταν μόνο στο ένα σκέλος της ερώτησης θεωρήθηκαν ως εν μέρει σωστές.

Στους πίνακες 6.54 και 6.55 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα στην ερώτηση αυτή.

Πίνακας 6.54: Οι απαντήσεις των φοιτητών στην ερώτηση 14.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	8	15	3	26	7
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	2	3	4	9	8
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	15	15	3	33	14
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	18	13	26	57	14
Άθροισμα απαντήσεων	43	46	36	125	43

Πίνακας 6.55: Τα επί τοις εκατό ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 14.

Απάντηση	Τμήμα				
	ΤΧ	ΤΒ	ΤΥ	Σύνολο	ΤΧ2
1. Σωστή απάντηση	18,6	32,6	8,3	20,8	16,2
2. Εν μέρει σωστή απάντηση	4,7	6,5	11,1	7,2	18,6
3. Άσχετη-Λάθος απάντηση	34,9	32,6	8,3	26,4	32,6
4. Δεν ξέρει-δεν απαντά	41,8	28,3	72,3	45,6	32,6

Παρατηρήσεις – Σχόλια:

α) Πρόκειται, όπως έχει ήδη αναφερθεί για ένα θέμα που δε συζητήθηκε στην τάξη, γι' αυτό και το μεγάλο ποσοστό των φοιτητών που δεν απάντησαν ή απάντησαν λάθος στην ερώτηση αυτή. Η διατύπωση όμως της ερώτησης έδινε τη δυνατότητα σε όσους φοιτητές προβληματίζονταν γι' αυτή να "μαντέψουν" την απάντηση. Έτσι έχουμε ένα ποσοστό από 20 έως 40% σωστών και εν μέρει σωστών απαντήσεων ανάμεσα στους πρωτοετείς φοιτητές.

β. Από τα αποτελέσματα της ερώτησης αυτής φαίνεται και η μεγαλύτερη επιμέλεια με την οποία απάντησαν στις ερωτήσεις οι φοιτητές του ΤΒ, αφού το ποσοστό των σωστών και εν μέρει σωστών απαντήσεων των φοιτητών αυτών έφτανε το 39%.



γ. Αντίθετα με τους υπόλοιπους, οι δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2 είχαν διδαχθεί το αντικείμενο αυτό. Όμως οι σωστές και εν μέρει σωστές απαντήσεις που έδωσαν σε ποσοστό 16% και 18% αντίστοιχα δε διαφέρουν στατιστικά από τα αποτελέσματα των υπολοίπων φοιτητών. Σημειώνεται επίσης ότι από τις 15 σωστές και εν μέρει σωστές απαντήσεις υπάρχει πιο επιστημονική προσέγγιση στο θέμα, αναφέρονται π.χ. αντιδεσμικά τροχιακά, μόνο στις 6, ενώ οι υπόλοιποι 9 έχουν φρασεολογία παρόμοια με αυτή των πρωτοετών φοιτητών.

δ) Στις λανθασμένες απαντήσεις γίνεται φανερό ότι η ιδέα της αφαίρεσης ξενίζει αρκετούς φοιτητές. Πολλοί φοιτητές θεωρούν αυτήν την αφαίρεση ως αφαίρεση χώρων, με αποτέλεσμα ο χώρος που μένει να είναι μικρότερος και έτσι να αυξάνει η ηλεκτρονιακή πυκνότητα και να ισχυροποιείται ο δεσμός. Άλλοι φοιτητές θεωρούν την αφαίρεση ως ένα φαινόμενο το οποίο, για ορισμένους, συνοδεύεται με μεγάλες ενεργειακές μεταβολές, θετικές ή αρνητικές.

ε) Οι διαφορές που παρατηρούνται στις επιδόσεις όλων των φοιτητών σε αυτή την ερώτηση δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Στους πίνακες 6.56 και 6.57 που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ ANOVA και TUKEY για την ερώτηση αυτή.

Πίνακας 6.56: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 14.

Ερώτηση 14

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,236	3	1,412	2,232	,086
Within Groups	103,758	164	,633		
Total	107,994	167			

Πίνακας 6.57 : Τα αποτελέσματα του τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Tukey μεταξύ όλων των φοιτητών για την ερώτηση 14.

Dependent Variable: Ερώτηση 14

Tukey HSD

(I) Τμήμα	(J) Τμήμα	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,30	,169	,291	-,74	,14
	3	,14	,180	,862	-,33	,61
	4	-,09	,172	,948	-,54	,35
2	1	,30	,169	,291	-,14	,74
	3	,44	,177	,066	-,02	,90
	4	,21	,169	,615	-,23	,64
3	1	-,14	,180	,862	-,61	,33
	2	-,44	,177	,066	-,90	,02
	4	-,23	,180	,563	-,70	,23
4	1	,09	,172	,948	-,35	,54
	2	-,21	,169	,615	-,64	,23
	3	,23	,180	,563	-,23	,70

Ακολουθούν ενδεικτικές απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση αυτή.

A. Σωστές απαντήσεις:

«Η αφαίρεση θα είχε σαν αποτέλεσμα να ελαττωθεί η πιθανότητα εύρεσης ηλεκτρονίου κοντά στους πυρήνες και αντιστοίχως την εξασθένηση του χημικού δεσμού» (TX-17)

« Αν γινόταν αφαίρεση ατομικών τροχιακών, η ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων θα μειωνόταν, ενώ συγχρόνως ο χημικός δεσμός ή θα γινόταν πιο ασθενής ή θα λυόταν. » (TB-12)

«Όχι δε θα μπορούσε. Αν γινόταν, τότε δε θα ήταν ισχυροί οι χημικοί δεσμοί και η ηλεκτρονιακή πυκνότητα θα αραίωνε. » (TY-2)

«Θα μπορούσε να γίνει και αφαίρεση. Στην περίπτωση αυτή θα σχηματιζόταν αντιδεσμικό μοριακό τροχιακό, και μεταξύ των πυρήνων η πυκνότητα θα ήταν πολύ μικρή, ενώ ο σχηματισμός δεσμού δε θα ευνοούνταν. » (TX2-13)

«Αν γινόταν αφαίρεση, θα έπρεπε οι πυρήνες να μην είχαν ισχυρό ηλεκτρονιακό νέφος μεταξύ τους και ο χημικός δεσμός θα ήταν πολύ ασθενής.» (TX2-16)



Β. Εν μέρει σωστές απαντήσεις:

«Ναι, αλλά θα ελάττωνε την ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο.» (TX-42)

«Δεν πιστεύω ότι μπορεί να γίνει αφαίρεση των ατομικών τροχιακών, γιατί το τροχιακό υποδηλώνει μια πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου. Αφαίρεση πιθανοτήτων δε μπορεί να γίνει. Αν πάντως γινόταν, η πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους θα γινόταν μικρότερη.» (TB-9)

«Η αφαίρεση των ατομικών τροχιακών δίνει τα αντιδεσμικά τροχιακά. Ο χώρος μεταξύ των πυρήνων έχει μηδενική ηλεκτρονιακή πυκνότητα.» (TX2-4)

«Αν μπορούσε να γίνει θα γινόταν σπάσιμο των δεσμών. Γνωρίζουμε ότι από ένα ατομικό τροχιακό δημιουργείται μοριακό τροχιακό.» (TX2-9)

«Εάν γινόταν αφαίρεση, θα είχε ως αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε ασταθέστερα μόρια.» (TX2-26)

Γ. Λανθασμένες απαντήσεις:

«Η αφαίρεση είναι πρακτικά αδύνατη, γιατί κατά την αφαίρεση θα χαθεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας, τα τροχιακά θα αποδυναμωθούν.» (TX-13)

«Θα μπορούσε να γίνει και θα δημιουργούσε υβριδικά τροχιακά sp^1 , sp^2 κλπ όπως στους απλούς, διπλούς και τριπλούς ομοιοπολικούς δεσμούς.» (TB-10)

«Νομίζω ότι δε γίνεται, αλλά αν γινόταν ο δεσμός θα ισχυροποιούνταν και η ηλεκτρονιακή πυκνότητα θα αυξανόταν στο χώρο μεταξύ των πυρήνων.» (TB-21)

«Η αφαίρεση δύο ατομικών τροχιακών θα ήταν αδύνατη γιατί τα ατομικά τροχιακά είναι χώροι όπου μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο και όχι απλά αριθμοί που μπορούν να αφαιρεθούν.» (TB-26)

«Αν γινόταν αυτό, τότε στο χώρο μεταξύ των πυρήνων θα ήταν περισσότερες οι πιθανότητες να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, οπότε και οι χημικοί δεσμοί που θα σχηματίζονταν θα ήταν πιο ισχυροί.» (TY-6)

«Θα μπορούσε να γίνει αφαίρεση με αρνητικές συνέπειες π.χ. μεγάλα ποσά ενέργειας θα ελευθερώνονται $\Rightarrow$ εκρήξεις (Π.χ. διάσπαση νετρονίου – βόμβα νετρονίου.)» (TX2-3)

«Θα υπήρχε ένας χώρος κενός.» (TX2-5)

«Η πρόσθεση ατομικών τροχιακών ευνοείται ενεργειακά ενώ η αφαίρεση όχι.» (TX2-18)

«Δεν μπορεί να γίνει αφαίρεση γιατί αν έχουμε από ένα ατομικό τροχιακό δεν μπορεί να σχηματιστεί μοριακό αφού ($1-1=0$!)» (TX2-29)

«Θα απαιτούνταν πολύ υψηλές ενέργειες για να κινηθεί το ηλεκτρόνιο σε ένα τέτοιο χώρο αφού το μέγεθος του θα ήταν πολύ μικρό. Επίσης θα γνωρίζαμε περίπου τη θέση του που έρχεται σε αντίθεση με την αρχή του Heisenberg.» (TX2-39)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται συγκριτική παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων για τις σχετιζόμενες ερωτήσεις, για τις παρόμοιες θεματολογικά-εννοιολογικά ερωτήσεις. Επίσης γίνεται προσπάθεια συσχετισμού των επιδόσεων των πρωτοετών φοιτητών με τα αποτελέσματα των πανελλαδικών εξετάσεων.

Α. Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετιζόμενων ερωτήσεων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μερικές ερωτήσεις απαιτούν για να απαντηθούν απλή επιφανειακή γνώση της ύλης, ενώ άλλες απαιτούν βαθύτερη γνώση, νοηματική κατανόηση και/ή κριτική ικανότητα. Ορισμένες μάλιστα απλές ερωτήσεις μπορούν να συνδυασθούν ή να αποτελέσουν τη βάση για την απάντηση των πιο απαιτητικών ερωτήσεων. Οι ερωτήσεις αυτές παρουσιάζονται ανά ζεύγη στη συνέχεια.

Ερωτήσεις 2 και 3:

2. Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου.

3. Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;

Οι δύο αυτές ερωτήσεις αναφέρονται στην ενέργεια των υποστιβάδων. Στην ερ. 2 ζητείται απλώς να εφαρμοσθεί ένας αλγόριθμος που οι φοιτητές γνωρίζουν και πιθανότατα έχουν εφαρμόσει αρκετές φορές ενώ, στην ερ. 3 απαιτείται βαθύτερη γνώση. Πρέπει δηλαδή να γνωρίζουν από τι εξαρτάται η ενέργεια μιας υποστιβάδας και πώς αυτό εφαρμόζεται στην περίπτωση του υδρογόνου.



Τα αποτελέσματα που έχουν ήδη εκτεθεί (κεφ. 6), δείχνουν μια σαφή διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις. Έτσι ενώ η απόδοση στην ερ. 2 μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για την ερ. 3, όπου η επίδοση είναι πολύ χαμηλή. Σημειώνεται ότι το 83% των πρωτοετών φοιτητών που απάντησαν σωστά στην ερ. 3 είχαν απαντήσει σωστά και στην ερ. 2. Σωστά στην ερ. 2 απάντησε και ο μοναδικός δευτεροετής φοιτητής που απάντησε σωστά στην ερ. 3. Η διαφορά στην επίδοση είναι στατιστικά σημαντική, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA στους πίνακες 7.1 και 7.2 για τους πρωτοετείς και δευτεροετείς φοιτητές αντίστοιχα.

Πίνακας 7.1: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 2 και 3, πρωτοετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 2 και 3, πρωτοετείς

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	94,864	1	94,864	163,431	,000
Within Groups	143,952	248	,580		
Total	238,816	249			

Πίνακας 7.2: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 2 και 3, δευτεροετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 2 και 3, δευτεροετείς φοιτητές

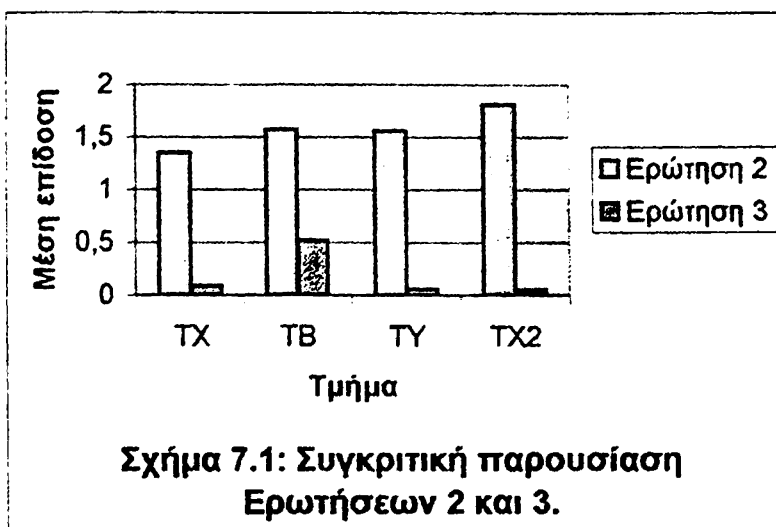
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	67,163	1	67,163	306,303	,000
Within Groups	18,419	84	,219		
Total	85,581	85			

Η διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις φαίνεται τόσο στον πίνακα 7.3 με τα περιγραφικά στατιστικά που ακολουθεί, όσο και στο ιστόγραμμα του σχήματος 7.1 όπου εμφανίζεται η μέση επίδοση στις ερωτήσεις 2 και 3 χωριστά για κάθε τμήμα.



Πίνακας 7.3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις ερωτήσεις 2 και 3.

	N	Mean	Std. Deviation
Ερώτηση 2, TX	43	1,35	,948
Ερώτηση 2, TB	46	1,57	,834
Ερώτηση 2, TY	36	1,56	,843
Ερώτηση2, TX2	43	1,81	,588
Ερώτηση 3, TX	43	,09	,366
Ερώτηση 3, TB	46	,52	,836
Ερώτηση 3, TY	36	,06	,333
Ερώτηση 3, TX2	43	,05	,305
Valid N (listwise)	36		



Ερωτήσεις 4 και 5:

4. Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου;

5. Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετράεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $H\hat{C}H$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Στην ερώτηση 4 ζητείται να βρεθεί η ηλεκτρονιακή δομή του C_7 , κάτι που ο φοιτητής μπορεί να βρει εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο που ήδη συνάντησε στην ερ. 2, αρκεί να γνωρίζει πόσα ηλεκτρόνια μπαίνουν σε κάθε υποστιβάδα. Για να βρει τα μονήρη ηλεκτρόνια αρκεί να εφαρμόσει τον κανόνα του Hund. Οι φοιτητές αναμένεται να είναι εξοικειωμένοι με τέτοιες ασκήσεις που βρίσκονται και στα τέσσερα σχολικά εγχειρίδια. Στην ερ. 5 αφού ο φοιτητής διαπιστώσει ότι στη θεμελιώδη δομή ο άνθρακας έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια, θα πρέπει να αντιμετωπίσει κριτικά το γεγονός αυτό και να πει ότι δε συμφωνεί με τους τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς που σχηματίζει ο άνθρακας.

Τα αποτελέσματα στις δύο ερωτήσεις, όπως έχουν ήδη εκτεθεί, δείχνουν μια σαφή διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις. Εξαιρέση αποτελεί η επίδοση των δευτεροετών φοιτητών του ΤΧ2 των οποίων η επίδοση στις δύο ερωτήσεις δε διαφέρει στατιστικά. Έτσι, η απόδοση των πρωτοετών φοιτητών, παρά τις επί μέρους διαφορές που αυτοί παρουσιάζουν, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική για την ερ. 4, ενώ δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο για την ερ.5, όπου η επίδοση είναι χαμηλή. Σημειώνεται ότι το 86% των πρωτοετών φοιτητών και το 97% των δευτεροετών φοιτητών που απάντησαν σωστά στην ερ. 5 είχαν απαντήσει σωστά και στην ερ. 4. Η διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις για τους πρωτοετείς φοιτητές είναι στατιστικά σημαντική, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA στον πιο κάτω πίνακα 7.4.

Η διαφορά που παρουσιάζουν οι δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2, των οποίων η επίδοση και στις δύο ερωτήσεις είναι στατιστικά όμοια (τεστ ANOVA, πίνακας 7.5), μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική τους χημική παιδεία, δεδομένου ότι με την περίπτωση του άνθρακα έχουν ασχοληθεί τόσο στα μαθήματα ανόργανης χημείας όσο και στα μαθήματα οργανικής χημείας.

Πίνακας 7.4: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 4 και 5, πρωτοετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 4 και 5, πρωτοετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	57,600	1	57,600	90,926	,000
Within Groups	157,104	248	,633		
Total	214,704	249			



Πίνακας 7.5: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 4 και 5, δευτεροετείς φοιτητές.

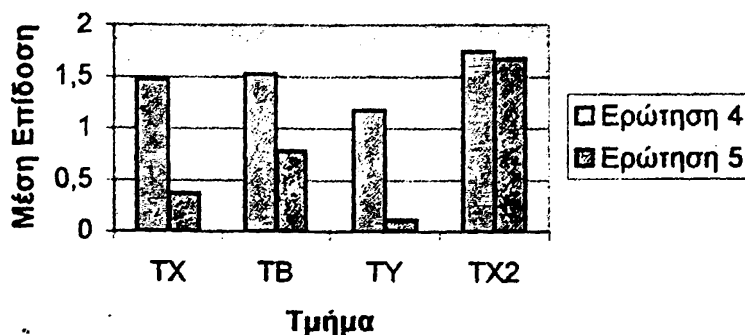
Συγκριση ερωτήσεων 4 και 5, δευτεροετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,105	1	,105	,261	,610
Within Groups	33,628	84	,400		
Total	33,733	85			

• Η διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις φαίνεται τόσο στον πίνακα 7.6 με τα περιγραφικά στατιστικά που ακολουθεί, όσο και στο ιστόγραμμα του σχήματος 7.2 όπου εμφανίζεται η μέση επίδοση στις ερωτήσεις 4 και 5 χωριστά για κάθε τμήμα..

Πίνακας 7.6: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις ερωτήσεις 4 και 5.

	N	Mean	Std. Deviation
Ερώτηση 4, TX	43	1,4651	,76684
Ερώτηση 4, TB	46	1,5217	,65791
Ερώτηση 4, TY	36	1,1944	,82183
Ερώτηση 4, TX2	43	1,7442	,49247
Ερώτηση 5, TX	43	,3721	,78750
Ερώτηση 5, TB	46	,7826	,98687
Ερώτηση 5, TY	36	,1111	,46462
Ερώτηση 5, TX2	43	1,6744	,74709
Valid N (listwise)	36		



Σχήμα 7.2: Συγκριτική παρουσίαση Ερωτήσεων 4 και 5

Ερωτήσεις 6 και 7:

6. Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.

7. Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε από που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε την σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β.

Με τις δύο αυτές ερωτήσεις διερευνάται η γνώση (ερ. 6) και η κατανόηση (ερ. 7) της αρχής της αβεβαιότητας. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η ερ. 7 είναι μια ερώτηση διπλής επιλογής κάτι που εισάγει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα τυχαίας απάντησης. Στο γεγονός αυτό αποδίδεται και η καλύτερη επίδοση που παρατηρείται στην ερ. 7 σε σχέση με την ερ. 6 σε δύο από τα τέσσερα τμήματα. Φαίνεται δηλαδή ότι ενώ κάποιοι φοιτητές στα τμήματα αυτά δε γνωρίζουν την αρχή της αβεβαιότητας, εμφανίζονται να γνωρίζουν που οφείλεται. Η ερώτηση αυτή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, συμπεριλήφθηκε στο ερωτηματολόγιο για να δοθεί η δυνατότητα διεξοδικής συζήτησης του θέματος στις συνεντεύξεις που θα ακολουθούσαν.

Η μόνη στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα, στις ερ. 6 και 7 παρατηρείται ανάμεσα στους φοιτητές του ΤΒ, όπως φαίνεται από το σχετικό τεστ ANOVA που παρατίθεται στον πίνακα 7.7. Αντίθετα στο σύνολο των πρωτοετών και δευτεροετών φοιτητών δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διάφορα (πίνακες 7.8 και 7.9 αντίστοιχα). Σημειώνεται επίσης ότι το 63% των πρωτοετών φοιτητών και το 66% των δευτεροετών φοιτητών που απάντησαν σωστά στην ερ. 7 είχαν απαντήσει σωστά και στην ερ. 6. Τα ποσοστά αυτά, σαφώς χαμηλότερα από τις άλλες ερωτήσεις, είναι ενδεικτικά του τυχαίου τρόπου απάντησης της ερ. 7.



Πίνακας 7.7: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 6 και 7 για το TB.

Σύγκριση ερωτήσεων 6 και 7 για το TB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4,348	1	4,348	4,611	,034
Within Groups	84,870	90	,943		
Total	89,217	91			

Πίνακας 7.8: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 6 και 7, πρωτοετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 6 και 7, πρωτοετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,784	1	,784	,805	,370
Within Groups	241,472	248	,974		
Total	242,256	249			

Πίνακας 7.9: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 6 και 7, δευτεροετείς φοιτητές.

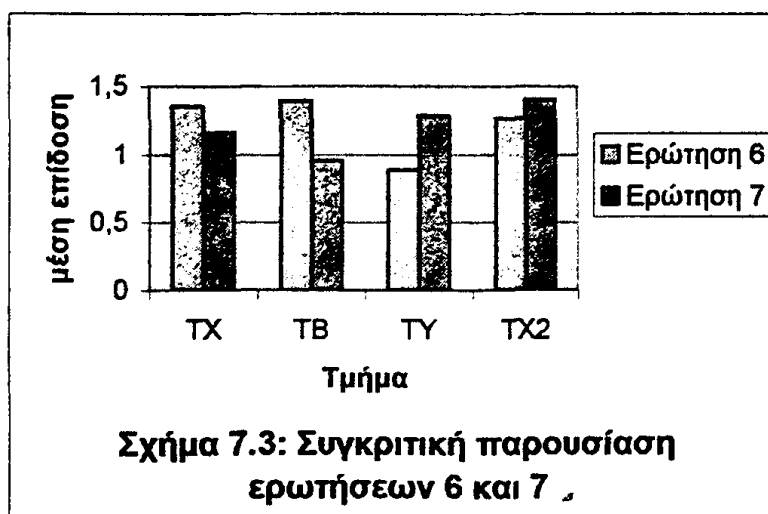
Σύγκριση ερωτήσεων 6 και 7, δευτεροετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,419	1	,419	,460	,500
Within Groups	76,465	84	,910		
Total	76,884	85			

Οι διαφορές στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις φαίνονται τόσο στον πίνακα 7.10 με τα περιγραφικά στατιστικά που ακολουθεί, όσο και στο ιστόγραμμα του σχήματος 7.3 όπου εμφανίζεται η μέση επίδοση στις ερωτήσεις 6 και 7 χωριστά για κάθε τμήμα.

Πίνακας 7.10: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις ερωτήσεις 6 και 7.

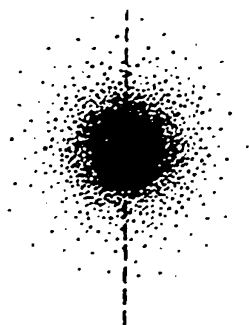
	N	Mean	Std. Deviation
Ερώτηση 6, TX	43	1,35	,948
Ερώτηση 6, TB	46	1,39	,930
Ερώτηση 6, TY	36	,89	1,008
Ερώτηση 6, TX2	43	1,26	,978
Ερώτηση 7, TX	43	1,16	,998
Ερώτηση 7, TB	46	,96	1,010
Ερώτηση 7, TY	36	1,28	,974
Ερώτηση 7, TX2	43	1,40	,929
Valid N (listwise)	36		



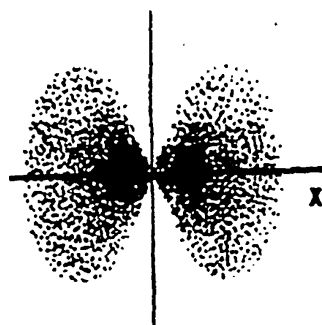
Ερωτήσεις 12 και 13:

12. Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα" Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

13. Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Με την ερ. 12, που είναι μια ερώτηση γνώσεως, επιχειρείται να ευαισθητοποιηθούν οι φοιτητές στον τρόπο απεικόνισης των τροχιακών, ώστε να αντιληφθούν το λάθος που υπάρχει στο σχήμα 2 της ερ. 13 όπου το τροχιακό $2p$ σχεδιάζεται με σαφώς καθορισμένα όρια.

Τα αποτελέσματα που έχουν ήδη εκτεθεί δείχνουν μια σαφή διαφορά στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις. Έτσι ενώ η απόδοση στην ερ. 12 μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για την ερ. 13 όπου η επίδοση είναι χαμηλή. Σημειώνεται ότι το 79% των πρωτοετών φοιτητών και το 75% των δευτεροετών φοιτητών που απάντησαν σωστά στην ερ. 13 είχαν απαντήσει σωστά και στην ερ. 12. Η διαφορά στην επίδοση είναι στατιστικά σημαντική, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA στους πίνακες 7.11 και 7.12 για τους πρωτοετείς και δευτεροετείς φοιτητές

αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι η μόνη διαφορά που δεν είναι στατιστικά σημαντική είναι η διαφορά που παρατηρείται στα αποτελέσματα του ΤΥ όπως φαίνεται από το τεστ ANOVA στον πίνακα 7.13. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη γενικά χαμηλή επίδοση των φοιτητών του ΤΥ στις δύο αυτές ερωτήσεις.

Πίνακας 7.11: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 12 και 13, πρωτοετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 12 και 13, πρωτοετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18,496	1	18,496	19,826	,000
Within Groups	231,360	248	,933		
Total	249,856	249			

Πίνακας 7.12: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 12 και 13, δευτεροετείς φοιτητές.

Σύγκριση ερωτήσεων 12 και 13, δευτεροετείς φοιτητές

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6,698	1	6,698	7,304	,008
Within Groups	77,023	84	,917		
Total	83,721	85			

Πίνακας 7.13: Τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA για τις ερωτήσεις 12 και 13 για το ΤΥ.

Σύγκριση ερωτήσεων 12 και 13 για το ΤΥ

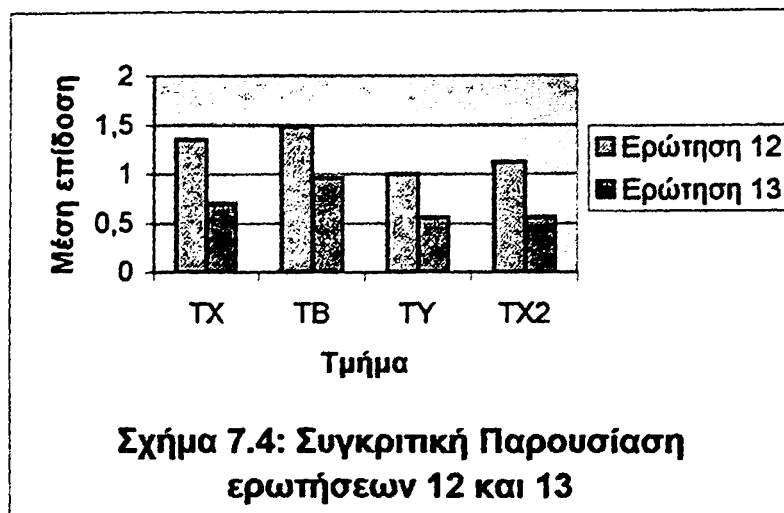
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,556	1	3,556	3,836	,054
Within Groups	64,889	70	,927		
Total	68,444	71			

Οι διαφορές στην επίδοση στις δύο αυτές ερωτήσεις φαίνεται τόσο στον πίνακα 7.14 με τα περιγραφικά στατιστικά που ακολουθεί όσο και στο ιστόγραμμα του σχήματος 7.4 όπου εμφανίζεται η μέση επίδοση στις ερωτήσεις 12 και 13 χωριστά για κάθε τμήμα.



Πίνακας 7.14: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις ερωτήσεις 12 και 13.

	N	Mean	Std. Deviation
Ερώτηση 12, TX	43	1,35	,948
Ερώτηση 12, TB	46	1,48	,888
Ερώτηση 12, TY	36	1,00	1,014
Ερώτηση 12, TX2	43	1,12	1,005
Ερώτηση 13, TX	43	,70	,964
Ερώτηση 13, TB	46	,96	1,010
Ερώτηση 13, TY	36	,56	,909
Ερώτηση 13, TX2	43	,56	,908
Valid N (listwise)	36		



Β. Σύγκριση επιδόσεων στις επιμέρους ερωτήσεις.

Τα αποτελέσματα σε κάθε ερώτηση όλων των πρωτοετών φοιτητών ελέγχθηκαν με τα στατιστικά τεστ ANOVA και TUKEY, όχι τόσο για να διαπιστωθεί η στατιστική συμφωνία όλων των ερωτήσεων μεταξύ τους, κάτι το οποίο έχει ήδη αποκλεισθεί από τη μελέτη των σχετιζομένων ερωτήσεων που προηγήθηκε, όσο για να ομαδοποιηθούν οι ερωτήσεις σε στατιστικά ομογενείς ομάδες.

Στην επεξεργασία αυτή δεν υποβλήθηκαν αρχικά τα αποτελέσματα των δευτεροετών φοιτητών του τμήματος χημείας, η συμπεριφορά των οποίων λόγω της διαφορετικής χημικής τους παιδείας διαφέρει σε ορισμένες ερωτήσεις. Στο τέλος αυτής της ανάλυσης, παρατίθενται για σύγκριση και τα αποτελέσματα στο τεστ TUKEY των δευτεροετών φοιτητών.

Στην συνέχεια παρατίθενται στον πίνακα 7.15 τα αποτελέσματα του τεστ TUKEY για τους πρωτοετείς φοιτητές.

Πίνακας 7.15: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για τους πρωτοετείς φοιτητές για τις ερωτήσεις 1-14.

Tukey HSD ^a					
Ερωτήσεις 1-14, πρωτοετείς φοιτητές	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
3	125	,24			
10	125	,26			
8	125	,27			
1	125	,34			
5	125	,45	,45		
14	125	,49	,49		
11	125		,70		
13	125		,75		
7	125			1,12	
9	125			1,18	1,18
6	125			1,23	1,23
12	125			1,30	1,30
4	125			1,40	1,40
2	125				1,49
Sig.		,565	,224	,353	,224

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 125,000.

Τα αποτελέσματα των πρωτοετών φοιτητών μπορούν, σύμφωνα με το τεστ Tukey να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομογενείς ομάδες ερωτήσεων.



Στις δύο πρώτες ομάδες, αυτές με τη χαμηλότερη βαθμολογία, περιλαμβάνονται ερωτήσεις για την απάντηση των οποίων απαιτείται είτε βαθύτερη κατανόηση της ύλης είτε κριτική προσέγγιση. Δύο από τις ερωτήσεις αυτές κατατάσσονται και στις δύο ομάδες.

Ανάμεσα στη δεύτερη και την τρίτη ομάδα υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός και καμία ερώτηση δε συμμετέχει και στις δύο αυτές ομάδες.

Στις δύο τελευταίες ομάδες, τρίτη και τέταρτη, κατατάσσονται συνολικά έξι ερωτήσεις από τις οποίες οι τέσσερις συμμετέχουν και στις δύο ομάδες. Στην τρίτη ομάδα περιλαμβάνεται η ερ. 7, που όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω της φύσης της, εμπεριέχει τον κίνδυνο της τυχαίας απάντησης, ενώ οι υπόλοιπες ερωτήσεις τόσο στην τρίτη όσο και στην τέταρτη ομάδα είναι απλές ερωτήσεις γνώσεων και εφαρμογής αλγορίθμων. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν η ερ. 7 απαλειφθεί από τη μελέτη αυτή, τότε ενώ στις δύο πρώτες ομάδες δεν παρατηρείται καμία αλλαγή, η τρίτη και η τέταρτη ομάδα συγχωνεύονται σε μια όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα 7.16.

Πίνακας 7.16: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για τους πρωτοετείς φοιτητές για τις ερωτήσεις 1-6 και 8-14.

Tukey HSD ^a				
Ερωτήσεις 1-6 και 8-14, πρωτοετείς φοιτητές	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
3	125	,24		
10	125	,26		
8	125	,27		
1	125	,34		
5	125	,45	,45	
14	125	,49	,49	
11	125		,70	
13	125		,75	
9	125			1,18
6	125			1,23
12	125			1,30
4	125			1,40
2	125			1,49
Sig.		,504	,184	,184

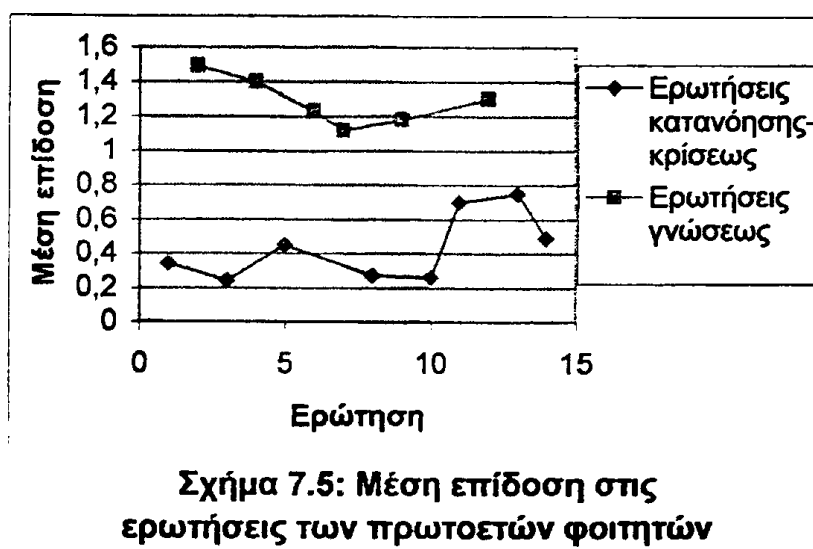
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 125,000.

Η σαφής διαφορά στην επίδοση των φοιτητών στις ερωτήσεις γνώσεως και στις ερωτήσεις κατανόησης-κρίσεως, που ήδη έχει επισημανθεί στην προηγούμενη παράγραφο,

γίνεται εμφανέστερη αν μελετηθεί η κατάταξη στις τρεις αυτές ομάδες όμοιων θεματολογικά ερωτήσεων. Για παράδειγμα των ερωτήσεων 2, 3, και 4 που αναφέρονται στην ενεργειακή κατάταξη των υποστιβάδων ή των ερωτήσεων 1, 8, 10, 12, 13 που αναφέρονται στη φύση και το σχήμα των τροχιακών. Τόσο στη μία όσο και στην άλλη περίπτωση, οι επιδόσεις σε ερωτήσεις βαθύτερης γνώσεως-κατανοήσεως είναι χαμηλές, σε αντίθεση με τις επιδόσεις στις ερωτήσεις γνώσεως και εφαρμογής απλών αλγορίθμων.

Στο σχήμα 7.5 που ακολουθεί φαίνεται παραστατικά η σαφής αυτή διαφορά στις επιδόσεις ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες ερωτήσεων.



Από την ανάλυση αυτή γίνεται φανερή και επιβεβαιώνεται στατιστικά η σαφώς καλύτερη επίδοση των φοιτητών στις απλές ερωτήσεις γνώσεως καθώς και στις αλγοριθμικές, σε σχέση με τις ερωτήσεις βαθύτερης γνώσεως-κατανοήσεως και κρίσεως. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την επιφανειακή-αλγοριθμική προσέγγιση που γίνεται στην ύλη του κεφαλαίου αυτού. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ανάμεσα στις απλές ερωτήσεις γνώσεως και τις αλγοριθμικές η επίδοση ήταν καλύτερη στις απλές αλγοριθμικές ερωτήσεις, η διαφορά βέβαια δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Σε αντίθεση με τους πρωτοετείς φοιτητές όπου οι ερωτήσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις (ή ακόμη και τρεις ομογενείς ομάδες αν εξαιρέσουμε την ερ. 7), στην περίπτωση των δευτεροετών φοιτητών οι επιδόσεις από ερώτηση σε ερώτηση διαφέρουν τόσο, ώστε να απαιτούνται έξι ομογενείς ομάδες. Κάποιες βέβαια ερωτήσεις

κατατάσσονται σε περισσότερες από μια ομάδες. Σημειώνεται ότι και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται υψηλή βαθμολογία σε ερωτήσεις γνώσεως σε αντίθεση με τις ερωτήσεις βαθύτερης γνώσεως-κατανόησης και κρίσεως όπου οι επιδόσεις είναι μικρές.

Στη συνέχεια παρατίθενται στον πίνακα 7.17 τα αποτελέσματα του τεστ TUKEY για τους δευτεροετείς φοιτητές.

Πίνακας 7.17: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για τους δευτεροετείς φοιτητές για τις ερωτήσεις 1-14.

Tukey HSD ^a		Subset for alpha = .05					
Ερωτήσεις 1-14, δευτεροετείς φοιτητές	N	1	2	3	4	5	6
3	43	,05					
10	43	,05					
8	43	,14					
14	43	,51	,51				
13	43	,56	,56	,56			
1	43		1,02	1,02	1,02		
9	43			1,12	1,12	1,12	
12	43			1,12	1,12	1,12	
11	43				1,16	1,16	
6	43				1,26	1,26	1,26
7	43				1,40	1,40	1,40
5	43					1,67	1,67
4	43						1,74
2	43						1,81
Sig.		,148	,148	,071	,653	,071	,071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 43,000.

Γ. Διερεύνηση σχέσεων με τις επιδόσεις στις πανελλαδικές εξετάσεις.

Γίνεται στη συνέχεια διερεύνηση ύπαρξης σχέσεων ανάμεσα στην επίδοση στο τεστ, τόσο τη συνολική όσο και χωριστά στις ερωτήσεις κρίσεως και γνώσεως, και στα μόρια εισαγωγής, και τους βαθμούς στις εξετάσεις στα μαθήματα της χημείας και της φυσικής. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι συντελεστές Pearson. Είναι βέβαια γεγονός ότι ο συντελεστής Pearson απαιτεί γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές. Σε περίπτωση που οι σχέσεις είναι μη γραμμικές, ο συντελεστής εμφανίζεται μικρότερος από ότι είναι στην πραγματικότητα, η σχέση δηλαδή εμφανίζεται πιο αδύνατη (Κατσίλλης, 1997). Στο ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να οδηγήσει και το μικρό εύρος τιμών της μιας ή και των δύο μεταβλητών (Ζαχαροπούλου, 1998). Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων αυτών παρατίθενται στους πιο κάτω πίνακες 7.18, 7.19 και 7.20.

Σημειώνεται ότι σχέσεις με συντελεστές από 0 μέχρι 0,30 χαρακτηρίζονται αδύνατες, από 0,31 μέχρι 0,60 μέτριες και από 0,61 μέχρι 1,00 ισχυρές (Κατσίλλης 1997).

Πίνακας 7.18: Συσχέτιση συνολικής βαθμολογίας με τα μόρια εισαγωγής, το βαθμό στη Χημεία και το βαθμό στη φυσική στη Φυσική

Correlations

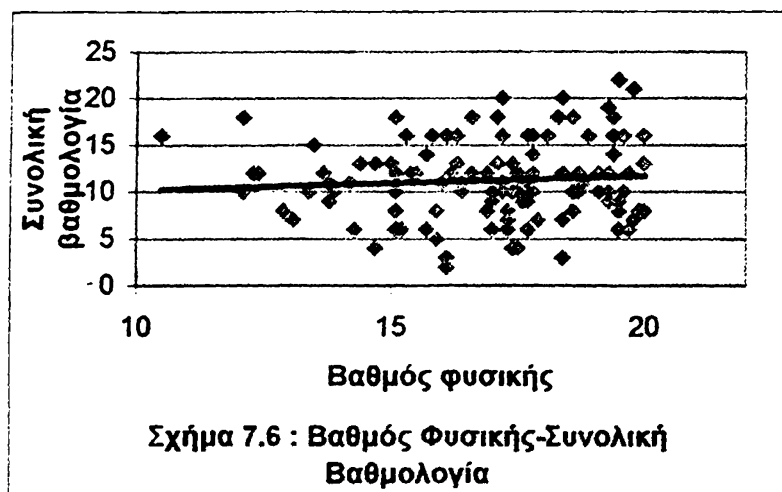
	Συνολική βαθμολογία πρωτοετών	Μόρια εισαγωγής	Βαθμός Χημείας	Βαθμός Φυσικής
Συνολική βαθμολογία	1	,406**	,254**	,076
Πρωτοετών		,000	,006	,420
N	114	114	114	114

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα υπάρχει μια στατιστικά σημαντική θετική σχέση ανάμεσα στη συνολική βαθμολογία και τα μόρια εισαγωγής. Η σχέση αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μέτρια. Υπάρχει επίσης και μια στατιστικά σημαντική, θετική αλλά αδύνατη σχέση, ανάμεσα στη συνολική βαθμολογία και το βαθμό στη χημεία. Τέλος φαίνεται να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στη συνολική βαθμολογία και το βαθμό στη φυσική. Η απουσία συσχέτισης ανάμεσα στις δύο τελευταίες μεταβλητές αποδίδεται στην παντελή έλλειψη γραμμικής συμμεταβολής των δύο μεταβλητών, η οποία είναι απαραίτητη



προϋπόθεση για ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα στο τεστ Pearson. Στο σχήμα 7.6 που ακολουθεί φαίνεται αυτή η έλλειψη γραμμικότητας.



Πίνακας 7.19: Συσχέτιση της βαθμολογίας στις ερωτήσεις γνώσεως με τα μόρια εισαγωγής, το βαθμό στη Χημεία και το βαθμό στη Φυσική

Correlations

		Συνολική βαθμολογία α-Γνώση	Μόρια εισαγωγής	Βαθμός Χημείας	Βαθμός Φυσικής
Συνολική βαθμολογία-Γνώση	Pearson Correlation	1	,284**	,299**	,087
	Sig. (2-tailed)		,002	,001	,357
	N	114	114	114	114

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα υπάρχει μια στατιστικά σημαντική θετική σχέση ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις γνώσεως και τα μόρια εισαγωγής, που όμως σε αυτήν την περίπτωση είναι αδύνατη. Αδύνατη αλλά ισχυρότερη από την προηγούμενη περίπτωση είναι η σχέση ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις γνώσεως και το βαθμό στη χημεία. Τέλος, όπως και με τη συνολική βαθμολογία, δεν υπάρχει και σε αυτήν την περίπτωση στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις γνώσεως και το βαθμό στη φυσική. Η απουσία συσχέτισης ανάμεσα στις δύο τελευταίες μεταβλητές αποδίδεται και σε αυτήν την περίπτωση στην παντελή έλλειψη γραμμικής συμμεταβολής των δύο μεταβλητών.

Πίνακας 7.20: Συσχέτιση της βαθμολογίας στις ερωτήσεις κρίσεως με τα μόρια εισαγωγής, το βαθμό στη Χημεία και το βαθμό στη φυσική στη Φυσική

Correlations

		Συνολική βαθμολογία α-Κρίση	Μόρια εισαγωγής	Βαθμός Χημείας	Βαθμός Φυσικής
Συνολική	Pearson Correlation	1	,347**	,133	,042
βαθμολογία-Κρίση	Sig. (2-tailed)		,000	,158	,659
	N	114	114	114	114

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα υπάρχει μια στατιστικά σημαντική θετική σχέση ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως και τα μόρια εισαγωγής. Η σχέση αυτή είναι μέτρια. Σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση τόσο ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως και το βαθμό στη φυσική, όσο και ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως και το βαθμό στη χημεία. Η απουσία συσχέτισης αποδίδεται και σε αυτήν την περίπτωση στην παντελή έλλειψη γραμμικής συμμεταβολής των δύο μεταβλητών.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα στους πιο πάνω πίνακες μπορούν να επισημανθούν τα εξής δύο σημεία:

A. Η σχέση της βαθμολογίας στις ερωτήσεις κρίσεως-νοηματικής κατανόησης με τα μόρια εισαγωγής είναι ισχυρότερη από τη σχέση της βαθμολογίας στις ερωτήσεις γνώσεως με τα μόρια εισαγωγής. Το γεγονός αυτό αποτελεί ενδεχομένως μια ένδειξη για το ότι η νοηματική μάθηση σχετίζεται ισχυρότερα με τα μόρια εισαγωγής και άρα μαθητές με κλίση στη νοηματική μάθηση αναμένεται να έχουν καλύτερες επιδόσεις στις εξετάσεις εισαγωγής.

B. Η απουσία στατιστικά σημαντικής σχέσης ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως-νοηματικής κατανόησης και στο βαθμό στο μάθημα της χημείας στις εξετάσεις εισαγωγής, στο βαθμό που δεν οφείλεται μόνο στην έλλειψη γραμμικής σχέσης, υποδεικνύει ενδεχομένως την απουσία από τις εξετάσεις αυτές ερωτήσεων με απαιτήσεις νοηματικής κατανόησης-κρίσεως.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: Η ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ

Σε αυτό το δεύτερο μέρος της έρευνας γίνεται μια προσπάθεια περαιτέρω διερεύνησης των ιδεών των φοιτητών για τις υπό μελέτη έννοιες. Η διερεύνηση αυτή γίνεται μέσω συνεντεύξεων που τεχνικά χωρίζονται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση έχουμε ημιδομημένες συνεντεύξεις, ατομικές και ομαδικές, με πρωτοετείς φοιτητές των τριών τμημάτων στα οποία έγινε η έρευνα με τα ερωτηματολόγια, δηλαδή των τμημάτων α) Χημείας, β) Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών και γ) Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών. Στη δεύτερη φάση έχουμε ομαδικές συζητήσεις με δευτεροετείς φοιτητές του τμήματος Χημείας.

Α. Συνεντεύξεις πρώτης φάσης.

Στις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης που χρονικά έγιναν το Δεκέμβριο του 2001 και τον Ιανουάριο του 2002 έλαβαν μέρος φοιτητές που είχαν ήδη απαντήσει στα γραπτά ερωτηματολόγια. Οι φοιτητές επελέγησαν για να λάβουν μέρος στις συνεντεύξεις με τα εξής κριτήρια: να έχουμε α) φοιτητές με γενικά καλή επίδοση, β) φοιτητές με καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως και όχι τόσο καλή στις ερωτήσεις κρίσεως και γ) φοιτητές με σχετικά καλή επίδοση στις ερωτήσεις κρίσεως και όχι τόσο καλή στις ερωτήσεις γνώσεως. Κλήθηκαν συνολικά 35 φοιτητές και φοιτήτριες, από αυτούς ανταποκρίθηκαν 12 φοιτητές και 11 φοιτήτριες.

Οι συνεντεύξεις ήταν ατομικές και ομαδικές. Στις ομαδικές συνεντεύξεις προβλεπόταν η συμμετοχή τεσσάρων φοιτητών από το ίδιο πανεπιστημιακό τμήμα σε κάθε συνέντευξη. Τελικά όμως έλαβαν μέρος τρία ή τέσσερα άτομα ανάλογα με την προσέλευση των φοιτητών. Έγιναν συνολικά πέντε ομαδικές συνεντεύξεις, τρεις με φοιτητές του ΤΒ και ανά μία με φοιτητές των τμημάτων ΤΧ και ΤΥ. Επιπλέον έγιναν και έξι ατομικές συνεντεύξεις στις οποίες έλαβαν μέρος δύο φοιτητές από κάθε τμήμα σε ξεχωριστή βέβαια συνέντευξη ο καθένας.



Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στις συνεντεύξεις είχαν στο γραπτό ερωτηματολόγιο τις επιδόσεις που φαίνονται στον πίνακα 8.1 στον οποίο χρησιμοποιούνται οι κωδικές ονομασίες Α1-Α12 για τους φοιτητές και Κ1-Κ11 για τις φοιτήτριες. Στον πίνακα αυτό φαίνεται τόσο η αναλυτική κατά ερώτηση επίδοση του κάθε φοιτητή όσο και η επίδοσή του στις ερωτήσεις κρίσεως και γνώσεως. Παρακάτω όταν αναφέρεται η λέξη φοιτητής, εννοείται φοιτητής ή φοιτήτρια. Σημειώνεται ότι τα γραπτά ερωτηματολόγια είχαν επιστραφεί στους φοιτητές κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Ο κάθε φοιτητής είχε δηλαδή στα χέρια του το γραπτό ερωτηματολόγιο με τις δικές του απαντήσεις

Πίνακας 8.1: Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο των φοιτητών που έλαβαν μέρος στην πρώτη φάση των συνεντεύξεων.

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																		
Τμήμα	Κωδικός	Ερωτήσεις														Αθροισμα	Γνώση	Κρίση
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
TB	A1	0	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	21	9	12
TB	A2	0	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	0	2	20	6	14
TB	K1	0	2	0	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	0	18	10	8
TB	K2	0	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	2	0	0	18	10	8
TB	K3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	0	0	18	8	10
TB	K4	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	18	6	12
TB	A3	0	2	2	2	0	2	2	0	2	0	0	2	2	0	16	10	6
TB	K5	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	16	10	6
TB	K6	2	0	0	2	0	2	0	0	2	2	0	2	2	2	16	8	8
TB	K7	0	2	0	1	2	0	0	2	2	2	2	2	0	1	16	7	9
TB	K8	0	2	2	2	2	0	0	2	0	0	0	2	2	2	16	6	10
TB	A4	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	0	2	0	0	12	10	2
TB	A5	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	2	2	2	12	4	8
TY	K9	2	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	2	2	16	8	8
TY	A6	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	0	0	2	0	12	8	4
TY	A7	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	2	0	12	8	4
TY	A8	0	2	0	1	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	13	7	6
TY	K10	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	2	1	13	4	9

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																		
		Ερωτήσεις																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
ΤΧ	A9	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	0	20	10	10
ΤΧ	A10	0	2	0	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	0	18	10	8
ΤΧ	A11	0	2	0	1	0	2	2	0	2	0	0	2	0	2	13	9	4
ΤΧ	K11	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	2	2	2	0	12	8	4
ΤΧ	A12	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	12	6	6

Στις ομαδικές συνεντεύξεις είχαμε ως στόχο να φέρουμε αντιμέτωπους φοιτητές που στις ερωτήσεις έδωσαν διαφορετικές απαντήσεις, να επιτύχουμε συζήτηση μεταξύ τους, έτσι ώστε να παρακολουθήσουμε την αλληλεπίδραση τους. Επιλέγη ο αριθμός των τεσσάρων ατόμων ως η χρυσή τομή δύο αντίθετων παραγόντων: αφ' ενός της δυσκολίας απομαγνητοφώνησης (και άρα μελέτης των συνεντεύξεων), που αύξανε όσο αύξανε ο αριθμός των φοιτητών που συμμετείχε στη συνέντευξη, και αφ' ετέρου της αποδοτικότητας της ομάδας. Σημειώνεται ότι για να διευκολυνθεί η απομαγνητοφώνηση, προσπαθήσαμε να έχουμε ομάδες από αγόρια και κορίτσια, χωρίς όμως να το πετύχουμε σε όλες τις περιπτώσεις. Έχειδειχθεί ότι μεγάλες ομάδες, των τεσσάρων π.χ. ατόμων δίνουν στους φοιτητές την ευκαιρία να λάβουν υπόψη περισσότερες ιδέες και έτσι μειώνουν την πιθανότητα να σβήσει η συζήτηση πάρα πολύ γρήγορα (Needham 1987), γεγονός που είναι πιο ευεργετικό για τις επιδόσεις των φοιτητών (Alexoroulou & Driver, 1996).

Κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων αυτών υπήρξε ενεργός συμμετοχή τόσο του επιβλέποντα καθηγητή κ Τσαπαρλή όσο και του ερευνητή σύμφωνα με ένα ημιδομημένο ερωτηματολόγιο που είχαμε εκ των προτέρων ετοιμάσει αλλά και με την πορεία της κάθε συνέντευξης. Το ημιδομημένο ερωτηματολόγιο παρατίθεται στο παράρτημα Α αυτού του κεφαλαίου. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων δεν συζητήθηκαν όλες οι ερωτήσεις αλλά δόθηκε ιδιαίτερο βάρος και συζητήθηκαν κυρίως οι ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι σε κάποιες συνεντεύξεις δεν έγινε περιστασιακή αναφορά και σε άλλες ερωτήσεις. Με τις ερωτήσεις αυτές, που είναι ερωτήσεις κρίσεως, καλύφθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι έννοιες που εξετάζουμε σε αυτήν την έρευνα. Αναλυτικότερα, διερευνήθηκαν τα παρακάτω:

Το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο στα νοητικά σχήματα των φοιτητών (ερ. 1).

Η κατανόηση της προσεγγιστικής φύσης των τροχιακών για τα πολυηλεκτρονικά άτομα (ερ. 5).

Η κατανόηση της αρχής της αβεβαιότητας (ερ. 7).

Η πιθανολογική ή ντετερμινιστική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών (ερ. 8 και ερ. 13)

Ειδικότερα με την ερ. 14, που όπως έχει ήδη αναφερθεί ήταν για τους πρωτοετείς φοιτητές εκτός ύλης, διερευνήθηκε η δυνατότητά τους να χρησιμοποιήσουν με καθοδήγηση, στην περίπτωση των συνεντεύξεων, τις γνώσεις τους, τα υπάρχοντα νοητικά σχήματα και να προχωρήσουν έτσι στη δημιουργία νέας γνώσης.

B. Συνεντεύξεις δεύτερης φάσης.

Η εμπειρία των συνεντεύξεων της πρώτης φάσης μας οδήγησε σε ορισμένες αλλαγές στη δεύτερη φάση προκειμένου να πετύχουμε συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των φοιτητών. Αυτό δεν έγινε δυνατό στον επιθυμητό βαθμό στην πρώτη φάση, όπου η συμμετοχή των ερευνητών στη συζήτηση ήταν έντονη και καθοριστική. Έτσι στη δεύτερη αυτή φάση δε δώσαμε στους φοιτητές τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγιά τους, αλλά τους ζητήσαμε να συμπληρώσουν όλοι μαζί, συνεργαζόμενοι, ένα καινούργιο, ίδιο ερωτηματολόγιο. Η δική μας συμμετοχή περιορίστηκε σε διαδικαστικά μόνο θέματα. Επίσης για τεχνικούς λόγους (δυσκολία απομαγνητοφώνησης), μειώσαμε τον αριθμό των ατόμων σε κάθε ομάδα στα τρία.

Στις συνεντεύξεις-ομαδικές συζητήσεις της δεύτερης φάσης, που χρονικά έγιναν από το τέλος Φεβρουαρίου του 2002 μέχρι και τις αρχές Απριλίου του 2002, έλαβαν μέρος φοιτητές του ΤΧ2, που από αυτούς άλλοι είχαν ήδη απαντήσει στα γραπτά ερωτηματολόγια (ομάδες 3-6) και άλλοι δεν είχαν απαντήσει (ομάδες 1-2).

Οι φοιτητές που απάντησαν επελέγησαν για να λάβουν μέρος στις συνεντεύξεις έτσι ώστε να έχουμε α) φοιτητές με γενικά καλή επίδοση, β) φοιτητές με καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως και όχι τόσο καλή στις ερωτήσεις κρίσεως και γ) φοιτητές με σχετικά καλή επίδοση στις ερωτήσεις κρίσεως και όχι τόσο καλή στις ερωτήσεις γνώσεως. Κλήθηκαν συνολικά 12 φοιτητές, από αυτούς ανταποκρίθηκαν 11. Στις συζητήσεις έλαβαν μέρος και 6 φοιτητές που δεν απάντησαν στο ερωτηματολόγιο. Οι φοιτητές αυτοί επιλέγηκαν με κριτήριο



να έχδυν εξεταστεί επιτυχώς στα μαθήματα Ανόργανη Ι και ΙΙ καθώς και στην Οργανική Ι του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών, μαθήματα κατά τα οποία διδάσκονται οι έννοιες που εξετάζονται στην έρευνα αυτή. Τουλάχιστον ένα από τα μαθήματα αυτά είχαν περάσει και οι φοιτητές που απάντησαν στα γραπτά ερωτηματολόγια. Συνολικά στη φάση αυτή έλαβαν μέρος 17 φοιτητές και φοιτήτριες, 10 φοιτήτριες και 7 φοιτητές.

Όλοι οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στις συνεντεύξεις-ομαδικές συζητήσεις της δεύτερης φάσης φαίνονται στον πίνακα 8.2. Στον πίνακα αναγράφονται επίσης τα αποτελέσματα που είχαν στο γραπτό ερωτηματολόγιο όσοι απάντησαν σε αυτό. Εξάλλου σημειώνονται τόσο η αναλυτική κατά ερώτηση επίδοση του κάθε φοιτητή όσο και η επίδοσή του στις ερωτήσεις κρίσεως και γνώσεως. Για την αναφορά στους φοιτητές και τις φοιτήτριες χρησιμοποιήθηκαν πάλι κωδικές ονομασίες, Α13-Α19 για τους φοιτητές και Κ12-Κ21 για τις φοιτήτριες.

Πίνακας 8.2: Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο φοιτητών που έλαβαν μέρος στη δεύτερη φάση των συνεντεύξεων.

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																	
Κωδικός	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K12	ΔΕΝ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΑΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ																
A13																	
A14																	
K13																	
A15																	
A16																	
K14	0	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	2	18	10	8
K15	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	0	18	10	8
K16	0	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	0	16	10	6
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K17	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	0	20	10	10

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																	
	Ερωτήσεις																
A17	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	2	2	0	0	14	10	4
K18	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2	2	2	0	2	12	2	10
K19	0	2	0	2	2	2	2	0	0	0	2	2	0	0	14	8	6
A18	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	0	2	0	0	16	10	6
K20	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	22	10	12
A19	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	0	20	10	10
K21	0	2	0	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	18	8	10



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΗΜΙΔΟΜΗΜΕΝΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 1

Ερώτηση 1: *Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα.*

- Η ερώτηση αναφέρει σαφώς "όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα". Πώς καταλαβαίνεις το "Πραγματικότητα";
- Αν μπορούσες να δεις το άτομο του υδρογόνου θα έβλεπες το ηλεκτρόνιο να γυρνά γύρω από τον πυρήνα σε μια τροχιά όπως δείχνει το σχήμα; (σε θετική απάντηση ζητούμε να γίνει συσχέτιση με τις ερωτήσεις 8, 10, 12, 13 αν έχει απαντήσει κάποια από αυτές)
- Με τι ταχύτητα κινείται το ηλεκτρόνιο; Αναλογία ποδηλάτου (όταν γυρίζει γρήγορα η ρόδα ενός ποδηλάτου τότε δε φαίνονται μεμονωμένες ακτίνες αλλά μια θολή συνεχής εικόνα).
- Θα μπορούσε να είναι λίγο πιο κοντά, λίγο πιο μακριά; Αυτό φαίνεται στο σχήμα; Πώς θα το έδειχνες;
- Άρα δεν είναι όπως το σχεδιάσες. Τότε πως είναι στην πραγματικότητα;
- Γιατί τότε δεν το σχεδιάσες έτσι; (Αν αναφέρει ηλεκτρονιακό νέφος)

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 2

Ερώτηση 2: *Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου*

- Πώς βρήκες αυτή τη σειρά;
- Σε ποια αρχή στηρίζεται;

- Γιατί συμβαίνει αυτό; (στόχος μας είναι να μας πει ο φοιτητής, αν ξέρει, για τους κβαντικούς αριθμούς n και l , για την έλξη του πυρήνα και τις διηλεκτρονικές απώσεις, ώστε να περάσουμε ομαλά στην ερώτηση 3.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 3

Ερώτηση 3: *Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;*

- Γιατί δεν απάντησες αυτήν την ερώτηση;
- Μήπως εδώ τα πράγματα είναι διαφορετικά;
- Μήπως και εδώ συμβαίνει το ίδιο;
- Βλέπω ότι έχεις γράψει και σ' αυτήν την ερώτηση την ίδια κατάταξη όπως στην προηγούμενη. Θεωρείς ότι δεν υπάρχει κάποια διαφορά σ' αυτήν την περίπτωση;
- Ποια είναι αυτή η διαφορά;
- Άρα ποια πρέπει να είναι η σωστή σειρά;
- Όμως το υδρογόνο έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό δεν επηρεάζει τις ενέργειες;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 5

Ερώτηση 5: *Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $H\hat{C}H$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.*

(Σε περίπτωση σωστής απάντησης)

- Πώς το ξέρεις αυτό; (βιβλίο, καθηγητής, σχολείο, φροντιστήριο...)
- Τι νομίζεις αυτό που λες (ο υβριδισμός) είναι κάτι που συμβαίνει στην πραγματικότητα ή μήπως είναι μια βολική εξήγηση που έδωσαν οι επιστήμονες για να εξηγήσουν τα πειραματικά δεδομένα;



(Σε περίπτωση λάθος απάντησης ή μη απάντησης)

- Πόσα ηλεκτρόνια έχει στην εξωτερική στιβάδα ο άνθρακας;
- Πόσα μονήρη ηλεκτρόνια έχει εδώ ο άνθρακας;
- Είναι ισοδύναμα τα τέσσερα ηλεκτρόνια σ' αυτήν τη δομή του άνθρακα;
- Ναι αλλά οι τέσσερις δεσμοί του άνθρακα είναι ισοδύναμοι.
- Το $2s$ είναι ίδιο με το $2p$;
- Τι γωνία σχηματίζουν τα $2p_x$ και $2p_y$ τροχιακά;
- Ναι αλλά στο μεθάνιο η γωνία είναι 109° .

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 7

Ερώτηση 7: *Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:*

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε αυτό που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε τη σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β

(Στόχος είναι να δούμε μήπως αλλάξει γνώμη τόσο αυτός που επέλεξε το α όσο και αυτός που επέλεξε το β)

- Έστω ότι διαθέτουμε τα κατάλληλα πολύ καλά όργανα που θα μπορούσαν να μετρούν τη θέση και την ορμή σωματιδίων. Τότε θα είχαμε αβεβαιότητα;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 8

Ερώτηση 8: *Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$*

Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

- Ποιος είναι ο χώρος που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό; Ζωγράψέ τον.

- Δηλαδή το ηλεκτρόνιο αποκλείεται να βρίσκεται κάποια στιγμή εδώ; (σε ένα σημείο έξω από το τροχιακό όπως το έχει ζωγραφίσει ο φοιτητής)
- Ποια είναι λοιπόν η σωστή απάντηση;
- Δες λίγο το σχήμα 1 στην ερώτηση 13 ή την απάντησή σου στην ερώτηση 12. Είναι λάθος αυτό το σχήμα ή η απάντησή σου;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 10

Ερώτηση 10: *Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)*

(ζωγραφίζει ή περιγράφει ηλεκτρονιακό νέφος)

- Αυτή είναι η εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους. Πώς θα μπορούσες να την φτιάξεις όμως αν ... (επαναλαμβάνεται η ερώτηση);
- Θα μπορούσε μια μόνο φωτογραφία να δείξει αυτήν την εικόνα;
- Τι θα έδειχνε;
- Άρα πώς θα έφτιαχνες την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 13

Ερώτηση 13: *Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;*

- Αυτές οι αραιές κουκίδες στο σχήμα 1 τι σημαίνουν;
- Ποια είναι τα όρια του τροχιακού $1s$;



- Αυτό συμβαίνει μόνο στο τροχιακό $1s$;
- Φαίνεται αυτό στο σχήμα 2;
- Γιατί μόνο στο s και όχι και στο p ; (παραπομπή στην ερώτηση 12)
- Αν εξαιρέσουμε το σχήμα των τροχιακών s και p (που είναι διαφορετικό) και αν λάβουμε υπόψη ότι και τα δύο είναι τροχιακά, μήπως θα έπρεπε και το p να είχε κουκίδες;

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΩΤΗΣΗ 14

Ερώτηση 14: Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά την γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;

- Μπορείς να φανταστείς ή μήπως ξέρεις γιατί ή πως υπεισέρχονται τα μαθηματικά εδώ;
- Τι είδους πρόσθεση; → Πύκνωση ηλεκτρικού φορτίου. (Να χρησιμοποιηθεί και σχηματική επικάλυψη)
- Άρα τι συνέπεια θα είχε η αφαίρεση;

...από την οποία προκύπτει ότι η συνέντευξη είναι μια διαδικασία που
...αποτελείται από δύο φάσεις: την προετοιμασία και την εκτέλεση.
...Η προετοιμασία περιλαμβάνει την επιλογή των ερωτήσεων, την
...ενημέρωση του συνεντευξιαζόμενου, την επιλογή του χώρου και
...του χρόνου της συνέντευξης, καθώς και την προετοιμασία του
...ερευνητή.

Επόμενη

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΗΣΗ

Ερώτηση 19: ...
...η συνέντευξη είναι μια διαδικασία που αποτελείται από δύο φάσεις:
...την προετοιμασία και την εκτέλεση. Η προετοιμασία περιλαμβάνει
...την επιλογή των ερωτήσεων, την ενημέρωση του συνεντευξιαζόμενου,
...την επιλογή του χώρου και του χρόνου της συνέντευξης, καθώς και
...την προετοιμασία του ερευνητή. Η εκτέλεση περιλαμβάνει την
...αποκρίση των ερωτήσεων, την παρατήρηση του συνεντευξιαζόμενου,
...την καταγραφή των απαντήσεων, καθώς και την επεξεργασία των
...αποτελεσμάτων.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΗΣΗ

Απάντηση 19: ...
...η συνέντευξη είναι μια διαδικασία που αποτελείται από δύο φάσεις:
...την προετοιμασία και την εκτέλεση. Η προετοιμασία περιλαμβάνει
...την επιλογή των ερωτήσεων, την ενημέρωση του συνεντευξιαζόμενου,
...την επιλογή του χώρου και του χρόνου της συνέντευξης, καθώς και
...την προετοιμασία του ερευνητή. Η εκτέλεση περιλαμβάνει την
...αποκρίση των ερωτήσεων, την παρατήρηση του συνεντευξιαζόμενου,
...την καταγραφή των απαντήσεων, καθώς και την επεξεργασία των
...αποτελεσμάτων.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΗΣΗ

Ερώτηση 20: ...
...η συνέντευξη είναι μια διαδικασία που αποτελείται από δύο φάσεις:
...την προετοιμασία και την εκτέλεση. Η προετοιμασία περιλαμβάνει
...την επιλογή των ερωτήσεων, την ενημέρωση του συνεντευξιαζόμενου,
...την επιλογή του χώρου και του χρόνου της συνέντευξης, καθώς και
...την προετοιμασία του ερευνητή. Η εκτέλεση περιλαμβάνει την
...αποκρίση των ερωτήσεων, την παρατήρηση του συνεντευξιαζόμενου,
...την καταγραφή των απαντήσεων, καθώς και την επεξεργασία των
...αποτελεσμάτων.

- ...
- ...



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ ΤΗΣ 1^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λεπτομερής-συστηματική παρουσίαση των ατομικών συγεντεύξεων της πρώτης φάσης. Για κάθε συνέντευξη παρουσιάζονται:

α) Ο φοιτητής που έλαβε μέρος σε αυτήν.

β) Η επίδοσή του στις ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14, όπου και εστιάζεται η συνέντευξη.

γ) Οι αρχικές του ιδέες, όπως προκύπτουν μέσα από τις απαντήσεις του στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

δ) τα βασικά σημεία κάθε συνέντευξης.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, σημειώνεται παύλα (-) αντί για μηδέν στις ερωτήσεις που δε δόθηκε απάντηση, έτσι ώστε να ξεχωρίζουν από τις ερωτήσεις στις οποίες δόθηκε λανθασμένη απάντηση.

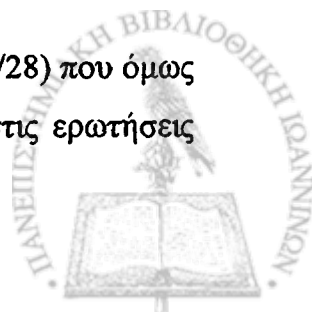
Ατομική συνέντευξη 1

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος ένας φοιτητής του ΤΒ. Οι επιδόσεις του φοιτητή αυτού στις γραπτές ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.1

Πίνακας 9.1: Επιδόσεις του φοιτητή της 1^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A5	0	0	-	2	2	2	6

Πρόκειται για ένα φοιτητή με όχι καλή επίδοση το ερωτηματολόγιο (12/28) που όμως είχε λίγο καλύτερα αποτελέσματα στις ερωτήσεις κρίσεως (8/18) από ό,τι στις ερωτήσεις



γνώσεως (4/10) (κεφ 8, πίνακας 8.1). Η συνέντευξη εστιάζεται κυρίως στις ερωτήσεις στις οποίες έδωσε λανθασμένες απαντήσεις ή και δεν απάντησε.

Στην ερ. 1 απαντά με βάση το πλανητικό μοντέλο, στην ερ. 5 γράφει ότι:

«Ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς γιατί δημιουργεί sp^2 τροχιακά»

Στην ερ. 7 δεν απαντά, όπως και στην ερ. 6, που είναι ερώτηση γνώσεως άμεσα συνδεδεμένη με την ερ. 7. Απαντά όμως σωστά στις ερ. 8 και ερ. 13 δείχνοντας μια σαφή πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού. Τέλος στην ερ. 14 έδωσε σωστή απάντηση, κατάφερε δηλαδή να αξιοποιήσει και να επεκτείνει τις γνώσεις του, κάτι που δείχνει τις ικανότητες κριτικής σκέψης που έχει ο φοιτητής αυτός παρά τη μικρή συνολική επίδοσή του.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 ο Α5 λέει ότι ζωγράφισε το άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με το πλανητικό μοντέλο διότι:

«φαντάστηκα ότι εννοούσε απλά να ζωγραφίσουμε μια αναπαράσταση του ατόμου του υδρογόνου, δηλαδή ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο.»

Όμως αν το έβλεπε,

«θα έβλεπα μια σφαίρα [διότι] το ηλεκτρόνιο κινείται τόσο γρήγορα που δεν νομίζω ότι θα μπορούσα να το δω ποτέ στατικά.»

Σημειώνεται ότι πιθανόν να συγχέει το άτομο με το κύτταρο, καθώς λέει σε μια στιγμή:

«Όσες εικόνες έχω δει από μικροσκόπιο είναι σφαίρα.»

Στην ερ. 5 αρχικά επιμένει να δικαιολογεί, όπως και στη γραπτή απάντησή του, το γιατί ο άνθρακας φτιάχνει τέσσερις ισοδύναμους ομοιοπολικούς δεσμούς. Η δικαιολόγηση βέβαια είναι λανθασμένη και δείχνει μια σειρά παρερμηνειών. Λέει σχετικά:

«Οι τέσσερις ομοιοπολικοί δεσμοί του άνθρακα, αν δεν κάνω λάθος, είναι ημιπολικοί, δηλαδή σχηματίζονται από τροχιακά sp^2 ».

Η απάντηση δείχνει δηλαδή άγνοια του όρου «ημιπολικός δεσμός» καθώς και ότι κάπου άκουσε, χωρίς να κατανοήσει, για τον υβριδισμό, όρο που πάντως δεν αναφέρει. Του επισημαίνεται ότι αυτό που ρωτά η ερώτηση είναι:

«αν αυτή η δομή, έτσι όπως είναι γραμμένη, συμφωνεί με τους τέσσερις ισοδύναμους ομοιοπολικούς δεσμούς»,

οπότε και δέχεται αμέσως ότι δε συμφωνεί.



Ο φοιτητής δεν απαντά στην ερ. 6 η οποία ζητά την αρχή της αβεβαιότητας και δεν την ξέρει ούτε και κατά τη συνέντευξη. Έτσι του δίνεται η αρχή της αβεβαιότητας και του ζητείται να απαντήσει στην ερ. 7 στην οποία δεν είχε απαντήσει. Επιλέγει ως σωστή απάντηση το β, λέει μάλιστα πως

«με ιδανικά όργανα φαντάζομαι ότι δε θα υπήρχε, δε θα πρέπει να υπάρχει αβεβαιότητα»,

αποδίδοντας δηλαδή την αβεβαιότητα στα σφάλματα των οργάνων.

Στην ερ. 8, ο Α5 είχε απαντήσει σωστά ότι:

«Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί σε οποιαδήποτε θέση, απλώς ο χώρος 1s είναι αυτός στον οποίο υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.»

Η ερ. 8 δε συζητήθηκε στη συνέντευξη αυτή.

Στην ερ. 13, όπου είχε απαντήσει σωστά, ξεκαθαρίζει ότι:

«Ότι σε αντίθεση με το σχήμα 1 το ηλεκτρονιακό νέφος δε συνεχίζεται πιο μακριά και τελειώνει πολύ απότομα. Δηλαδή μοιάζει σαν τα ηλεκτρόνια να έχουν κάποιο όριο και να μην μπορούν να πάνε πιο πέρα.»

Στην ερ. 14 ο Α5 είχε απαντήσει σωστά και η συνέντευξη τελειώνει εδώ.

Ατομική συνέντευξη 2

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος μια φοιτήτρια του ΤΒ. Οι επιδόσεις της φοιτήτριας αυτής στις γραπτές ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.2.

Πίνακας 9.2: Επιδόσεις της φοιτήτριας της 2^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
K5	0	-	2	0	0	2	4

Πρόκειται για μια φοιτήτρια με σχετικά καλή επίδοση στο ερωτηματολόγιο (16/28) όπου απάντησε όλες τις ερωτήσεις γνώσεως (10/10), ενώ μόνο τρεις από τις ερωτήσεις κρίσεως (6/18) (κεφ 8, πίνακας 8.1). Όπως θα φανεί κατά την αναλυτική παρουσίαση της συνέντευξής της είναι προσανατολισμένη στην αποστήθιση, χωρίς να κατανοεί πλήρως αυτά που αποστηθίζει.

Στην ερ. 1 απαντά σύμφωνα με το πλανητικό μοντέλο, σχεδιάζει μάλιστα και επόμενες στιβάδες-κυκλικές τροχιές. Δεν απαντά την ερ. 5, επιλέγει σωστά στην ερ. 7 την απάντηση α, στην ερ. 8 θεωρεί ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το 1s τροχιακό μόνο όταν διεγείρεται. Θεωρεί λάθος το σχήμα 2 στην ερ. 13 διότι:

«στο σχήμα 2 υπάρχει μικρότερη πιθανότητα εύρεσης ηλεκτρονίου απ' ό,τι

στο σχήμα 1. Όμως το ηλεκτρονιακό νέφος στο σχήμα 2 είναι πιο πυκνό».

Τέλος στην ερ. 14 απαντά σωστά χωρίς όμως να ξεκαθαρίζει την αλλαγή του χημικού δεσμού για την οποία μιλά.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 επιμένει ότι το ηλεκτρόνιο θα

«...είναι σε κάποια τροχιά κοντά στον πυρήνα».

Όταν της υποδεικνύεται η μεγάλη ταχύτητα του ηλεκτρονίου και το παράδειγμα της ρόδας του ποδηλάτου, επιμένει στην άποψή της προσθέτοντας μόνο ότι ηλεκτρόνιο:

«...το οποίο δεν θα φαινόταν καθαρά».



Ακολουθεί μια συζήτηση για την ερ. 3 κατά την οποία λέει ότι για το υδρογόνο η σειρά πλήρωσης των υποστιβάδων

«νομίζω ότι είναι διαφορετική»,

όμως δε ξέρει γιατί και η απάντηση της στην προσπάθεια διερεύνησης της διαφορετικότητας αυτής είναι:

«Δεν τη θυμάμαι ακριβώς αυτή την ερώτηση.»

Στην ερ. 5 μετά από εκτενή συζήτηση και καθοδήγηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι στη θεμελιώδη δομή του ατόμου του άνθρακα

«έχουμε δύο μονήρη [ηλεκτρόνια και] άρα είναι λάθος.»

Στην ερ. 7 όπου είχε επιλέξει το α, απάντησε:

«... όχι και πολύ μετά από σκέψη»

αλλά πάντως επειδή

«νομίζω πως θα υπήρχαν κάποια όργανα για τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις. Άρα είναι το πρώτο ή τουλάχιστο πλησιάζει το πρώτο περισσότερο.»

Παρατηρείται μια τάση η αρχή της αβεβαιότητας να αποδίδεται στα αναπόφευκτα σφάλματα που γίνονται σε κάθε εργαστήριο:

«... στο εργαστήριο που μπορεί να κάνουμε κάτι, πάντα βγαίνουν σφάλματα.»

όταν όμως ερωτάται ευθέως αν

«... είναι το ίδιο σφάλμα αυτό της αρχής αβεβαιότητας του Heisenberg και το σφάλμα που κάνεις στο εργαστήριο ή είναι διαφορετικό;»

τότε λέει ότι είναι διαφορετικά

«... από τη φύση».

Πάντως η θέση της κλονίζεται και δηλώνει ότι:

«Τώρα μπερδεύτηκα, μπορεί να είναι και το δεύτερο. Επειδή τα σωματίδια είναι τόσο μικρά,, μπορεί να μην οφείλεται στη διαδικασία αλλά στα όργανα.»

Όταν όμως παίρνει την διαβεβαίωση ότι υπάρχουν τα όργανα, τότε επανέρχεται και αποδίδει την αβεβαιότητα στη διαδικασία.

Στην ερ. 8 αρχικά η Κ5 ζωγραφίζει ένα τροχιακό 1s με μορφή σφαίρας. Ακολουθεί συζήτηση για το πού μπορεί να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο, αρχικά η Κ5 θεωρεί ότι

«... νομίζω στην επιφάνεια γιατί τροχιακό είναι..»

και ακολουθεί ένας μπερδεμένος ορισμός για το τροχιακό:

«[Τροχιακό] Είναι αυτοί οι τρεις κβαντικοί αριθμοί, n , l και m_l που... είναι σε 'να τρισδιάστατο χώρο ... που έχει ορισμένο μέγεθος, προσανατολισμό και σχήμα.»

Δείχνει επομένως ελλιπή κατανόηση αλλά και αποστήθιση ορισμένων φράσεων, χωρίς αυτές να έχουν κατανοηθεί. Στη συνέχεια, και μετά από αρκετή συζήτηση, δέχεται ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί και έξω από τη σφαίρα:

«Απλά είναι ελάχιστη η πιθανότητα, είναι αμελητέα.»

Όμως αμέσως επανέρχεται στις λανθασμένες απόψεις της, λέγοντας ότι σε αυτή την περίπτωση:

«νομίζω πως φεύγει από το $1s$, [διότι] νομίζω πως θα διεγερθεί.»

Ακολουθεί αναφορά στην ερ. 10 χωρίς κάτι το αξιοσημείωτο, καθώς και στην ερ. 11 όπου απαντά σωστά γράφοντας ότι:

«Η εξίσωση *Schrödinger* ... στην περίπτωση των άλλων ατόμων τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερα και τότε η εξίσωση θα έπρεπε να είναι πιο σύνθετη.»

Στη σύντομη συζήτηση που ακολουθεί φαίνεται ότι δε γνωρίζει ότι αυτό που καθιστά την εξίσωση άλυτη είναι οι αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι προσπαθώντας να εξηγήσει γιατί τα πολλά ηλεκτρόνια κάνουν πιο δύσκολη την εξίσωση λέει:

«... δηλαδή για το πώς θα ξεχωρίζαμε ποιο είναι το ηλεκτρόνιο, ότι αυτό είναι ένα άλλο ηλεκτρόνιο, ότι αυτό είναι διαφορετικό από το προηγούμενο και...»

Θέτει δηλαδή εν αγνοία της το θέμα της αρχής του αδιακρίτου των ηλεκτρονίων.

Στην ερ. 13 η K5 είχε εστιάσει την απάντησή της στη διαφορά πυκνότητας που φαίνεται να έχει το ηλεκτρονιακό νέφος. Όταν όμως της υποδείχθηκε, μέσω ερωτήσεων, ότι το ηλεκτρονιακό νέφος στο σχήμα 2 σταματάει, τότε εύκολα κατέληξε στο σωστό συμπέρασμα

«Όχι πιστεύω ότι είναι λάθος γιατί όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου δε σταματάει, δεν είναι ποτέ μηδέν, έστω και αν είναι απειροελάχιστη, οπότε έπρεπε να υπάρχουν και άλλες κουκίδες πιο αραιές, για να μας δείξει...»

Στην ερ. 14 η K5 είχε απαντήσει σωστά, επαναλαμβάνει την απάντησή της και διευκρινίζει ότι ο χημικός δεσμός

«νομίζω θα εξασθενήσει, πιστεύω πως θα είναι πιο αδύνατος.»



Κατά τη διάρκεια της συζήτησης για την ερ. 14 φαίνεται, όπως και στην ερ. 8, η μη ξεκάθαρη εικόνα που η Κ5 έχει για τα τροχιακά. Ενδεικτικά αναφέρονται οι φράσεις

«τα ατομικά τροχιακά; Είναι αυτοί οι τρεις κβαντικοί αριθμοί...»

και

«είναι το σύνολο δηλαδή αυτός ο τρισδιάστατος χώρος που έχει συγκεκριμένο μέγεθος.»

Ατομική συνέντευξη 3

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος ένας φοιτητής του ΤΥ. Οι επιδόσεις του φοιτητή αυτού στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.3.

Πίνακας 9.3: Επιδόσεις του φοιτητή της 3^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A6	0	0	2	0	2	-	4

Πρόκειται για ένα φοιτητή με όχι καλή επίδοση στο ερωτηματολόγιο (12/28) που όμως είχε καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως (8/10) και πολύ μικρή επίδοση στις ερωτήσεις κρίσεως (4/18) (κεφ 8, πίνακας 8.1).

Στην ερ. 1 απαντά σύμφωνα με το πλανητικό μοντέλο. Δεν απαντά στην ερ. 5, επιλέγει σωστά στην ερ. 7 την απάντηση α. Στην ερ. 8 αναφέρεται στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας και λέει ότι:

«... το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου δε θα μπορούσε να βρεθεί εκτός του 1s

αφού δε θα το είχε συμπληρώσει»,

ταυτίζει δηλαδή το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s με το τροχιακό 1s. Απαντά σωστά στην ερ. 13 και δεν απαντά στην ερ. 14.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 επιμένει μέχρι το τέλος ότι το ηλεκτρόνιο θα κινείται σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα:

«Θα το βλέπαμε να περιστρέφεται πάνω στη συγκεκριμένη τροχιά.»

Η μόνη αμφιβολία που εκφράζει είναι αν λόγω της ταχύτητάς του θα μπορούσαμε να το διακρίνουμε, πάντως το σχέδιό του αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή:

«Μπορούμε να το δούμε σε οποιοδήποτε σημείο αυτής της τροχιάς, γι' αυτό εγώ το βάζω σε ένα συγκεκριμένο σημείο, μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.»



Ακολουθεί αναφορά στην ερ. 3, όπου ο Α6 βρίσκει ότι το υδρογόνο διαφέρει από τα άλλα άτομα επειδή

«έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο»,

όμως δεν ήξερε και δεν ξέρει ακόμα πια είναι η σωστή σειρά. Κατά τη συζήτηση διατυπώνει και την εξής άποψη:

«Είναι αυτό που λέγαμε για τα υδρογονοειδή, όλα αυτά που έχουν ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα».

Έτσι δείχνει άγνοια του όρου υδρογονοειδές άτομο το οποίο ταυτίζει με τα άτομα της πρώτης ομάδας του περιοδικού συστήματος.

Στην ερ. 5, που δεν απάντησε, μετά εκτενή καθοδήγηση, διαπιστώνει ότι υπάρχουν μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια και άρα:

«μόνο δύο δεσμούς δεν μπορεί να φτιάξει; μόνο το $2p_x$ και το $2p_y$, αυτά τα δύο ηλεκτρόνια δεν μπορεί να δώσει;»,

οπότε καταλήγει στο συμπέρασμα

«όχι δε συμφωνεί.»

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια αυτής της καθοδήγησης και στο ερώτημα πόσα τροχιακά s, p και d υπάρχουν σε μια στιβάδα απαντά:

«Είναι οκτώ τα p, δέκα τα d, και δώδεκα τα s, ήτανε συγκεκριμένοι αριθμοί αυτοί, θυμάμαι».

Αυτό δείχνει έλλειψη βασικών γνώσεων, παρά την καλή επίδοσή του στις ερωτήσεις γνώσεως.

Από την απάντησή του στην ερ. 6 φαίνεται ότι δε γνώριζε την αρχή της αβεβαιότητας την οποία ακόμη δε γνωρίζει. Λέει σχετικά:

«... Δε θυμόμουν ποια δύο δεν μπορούσαμε να προσδιορίσουμε, ποια δύο στοιχεία»,

και αναφέρει ότι το σωστό είναι:

«Είναι την ορμή και την ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου»

Παρά το γεγονός αυτό, απαντά σωστά στην ερ. 7, τυχαία όπως φαίνεται, διότι αμέσως και αυθόρμητα διορθώνει λέγοντας:

«Νομίζω ότι και δω πέρα πρέπει να 'χω κάνει λάθος ... τα σώματα είναι πολύ μικρά και δεν έχουμε όργανα για να κάνουμε τις ακριβείς μετρήσεις που θα χρειάζονται»

Στο ερώτημα τι θα συνέβαινε αν είχαμε όργανα, η απάντηση είναι άμεση:

«Δεν θα υπήρχε μια τέτοια αρχή της αβεβαιότητας.»

Η επόμενη ερώτηση που συζητήθηκε ήταν η 13, με στόχο να χρησιμοποιηθεί η απάντηση σε αυτήν την ερώτηση που ήταν σωστή ως εισαγωγή για την ερ. 8 όπου δεν είχε απαντήσει σωστά. Ο Α6 επιβεβαιώνει και εξηγεί την απάντησή του στην ερώτηση 13:

«Υπάρχει μια πιθανότητα, αλλά είναι πολύ μικρή, να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε 'να χώρο που βρίσκεται, πολύ μακριά από το συγκεκριμένο, είναι πολύ μικρή πιθανότητα, αλλά υπάρχει.»

Στη συνέχεια, τού ζητείται να χαράξει κάποια όρια που να ορίζει το τροχιακό 1s και αυτός υποδεικνύει και χαράσσει την περιοχή κοντά στον πυρήνα:

«Εδώ πέρα ας πούμε, όπως δείχνει και το σχήμα, επειδή είναι πιο μαύρο, υπάρχουν πιο πολλές τελείες, είναι μεγαλύτερη πιθανότητα να το βρούμε το ηλεκτρόνιο στο κέντρο...»

Στο σημείο αυτό τού ζητείται να απαντήσει την ερ. 12 που δεν είχε απαντήσει στο ερωτηματολόγιο, την οποία και απαντά αμέσως:

«Ε ναι, εντάξει, τώρα έχει άμεση σχέση με την ερ. 13, όπως το απάντησα πριν. Υπάρχει αυτή η όπως είπαμε πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο εκτός του χώρου, και το δείχνουμε με τις τελείες αυτές που είπαμε.»

Η συζήτηση στη συνέχεια επικεντρώνεται στην ερ. 8 όπου ο Α6 αρχικά επιβεβαιώνει την απάντηση που είχε δώσει στο ερωτηματολόγιο:

«Αυτό είναι ότι θυμάμαι από τους νόμους και κανόνες απ' το βιβλίο της τρίτης λυκείου, που έλεγε, δε θυμάμαι ποιος συγκεκριμένος κανόνας, ότι συμπληρώνονται πρώτα οι στιβάδες με τη μικρότερη ενέργεια.»

Όταν όμως του υποδεικνύεται το σχήμα στην ερ. 13 και ο κύκλος που είχε ζωγραφίσει πριν ορίζοντας το τροχιακό 1s, βρίσκει αμέσως τη σωστή απάντηση:

«Είναι δυνατό να βρεθεί. ... αλλά η πιθανότητα είναι μικρότερη, πολύ μικρή, ελάχιστη σχεδόν».

Η συνέντευξη με τον Α6 δεν επεκτάθηκε στην ερ. 14 που δεν είχε απαντήσει.



Ατομική συνέντευξη 4

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος ένας φοιτητής του ΤΥ. Οι επιδόσεις του φοιτητή αυτού στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.4.

Πίνακας 9.4: Επιδόσεις του φοιτητή της 4^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A7	0	-	2	0	2	0	4

Πρόκειται για ένα φοιτητή με παρόμοιες επιδόσεις με τον Α6. Δηλαδή με όχι καλή επίδοση στο ερωτηματολόγιο (12/28), που όμως είχε καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως (8/10) και πολύ μικρή επίδοση στις ερωτήσεις κρίσεως (4/18) (κεφ. 8, πίνακας 8.1).

Στις ερωτήσεις που εστιάζεται η συνέντευξη, η συμπεριφορά του είναι παρόμοια με του Α6, δηλαδή απαντά σωστά στις ερ. 7 και 13, δεν απαντά στις ερ. 5 και 14, ενώ απαντά σύμφωνα με το πλανητικό μοντέλο στην ερ. 1. Η μόνη διαφορά παρουσιάζεται στην ερ. 8, που ο Α7 θεωρεί ότι έξω από το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μόνο αν διεγερθεί, ενώ ο Α6 αναφέρεται στην αρχή της ελάχιστης ενέργειας.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 ο Α7 φαίνεται να έχει ανάμικτες ιδέες από το πλανητικό και το κβαντομηχανικό μοντέλο. Έτσι ενώ στο ερωτηματολόγιο είχε ζωγραφίσει τον πυρήνα και γύρω από αυτόν μια διακεκομμένη γραμμή πάνω στην οποία τοποθέτησε το ηλεκτρόνιο, μια εικόνα δηλαδή που παραπέμπει στο πλανητικό μοντέλο, στη συνέντευξη αρχικά είπε ότι:

«[Το ηλεκτρόνιο] περιφέρεται, βρίσκεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, σε διάφορα μέρη γύρω απ' τον πυρήνα.»

Στη συνέχεια όταν ερωτάται αν η διακεκομμένη γραμμή είναι τροχιά, απαντά ότι:

«Δεν είναι τροχιά, απλώς αυτό το οποίο έχω κάνει, έχω οριοθετήσει κατά κάποιο τρόπο το μέρος στο οποίο μπορεί να βρίσκεται.»

Όταν κατόπιν ερωτάται αν το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί και έξω από τα όρια που θέτει η διακεκομμένη γραμμή απαντά:

«Μπορεί να υπάρχει και έξω, απλώς έχω κάνει το όριο. Δηλαδή ανάλογα όσο πιο κοντά στον πυρήνα βρίσκεται, τόσο πιο συχνά το συναντούμε εκεί. Δηλαδή όσο πιο μακριά, όσο μεγαλύτερη απόσταση έχει απ' τον πυρήνα, τόσο πιο απίθανο είναι να το βρούμε μακριά απ' τον πυρήνα.»

Τελικά λέει ότι στο ερωτηματολόγιο είχε κάνει το συγκεκριμένο σχέδιο διότι:

«απλώς έτσι μου 'ρθε εκείνη τη στιγμή, αυτό ήλθε στο μυαλό μου. Βασικά ήταν αυτό, που είχαμε μάθει απ' τη δεύτερα λυκείου και πίσω ...»,

επιβεβαιώνει δηλαδή ότι στο ερωτηματολόγιο απάντησε με βάση το πλανητικό μοντέλο.

Στην ερ. 5, ακολουθώντας τις οδηγίες που του δίνονται, γράφει την ηλεκτρονιακή δομή του άνθρακα, διαπιστώνει ότι αυτή συμφωνεί με τη δομή που αναφέρει η ερώτηση και βρίσκει ότι σύμφωνα με αυτή τη δομή ο άνθρακας έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια και άρα:

«Όπως το γράφουμε κει πέρα μπορεί να κάνει μόνο δύο ομοιοπολικούς δεσμούς»,

οπότε το συμπέρασμα είναι προφανές:

«Επομένως, όχι είναι λάθος, δε συμφωνεί»

Η αναφορά στις γωνίες που σχηματίζουν τα τροχιακά απλώς επιβεβαιώνει το συμπέρασμα. Στο σημείο αυτό ο Α7 ερωτάται αν γνωρίζει για τον υβριδισμό και απαντά:

«ναι νομίζω ότι είναι όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδάει όσον αφορά την ενέργεια, το ενεργειακό επίπεδο εδώ, γιατί μεταφέρεται σε κάποιο άλλο»,

έχει δηλαδή μια λανθασμένη και ασαφή εικόνα για τον υβριδισμό που τον θεωρεί σαν κάτι που γίνεται, σαν ένα φαινόμενο.

Στην ερ.7 επιβεβαιώνει την επιλογή του για το α λέγοντας ότι και αν ακόμη υπήρχαν κατάλληλα όργανα,

«πάλι θα υπήρχανε σφάλματα»,

κάτι που το επιβάλλει η αρχή της αβεβαιότητας.

Στην ερ. 8 επισημαίνεται στον Α7 ότι δε μιλάμε για διέγερση, αλλά για τη θεμελιώδη κατάσταση και αυτός απαντά αμέσως ότι:

«Μπορεί να βρεθεί διότι το 1s δεν είναι οριοθετημένο, δεν έχει δηλαδή κάποια συγκεκριμένα όρια το τροχιακό.»

Στην ερώτηση πώς το ορίζουμε, απαντά ότι:



«Είναι βασικά ο χώρος στον οποίο μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, δηλαδή τα σημεία στα οποία βρίσκεται το ηλεκτρόνιο οριοθετούν το τροχιακό $1s$ », έξω από τον οποίο όμως δεν μπορεί να βρεθεί διότι

«το ηλεκτρόνιο καθορίζει το χώρο.»

Όταν του ζητείται να δείξει το χώρο αυτό στο σχήμα της ερ. 13 λέει:

«Είναι όλες οι θέσεις τις οποίες μπορεί να πάρει το ηλεκτρόνιο, θα έπαιρνα τη μεγαλύτερη απόσταση και θα διέγραφα ένα κυκλικό τομέα γύρω από αυτές.»

Παρόμοιο σχήμα κάνει και στο σχήμα 2 της ερ. 13, όπου και πάλι το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να βρεθεί έξω από αυτό. Παρατηρούμε δηλαδή μια αντίφαση στις απαντήσεις του, αντίφαση που οφείλεται σε ελλιπή γνώση και κατανόηση της έννοιας του τροχιακού. Σημειώνεται ότι τη λέξη «πιθανότητα» δεν την χρησιμοποιεί καθόλου στις απαντήσεις του.

Στην ερ. 13, όπου είχε απαντήσει σωστά, λέει ότι για να γίνει σωστό το σχήμα 2

«απλώς θα πρόσθετα κουκίδες».

Τις κουκίδες όμως τις προσθέτει μέχρι τα ευρύτερα όρια του τροχιακού που είχε ζωγραφίσει κατά τη συζήτηση της ερ. 8. Έξω από αυτά δεν μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.

Στην ερ. 14 η συζήτηση δεν επεκτείνεται, απλώς ο Α7 λέει ότι μπορεί να συμβεί αλλά ο δεσμός:

«Θα ήταν πιο ασθενής και γι' αυτό το λόγο συναντούμε μοριακά τροχιακά με σύνθεση ή επικάλυψη των ατομικών και δε βρίσκουμε με αφαίρεση.»

Ατομική συνέντευξη 5

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος ένας φοιτητής του ΤΧ. Οι επιδόσεις του φοιτητή αυτού στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.5.

Πίνακας 9.5: Επιδόσεις του φοιτητή της 5^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A11	0	-	2	0	0	2	4

Πρόκειται για ένα φοιτητή με μέτρια επίδοση στο ερωτηματολόγιο (13/28) όπου απάντησε όλες τις ερωτήσεις γνώσεως (9/10), όμως μόνο δύο από τις ερωτήσεις κρίσεως (4/18) (κεφ 8, πίνακας 8.1).

Από τις ερωτήσεις στις οποίες εστιάζεται η συνέντευξη επιλέγει σωστά στην ερ. 7. Εξάλλου και η απάντησή του στην ερ. 14 φαίνεται να είναι σωστή:

«Αν γινόταν αφαίρεση, το ηλεκτρονιακό νέφος θα ήταν αραιό γύρω από τον πυρήνα και ο δεσμός πολύ ασθενής...»

Στην ερ. 1 σχεδιάζει το πλανητικό μοντέλο, στην ερ. 5 δεν απαντά, στην ερ. 8 θεωρεί ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το τροχιακό 1s αν διεγερθεί και θεωρεί ότι δεν υπάρχει λάθος στην ερ. 13.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 ο A11 μιλάει για τροχιές και όταν του επισημαίνεται η μεγάλη ταχύτητα του ηλεκτρονίου, δέχεται ότι δε θα μπορούσε να δει το ηλεκτρόνιο, οπότε ζωγραφίζει μια απλωμένη-πεπλατυσμένη τροχιά γύρω από τον πυρήνα:

«...Ένα δακτύλιο, είναι βέβαια και το ηλεκτρόνιο[που] γυρίζει γύρω από τον εαυτό του σ' ένα πράγμα έτσι. Οπότε θα μπορούσε να το βλέπαμε λίγο πιο παχύ.»

Στην ερώτηση αν αυτός ο δακτύλιος θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη ακτίνα, απαντά:



«Θα μπορούσε ναι, τώρα έβαλα εγώ μια συγκεκριμένη [ακτίνα]. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί σ' οποιαδήποτε...»

Η απάντηση δείχνει ιδέες προ Bohr μάλλον, παρά πιθανολογική προσέγγιση, αφού σε οποιαδήποτε απόσταση θα είχαμε δακτύλιο-τροχιά.

Στην ερ. 5 δέχεται αμέσως, αυθόρμητα, ότι η δομή που είναι γραμμένη στην ερώτηση είναι η θεμελιώδης. Δέχεται επίσης ότι τα ηλεκτρόνια s και p δεν είναι μεταξύ τους ισοδύναμα, όπως και ότι οι γωνίες των 109° δεν συμφωνούν με τις 90° που σχηματίζουν τα p τροχιακά οπότε:

«...Κάποιο απ' αυτά τα δύο, επειδή δεν είναι ίδια αυτά τα ηλεκτρόνια, κάποιο φαίνεται τραβάει πιο πολύ και διαφοροποιείται αυτή η γωνία.»

Η συζήτηση για την ερ. 5 δεν επεκτείνεται άλλο.

Στην ερ. 7 δηλώνει ότι και με τα κατάλληλα όργανα πάλι

«θα είχαμε αβεβαιότητα, ακριβώς δεν το ξέρω... στο λύκειο δεν είχαμε μάθει ακριβώς.... οπότε με πάρα πολύ καλά όργανα πάλι δεν πιστεύω ότι ακριβώς μπορούμε να το μετρήσουμε. [Διότι] και όργανα να 'χω ακριβή, προσδιορίζω μόνο το ένα. Προσδιορίζω μόνο το ένα μέγεθος από τα δύο, για το άλλο όμως δεν ξέρω τι γίνεται.»

Ακόμη και αν είχαμε ακριβή όργανα και για τα δύο:

«Και πάλι έχω την εντύπωση, δεν ξέρω για ποιο λόγο, [ότι] η αβεβαιότητα υπάρχει».

Κατά τη συζήτηση της ερ. 7 γίνεται αναφορά στην ερ. 1, όπου και ερωτάται αν το σχήμα που έχει κάνει, ο δακτύλιος, παραβιάζει την αρχή της αβεβαιότητας. Ο Α7 επιμένει ότι δεν το παραβιάζει διότι:

«την θέση του εδώ μπορώ να την προσδιορίσω, την ταχύτητά του δεν μπορώ να την προσδιορίσω.»

Κατά τη συζήτηση της ερ. οκτώ φαίνεται η εμμονή του στο πλανητικό πρότυπο. Έτσι στην ερώτηση τι καταλαβαίνει όταν λέμε «ορίζουμε χώρο $1s$ » απαντά:

«Να κινείται γύρω, σε μια τροχιά γύρω απ' τον πυρήνα.»

Στην ερώτηση πώς ορίζεται το τροχιακό απαντά:

«ε.. η πιθανότητα είναι για ... στο χώρο που μπορεί να βρεθεί και να κινείται ένα ηλεκτρόνιο»,

κάτι που δείχνει ότι δεν έχει ξεκάθαρη εικόνα για την έννοια του τροχιακού. Τέλος λέει πως μπορεί να κινηθεί και σε άλλη απόσταση από τον πυρήνα, όπως είπε στην ερ. 1 αλλά τότε

«: ... θα 'χε πάει σε άλλο τροχιακό αλλά... Αν του δίναμε ενέργεια να φτάσει σ' άλλο τροχιακό θα μπορούσε [να κινηθεί σε άλλη ακτίνα]».

Στη συνέχεια ορίζει μια σφαίρα, μια μεγάλη σφαίρα στο σχήμα 1 της ερ. 13, όπου λέει αναφερόμενος και στην απάντησή του στην ερ. 12:

«...[Είναι] πυκνό το ηλεκτρονιακό νέφος κοντά στο πυρήνα και αραιότερο καθώς απομακρυνόμαστε από αυτόν.»

Όμως έξω από αυτήν δεν μπορεί να βρεθεί:

«Έξω από την σφαίρα όχι, δεν είναι, ή θα είναι σε άλλο τροχιακό».

Στην ερ. 13 παρά, το γεγονός ότι τελικά μετά από συζήτηση και αφού ουσιαστικά δεν τη βρίσκει μόνος του, τού υποδεικνύεται η διαφορά ανάμεσα στα δύο σχήματα, επιμένει ότι:

«Σωστό πρέπει να 'ναι, διότι μάλλον για λόγους ενέργειας, αυτό κάπως, κάπως είναι έτσι, δεν ξέρω ακριβώς.»

Στην ερ. 14, παρά την προσπάθεια δεν έγινε δυνατό να οδηγηθεί στη σωστή απάντηση. Αξίζει πάντως να σημειωθεί η άποψη που εκφράζει για τα μοριακά τροχιακά. Λέει λοιπόν μιλώντας για την επικάλυψη ενός s και ενός p τροχιακού:

«Το ηλεκτρόνιο ας πούμε που ήτανε στο 1s θα μείνει στο 1s, δε θα πάει στο 2p, αλλά αυτός ο χώρος θα 'ναι ένας ενιαίος χώρος, όχι δύο διαφορετικά»,

και συνεχίζει:

«Εκεί που θα ήταν και πριν θα βρίσκεται τώρα, αλλά δε θα έχουμε κάποια..., κάποιο διαχωριστικό ανάμεσά τους.»

Μέχρι το τέλος επιμένει:

«Αν κάνουμε αφαίρεση, θα ξαναπέσουμε πάλι στο ίδιο πριν, αλλά αφαίρεση δε γίνεται.»



Ατομική συνέντευξη 6

Στη συνέντευξη αυτή έλαβε μέρος ένας φοιτητής του ΤΧ. Οι επιδόσεις του φοιτητή αυτού στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 9.6.

Πίνακας 9.6: Επιδόσεις του φοιτητή της 6^{ης} ατομικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Άθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A12	0	-	2	0	2	0	4

Πρόκειται για ένα φοιτητή με όχι καλή επίδοση στο ερωτηματολόγιο (12/28). Η επίδοσή του ήταν μέτρια στις ερωτήσεις γνώσεως (6/10), ενώ απάντησε σωστά σε τρεις μόνο από τις ερωτήσεις κρίσεως (6/18) (κεφ 8, πίνακας 8.1).

Στην ερ. 1 απαντά σύμφωνα με το πλανητικό μοντέλο. Δεν απαντά την ερ. 5, αλλά επιλέγει σωστά στην ερ. 7 την απάντηση α. Στην ερ. 8 θεωρεί ότι αυτό μπορεί να γίνει μόνο μετά από διέγερση, διότι διαφορετικά παραβιάζεται η αρχή της ελάχιστης ενέργειας, έχουμε δηλαδή ένα συνδυασμό των απαντήσεων της Κ5 και του Α6 (Ατομικές συνεντεύξεις 2 και 3). Απαντά σωστά στην ερ. 13, ενώ στην ερ. 14 θεωρεί ότι:

«Η αφαίρεση των ατομικών τροχιακών είναι πρακτικά αδύνατη ...»

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1, ο Α12 επιμένει στο πλανητικό μοντέλο, δέχεται μόνο ότι η τροχιά θα ήταν:

«ελλειπτική, κυκλική, απολύτως κυκλική νομίζω δε θα ήταν...»

καθώς και ότι:

«δε θα φαινόταν το ηλεκτρόνιο, θα φαινόταν μόνο αυτή η γραμμή.»

Στην ερ. 5 γρήγορα και εύκολα δέχεται ότι:

«έτσι όπως είναι, δεν κάνει τέσσερις, κάνει δύο....».

Αποδίδει το γεγονός ότι δεν απάντησε την ερώτηση στο ότι δεν πρόλαβε, δικαιολογία που αν λάβει κανείς υπόψη τη θέση της ερώτησης, αλλά και τις σχετικά εκτενείς απαντήσεις που έδωσε στις άλλες ερωτήσεις, δεν ευσταθεί.

Ακολουθεί σύντομη αναφορά στην ερ. 7, όπου επιμένει στην απάντησή του ότι η σωστή επιλογή είναι το α λέγοντας ότι:

«πάντα θα υπήρχε ένα μικρό σφάλμα»,

ακόμη και αν είχαμε τα κατάλληλα όργανα. Η συζήτηση γρήγορα καταλήγει στο ότι:

«μάλλον η απροσδιοριστία, θα είναι λόγω των μετρήσεων και λιγότερο λόγω του οργάνου.»

Στην ερ. 8 ο A12 απαντά στο ερώτημα ποιος χώρος ορίζεται ως 1s τροχιακό λέγοντας ότι αυτός είναι:

«ο χώρος που πιθανολογείται να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση.»

Ο χώρος αυτός έχει κάποια όριο που καθορίζονται πειραματικά. Η συζήτηση στρέφεται στη λέξη «πιθανολογείται» και ο A12 δέχεται τελικά ότι

«Οπότε μπορεί να βρεθεί. [έξω],»

όμως σε αυτήν την περίπτωση

«αν δεν είναι μες το 1s, θα βρίσκεται σε κάποιο άλλο τροχιακό»

Ακολουθεί μια συζήτηση με αναφορά σε συγκεκριμένα ποσοστά (90%, 95%, 99%, 100%) και σε κάθε περίπτωση ο A12 δέχεται ότι το τροχιακό 1s θα ήταν μια σφαίρα με όλο και μεγαλύτερη ακτίνα, με εξαίρεση το τελευταίο οπότε το τροχιακό θα ήταν:

«Άπειρο, μέχρι το σημείο που ιονίζεται.»

Τις ιδέες αυτές τις δείχνουμε με κύκλους που σχεδιάζονται στο σχήμα 1 της ερ. 13 όπου ο A12 δέχεται ότι διαφορετικής ακτίνας κύκλοι μπορούν να παριστούν το τροχιακό 1s αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στον κύκλο που ζωγραφίζει αυτός, προσπαθεί να περιλάβει όλες τις κουκίδες του σχήματος. Τελικά δέχεται ότι μπορούμε να μεγαλώνουμε την απόσταση και να είναι 1s χωρίς να το διεγείρουμε όμως:

«Μέχρι την ενέργεια ιονισμού»,

κάτι που υποδηλώνει ότι κατά βάθος θεωρεί την όλη διαδικασία ως διέγερση.

Στην ερ. 13 παρά το γεγονός ότι επιβεβαιώνει τη σωστή απάντησή του φαίνεται να διατηρεί κάποιες αμφιβολίες για την ορθότητά της. Έτσι ο χώρος έξω έπρεπε να έχει και άλλες κουκίδες:

«Έπρεπε, αλλά ο χώρος του 2p τροχιακού είναι ίσως αυτός εδώ, ο συγκεκριμένος. Τώρα το 2p είναι αυτό δηλαδή δε βγαίνει καθόλου από τα όρια έξω.»



• Περιλαμβάνει μόνο τις κουκίδες, αλλά υπάρχει και η πιθανότητα να βρεθεί και έξω απ' αυτό.»

- Στην ερ. 14, παρά το γεγονός ότι δείχνει να κατανοεί ότι η πρόσθεση σημαίνει:

«συσσώρευση πολλών τέτοιων σημείων»

και άρα αυξημένη

«... πιθανότητα ηλεκτρονίων να τα βρούμε σ' αυτό το σημείο»,

εν τούτοις δεν μπορεί να κατανοήσει και να δεχθεί την αφαίρεση η οποία δε γίνεται διότι:

• «όχι, γιατί δε θα μπορούσαμε να διακρίνουμε ποια είναι τα σημεία του καθενός.»

Η συνέντευξη ολοκληρώνεται με μια μικρή αναφορά στην ερ. 11 από την οποία σημειώνεται η λανθασμένη ιδέα που συναντήσαμε και άλλη μια φορά, ότι υδρογονοειδή είναι τα άτομα με ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική τους στιβάδα:

• «Η εξίσωση *Schrödinger* απ' ότι θυμάμαι λύνεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου και προσεγγιστικά για άτομα τα οποία έχουνε ένα ηλεκτρόνιο στην εξώτατη στιβάδα, δηλαδή τα υδρογονοειδή.»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ ΤΗΣ 1^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λεπτομερής-συστηματική παρουσίαση των ομαδικών συνεντεύξεων της πρώτης φάσης. Για κάθε συνέντευξη παρουσιάζονται:

α) Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος σε αυτήν.

β) Η επίδοσή τους στις ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14, όπου και εστιάζεται η συνέντευξη.

γ) Οι αρχικές τους ιδέες, όπως προκύπτουν μέσα από τις απαντήσεις τους στο ερωτηματολόγιο.

δ) Τα βασικά σημεία κάθε συνέντευξης.

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σημειώνεται παύλα (-) αντί για μηδέν στις ερωτήσεις που δε δόθηκε απάντηση έτσι ώστε να ξεχωρίζουν από τις ερωτήσεις στις οποίες δόθηκε λανθασμένη απάντηση.

Ομαδική συνέντευξη 1

Στην πρώτη αυτή συνέντευξη έλαβαν μέρος δύο φοιτήτριες και ένας φοιτητής του ΤΥ. Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο των φοιτητών αυτών στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πίνακα 10.1.

**Πίνακας 10.1: Επιδόσεις των φοιτητών της 1^{ης} ομαδικής συνέντευξης στο γραπτό
ερωτηματολόγιο**

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
K9	2	-	0	0	2	2	6
A8	0	-	2	0	2	-	4
K10	2	2	-	2	2	1	9



Όπως φαίνεται στον πίνακα 10.1 οι φοιτήτριες K9 και K10 απαντούν σωστά στην ερ. 1, δίνουν δηλαδή το κβαντομηχανικό μοντέλο, σε αντίθεση με το φοιτητή A8 που δίνει το μοντέλο του Bohr. Στην ερ. 5 απαντά σωστά μόνο η φοιτήτρια K10, ενώ οι άλλοι δύο δεν απάντησαν. Η αρχή της αβεβαιότητας (ερ. 7) φαίνεται να έχει κατανοηθεί μόνο από το φοιτητή A8. Μια σαφώς πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών φαίνεται να έχει μόνο η φοιτήτρια K10 που απαντά σωστά και στις δύο σχετικές ερωτήσεις (8 και 13), ενώ οι δύο άλλοι απαντούν σωστά μόνο στη μία. Τέλος οι δύο φοιτήτριες φαίνεται να μπορούν να διευρύνουν τις γνώσεις τους στηριζόμενες στα νοητικά τους σχήματα αφού, εν μέρει ή εξ ολοκλήρου, «μαντεύουν» την απάντηση στην ερ. 14 (πρόσθεση και αφαίρεση ΑΟ για σχηματισμό ΜΟ).

Συμπερασματικά θα μπορούσε να λεχθεί ότι από τους τρεις φοιτητές μόνο η K10 έχει μια σαφώς πιθανολογική προσέγγιση των εννοιών, ενώ οι προσεγγίσεις τόσο της K9 όσο και του A8 έχουν τόσο πιθανολογικά όσο και αιτιοκρατικά στοιχεία.

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 εύκολα και γρήγορα ο φοιτητής A8 δέχεται ότι η δική του απάντηση είναι λάθος διότι:

«... το ηλεκτρόνιο είναι κύμα, κύμα και σωματίδιο, άρα κανείς δεν μπορεί να ξέρει πού βρίσκεται.»

ενώ ερωτώμενος αν αυτό φαίνεται στην απάντησή του παραδέχεται ότι είναι λάθος διότι

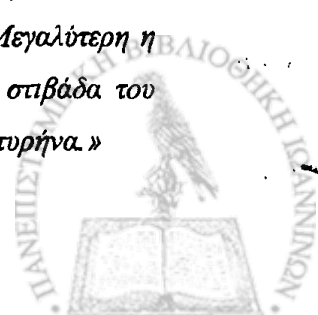
«... ουσιαστικά έκανα το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο να κινείται γύρω του σε μια τροχιά».

Στην ίδια ερώτηση η φοιτήτρια K9, που σχεδίασε οριακή καμπύλη για το 1s τροχιακό δείχνει ότι δεν έχει τόσο ξεκάθαρες απόψεις μπλέκοντας προ στιγμή και τις τροχιές με το τροχιακό:

«[Ζωγράφισα] Ένα πρωτόνιο στο κέντρο και γύρω τις τροχιές που μπορεί να ... ότι γύρω μπορεί να κινηθεί... ο χώρος που μπορεί να κινηθεί το ηλεκτρόνιο.»

Τελικά όλοι συμφωνούν ότι η καλύτερη εικόνα είναι με ηλεκτρονιακό νέφος, απάντηση που έδωσε η K10. Λέει σχετικά ο A8:

«... έτσι είναι, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο κοντά στον πυρήνα παρά πιο κει, οπότε θα είναι περισσότερες οι στιγμές. Μεγαλύτερη η συχνότητα στιγμών κοντά στο κέντρο παρά έξω, τουλάχιστο για τη σιβάδα του ηλεκτρονίου για τη θεμελιώδη κατάσταση 1s που είναι πιο κοντά στον πυρήνα.»



ενώ η K10 ξεκαθαρίζει ότι

«... κάποτε μάθαμε ότι υπάρχουν τροχιές. Ξέρουμε όμως τώρα, η σύγχρονη χημεία λέει, ότι κινούνται σε χώρο σε τροχιακά.»,

δίνοντας μια σαφή έννοια χώρου στο τροχιακό.

Στην ερ. 5 και αφού κλήθηκαν οι φοιτητές που δεν απάντησαν στην ερώτηση να γράψουν την θεμελιώδη δομή του άνθρακα και να τη συγκρίνουν με τη δομή που έλεγε η ερώτηση συμφώνησαν τόσο ο A8 όσο και η K9 ότι η δομή που έλεγε η ερώτηση ήταν η θεμελιώδης στην οποία ο άνθρακας είχε δύο μονήρη ηλεκτρόνια. Στη συνέχεια η συζήτηση επεκτείνεται και στην προσπάθεια να δικαιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρακας κάνει τέσσερις δεσμούς αναφέρεται ο υβριδισμός. Για τον υβριδισμό ο A8 έχει μάθει κυρίως στο πανεπιστήμιο, ενώ η K10 είχε ακούσει και στο σχολείο. Πάντως και οι δύο ταυτίζουν τον υβριδισμό με τη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$. Λέει χαρακτηριστικά ο A8 για τον υβριδισμό ότι:

«Υβριδισμός; Ε... μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου από το ένα, από τη μία υποστιβάδα στην άλλη.»

Ακολουθεί συζήτηση για τις γωνίες και την ισοδυναμία των δεσμών οπότε και οι τρεις φοιτητές αντιλαμβάνονται ότι δεν έχουν ολοκληρωμένη εικόνα για τον υβριδισμό. Σε αυτό το σημείο σταματά η συζήτηση διότι είχε ήδη ξεφύγει από τους σκοπούς της ερ. 5.

Στην ερ. 7 ερωτάται στην αρχή η K10 που δεν είχε απαντήσει και επιλέγει το α διότι:

«Το β μας μιλάει για τα σωματίδια και ότι είναι πολύ μικρά ώστε να μην υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες μετρήσεις και το πρώτο μας λέει ότι η μέτρηση εισάγει τα σφάλματα. Δηλαδή το β μας λέει για τα σωματίδια, το α μας λέει για τη διαδικασία.»,

Η K9 επέμενε στην άποψη της για το β και ο A8 στη δική του για το α διότι:

«Γιατί απ' ότι γνωρίζω υπάρχουν όργανα τα οποία μπορούν να κάνουν μελέτες πάνω στα ηλεκτρόνια.»

Στη συνέχεια δίνεται στους φοιτητές, από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσαπαρλή, που αναφέρεται ως «EP1», το παράδειγμα ενός αεροπλάνου:

«EP1: Αν φανταστούμε ένα αεροπλάνο που κινείται, που πετά. Αυτό έχει πάνω ένα όργανο που του δίνει τη θέση ακριβώς, του δίνει ένα υψόμετρο. Του δίνει και ένα άλλο όργανο τις γεωγραφικές συντεταγμένες, άρα ξέρει πού βρίσκεται στο

χώρο ανά πάσα στιγμή και ταυτόχρονα έχει ένα ταχύμετρο και του δείχνει την ταχύτητά του. Ισχύει στην περίπτωση αυτή η αρχή της αβεβαιότητας;»

Το παράδειγμα αυτό, η αναλογική σύνδεση του μακρόκοσμου με το μικρόκοσμο προκαλεί σύγχυση τους φοιτητές. Έτσι η K10 αλλάζει γνώμη και επιλέγει το β διότι τώρα το α δεν της φαίνεται πια λογικό:

«Γιατί δεν είναι λογικό αυτό που είπα, μπορεί να υπάρχουν όργανα και να μην υπάρχει σφάλμα αν είναι τόσο ακριβή τα όργανα.»

Ο A8 όμως εμμένει στην άποψή του ενισχυόμενος από νέες γνώσεις που έμαθε στο πανεπιστήμιο. Λέει σχετικά:

«Πιστεύω το α είναι, γιατί τα όργανα είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε δε μετράνε απ' ευθείας την ταχύτητα και τη θέση αλλά χρησιμοποιούν κάποιες τεχνικές. Τα μάθαμε εδώ στο πανεπιστήμιο: για να υπολογίσουμε καλύτερα τη θέση του ηλεκτρονίου, χρησιμοποιούμε μικρότερο μήκος κύματος, οπότε αυξάνεται η ορμή του φωτονίου το οποίο στέλνουμε για να το εντοπίσουμε, οπότε υπάρχει μεγαλύτερη σύγκρουση οπότε αλλάζει η ορμή του. Μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση του αλλά όχι την ορμή του.»

Η αναλογία του αεροπλάνου είναι τόσο ισχυρή ώστε η K10, παρά την παραπάνω δήλωση του A8, εμμένει στην τελευταία της άποψη:

«Ναι αλλά όπως το θέσατε έτσι με την λογική, αφού είπατε ότι ένα αεροπλάνο μάς δείχνει ας πούμε το μηχάνημα που έχουμε πάνω ακριβώς τις μετρήσεις, γιατί να υπάρχει σφάλμα; Δεν υπάρχει. [Μπορούμε να μεταφέρουμε το ίδιο και στο] μικρόκοσμο.»

Στην ερ. 8 η K10 δίνει σωστή απάντηση, δείχνοντας ότι έχει μια σαφή πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού:

«... το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί οπουδήποτε. Πουθενά η πιθανότητα δεν είναι μηδενική. Απλά κοντά στον πυρήνα έχει τις περισσότερες πιθανότητες γύρω στα 90 με 97%.»

Μια ασαφή πιθανολογική προσέγγιση φαίνεται να έχει και ο A8 που όμως συγχέει το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό με το ίδιο το 1s τροχιακό, με αποτέλεσμα να δίνει λάθος απάντηση:

«το υδρογόνο περιέχει ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο σύμφωνα με την αρχή ελαχίστης ενέργειας στη θεμελιώδη κατάσταση βρίσκεται πάντα στο τροχιακό 1s [το



...οποίο] ...σ' οποιοδήποτε χώρο μπορεί να υπάρξει τροχιακό $1s$. Το $1s$ μπορεί να είναι μέχρι το άπειρο. απ'ώς η πιθανότητα είναι κοντά στον πυρήνα να βρεθεί.»

Αντίθετα η K9 έχει μια σαφώς ντετερμινιστική προσέγγιση ταυτίζοντας το χώρο με το τροχιακό και άρα έξω από αυτόν το χώρο είναι άλλο τροχιακό. Η ίδια αναιρεί και το σχήμα που είχε κάνει στην ερ. 1 ζωγραφίζοντας ένα μικρό κύκλο σ' αυτό και λέγοντας ότι όσες κουκίδες είναι έξω από τον κύκλο:

«Είναι σε άλλα .. είναι άλλα τροχιακά.»

Στη συνέχεια για να επισημανθεί η πιθανολογική φύση γίνεται η ερώτηση:

«EP1: Είναι δυνατό να έχω ένα ηλεκτρόνιο που να είναι $1s$ και να έχει ενέργεια πιο μεγάλη από ένα ηλεκτρόνιο που να είναι $2s$;»

Ακολουθεί συζήτηση στην οποία η συμμετοχή των φοιτητών είναι ελάχιστη και κυρίως περιορίζεται σε μονολεκτικές απαντήσεις. Η συζήτηση καταλήγει ότι:

« EP2: Αλλά: το $1s$ έχει μικρότερη ενέργεια από το $2s$ για...

K10: Για αρκετό χρονικό διάστημα.»

όπου «EP2» ο ερευνητής.

Στην ερ. 13 και οι τρεις απάντησαν σωστά και στη συνέντευξη επαναβεβαίωσαν την απάντησή τους, ότι δηλαδή:

«...σε σύγκριση με το σχήμα 1 υπάρχει λάθος.»

Ακολουθεί μια μικρή συζήτηση με την K9 για το τι παριστάνουν οι κουκίδες η οποία καταλήγει ότι:

«Εκεί που υπάρχει μεγαλύτερη πυκνότητα στιγμών υπάρχει και μεγαλύτερη πιθανότητα.»

Στη συνέχεια οι φοιτητές ερωτώνται

«EP1: ...Αλλά ... όταν είναι οι κουκίδες μακρινές εξακολουθεί να είναι στο $1s$ ή μήπως έχει διεγερθεί;»

Στο ερώτημα αυτό η K10 λέει ότι:

«...όχι μπορεί να είναι ακόμα στο $1s$, αλλά οι πιθανότητες είναι πιο πολλές όταν είναι κοντά»,

θέση με την οποία συμφωνεί και ο A8. Αντίθετα η K9 λέει ότι:

«Μπορεί να έχει διεγερθεί»,

θέση η οποία βρίσκεται σε συμφωνία με την όλη στάση της σε προηγούμενες ερωτήσεις.

Στην ερ. 14 η K9 έδωσε σωστή απάντηση:



«Θα μπορούσε αλλά η ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων θα μειωνόταν και ακόμη ο χημικός δεσμός θα γινόταν ασθενέστερος»
ενώ η K10 απάντησε μόνο στο ένα σκέλος της ερώτησης:

«... Έτσι θα μπορούσε να γίνει αφαίρεση τροχιακών με τη διαφορά ότι η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο στο χώρο αυτό θα ήταν πολύ μικρή αλλά όχι μηδενική».

Στη συνέχεια έγινε μια μικρή συζήτηση με την K10 στην προσπάθεια να συνειδητοποιήσει τη συνέπεια της μικρής πιθανότητας να βρεθεί κάπου το ηλεκτρόνιο. Αποτέλεσμα της συζήτησης ήταν η δήλωση της K10:

«Άρα δε θα είχα δεσμό.»

Τέλος ο A8 δεν απάντησε διότι:

«Ίσως επειδή δεν το κατάλαβα... »

όπως είπε, κάτι που ούτε με το τέλος της συνέντευξης είχε επιτευχθεί. Αξίζει επίσης να επισημανθεί η παρανόηση και κακή χρήση από την K10 του όρου υβριδισμένο τροχιακό, που μάλλον τον ταυτίζει με τον όρο μοριακό τροχιακό:

«Όταν συμβαίνει επικάλυψη τροχιακών στα υβριδισμένα τροχιακά υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να κινηθεί το ηλεκτρόνιο... »

Ομαδική συνέντευξη 2

Στη συνέντευξη αυτή έλαβαν μέρος δύο φοιτητές και μία φοιτήτρια του ΤΧ. Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο των φοιτητών αυτών στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πίνακα 10.2.

Πίνακας 10.2: Επιδόσεις των φοιτητών της 2^{ης} ομαδικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
A9	2	2	2	0	0	0	6
A10	0	-	2	2	2	-	6
K11	0	-	0	0	2	0	2

Όπως φαίνεται στον πίνακα 10.2 μόνο ο φοιτητής A9 απαντά σωστά στην ερ. 1, σχεδιάζει δηλαδή ηλεκτρονικό νέφος, σε αντίθεση με το φοιτητή A10 και τη φοιτήτρια K11 που δίνουν το μοντέλο του Bohr, ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα. Σημειώνεται ότι ο φοιτητής A10 δίπλα στην τροχιά που σχεδίασε γράφει «Μια πιθανή τροχιά». Στην ερ. 5 απαντά και πάλι σωστά μόνο ο φοιτητής A9, ενώ οι άλλοι δύο δεν απάντησαν. Η αρχή της αβεβαιότητας φαίνεται να έχει κατανοηθεί από τους δύο φοιτητές A9 και A10. Η εικόνα αντιστρέφεται στην ερ 8 όπου ο φοιτητής A10 έχει πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών, ενώ ο A9 ενώ είχε γράψει αρχικά τη σωστή απάντηση στη συνέχεια την έσβησε. Στην ερ. 13 ο A9 προσπαθεί να δικαιολογήσει τα σχήματα, ενώ οι A10 και K11 δίνουν τη σωστή απάντηση. Σημειώνεται ότι αυτή είναι η μόνη από τις επιλεγείσες ερωτήσεις που απαντά σωστά η K11, η οποία όμως είχε πολύ καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως (8/10). Τέλος στην ερ. 14 ο A10 δεν απαντά καθόλου, ενώ οι άλλοι δύο δίνουν λάθος απαντήσεις. Φαίνεται δηλαδή ότι δεν μπόρεσαν ή δε θέλησαν να προβληματιστούν ώστε να διευρύνουν τις γνώσεις τους στηριζόμενοι στις γνώσεις που ήδη είχαν.

Αναλυτική παρουσίαση.

Η συζήτηση αρχίζει από την ερ. 1 όπου η K11 δηλώνει ότι:

«το υδρογόνο έχει μόνο ένα πρωτόνιο στον πυρήνα και το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται σε μία στιβάδα την πρώτη.»

για να συμπληρώσει αμέσως μετά ότι:

«δεν πιστεύω ότι είναι έτσι αυτή η στιβάδα είναι ένας... ένα τροχιακό, ένας ευρύτερος χώρος αλλά δεν ξέρω πώς είναι να τον ζωγραφίσουμε όταν κινείται το ηλεκτρόνιο.»

Πάντως ζωγράφησε το υδρογόνο σύμφωνα με το πλανητικό πρότυπο διότι:

«... έτσι το είχα δει στα περισσότερα βιβλία.»

Ο A10 δηλώνει ότι σκέφτηκε το ηλεκτρονιακό νέφος αλλά προτίμησε το πλανητικό μοντέλο διότι:

«απλά ήθελα να δώσω μια στατική ας πούμε μορφή, να δείξω και το ηλεκτρόνιο και τη στροφή»

Πάντως το σχέδιο του A9

«...φαίνεται ότι είναι γενικά πιο σωστό».

Τελικά πολύ εύκολα και σε αυτήν τη συνέντευξή οι φοιτητές δέχθηκαν το κβαντομηχανικό μοντέλο έστω και αν είχαν απαντήσει με βάσει το μοντέλο του Bohr.

Στην ερ. 5 αρχικά ο A9 διάβασε την απάντησή του που ήταν:

«Δεν είναι σύμφωνη αυτή η δομή γιατί στη δομή φαίνεται να έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια ενώ ξέρουμε ότι έχει τέσσερα».

Την απάντηση αυτή κλήθηκαν να σχολιάσουν η K11 και ο A10 που δεν είχαν απαντήσει στην ερώτηση. Η K11 φαίνεται να πείθεται από την απάντηση αυτή λέγοντας

«Ε... φαίνεται σωστό αυτό ότι έχει μόνο δύο μονήρη.»

όταν όμως τίγεται το θέμα των γωνιών τότε μπερδεύεται κάπως

«Ε... όχι, αυτό με τις μοίρες είναι λίγο»

αντίθετα ο A10 μέχρι το τέλος δεν είναι ικανοποιημένος

«... αλλά βλέπω και τώρα ας πούμε επειδή δεν έχω μία σαφή εικόνα ... πάλι δε θα την απαντούσα»

παρά το γεγονός ότι

«Ναι, με βοήθησαν εντάξει, αλλά πάλι όχι δεν έχω ξεκαθαρίσει δυο τρία πραγματάκια. Εντάξει μου δόθηκε ας πούμε μια μικρή απάντηση την οποία ακόμα...



« με αυτήν τη δομή δε γίνεται να σχηματισθούν τέσσερις ομοιοπολικοί δεσμοί. Εντούτοις και με το θέμα της γωνίας δεν τα έχω ξεκαθαρίσει »

Στην ερ. 7 οι δύο φοιτητές έδωσαν τη σωστή απάντηση, ο Α9 λέει ξεκάθαρα ότι:

« επέλεξα το α απορρίπτοντας το β γιατί λέω έχει προχωρήσει η τεχνολογία, μπορούμε να μετρήσουμε και η αρχή του Heisenberg λέει ότι είναι αδύνατη, δηλαδή με οποιαδήποτε μέθοδο είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος προσδιορισμός θέσης και ορμής. »

ενώ ο Α10 με επιφυλάξεις, θα ήθελε μάλλον να συνδυάσει τις δύο απαντήσεις

« Σ' αυτήν την απάντηση εγώ είχα αμφιταλαντευτεί.. »

λέει στην αρχή ενώ κάπου στη συνέχεια σημειώνει:

« ... δηλαδή αν μπορούσα να δικαιολογήσω στην πρώτη, να έχω και την απάντηση μου ότι είναι και μικρά, δηλαδή από την άποψη ότι δεν μπορούμε να ... δεν μπορούν τα όργανα να το μετρήσουν, θα είχα κάνει συνδυασμό ... ».

Αντίθετα η Κ11 σημειώνει το β διότι

« ... απλώς μου φαίνεται λογικό ότι σε τόσο μικρά σωματίδια δεν μπορούν να υπάρξουν όργανα να μετρούν τόσο... τόσο ακριβή. »

στη συνέχεια όμως ακούγοντας τις απόψεις των άλλων φοιτητών αλλάζει γνώμη

« ... το α είναι πιο ευρύ στη μέτρηση ενώ το β είναι πιο ειδικό, αναφέρεται μόνο σε όργανα, ενώ το α στις μετρήσεις γενικότερα και μου φαίνεται πιο σωστό το α. »

Σημειώνεται ότι η αναφορά στο μακρόκοσμο που γίνεται μάλλον και σε αυτή την περίπτωση δυσκολεύει τα πράγματα, αφού ο Α10 λέει στο τέλος

« ... εγώ θεωρώ ότι και στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο ότι είναι το α, δηλαδή απλά είναι σχετικά, δηλαδή μπορεί αργότερα να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε ακόμα πιο πολύ και τη θέση και την ορμή δηλαδή να προσεγγίσουμε τις ικανότητες που έχουμε στο μακρόκοσμο αλλά και πάλι δε θα είναι... θα οφείλεται σ' αυτό στο ότι... δηλαδή ούτε στο μακρόκοσμο έχουμε ουσιαστικά ακριβή θέση και ακριβή προσδιορισμό. ».

Ταυτίζει δηλαδή την αιτία των σφαλμάτων στο μακρόκοσμο και στο μικρόκοσμο και ουσιαστικά την αποδίδει σε τεχνικές αδυναμίες.

Στην ερ. 8 σωστή απάντηση δίνει μόνο ο Α10 που φαίνεται να έχει μια σαφή πιθανολογική προσέγγιση και να μην ταυτίζει το κάθε τροχιακό με συγκεκριμένο χώρο:

«Όταν λέμε χώρος τροχιακού, ας πούμε είναι κάτι πολύ μεγάλο. Το χώρο που καταλαμβάνει το 1s τροχιακό, κάποιο μέρος του χώρου αυτού καταλαμβάνει και το 2s τροχιακό και πιο ευρύτερα ή και το p τροχιακό».

Σημειώνεται όμως ότι αρχικά στο ερωτηματολόγιο είχε γράψει τη σωστή απάντηση και ο A9 που όμως στη συνέχεια την έσβησε και έγραψε ότι:

«Δεν είναι δυνατό γιατί ως τροχιακό ορίζεται ο χώρος που μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο»,

ταυτίζει δηλαδή το τροχιακό με το συγκεκριμένο χώρο που ορίζεται ως τροχιακό. Σχετική είναι και η πιο κάτω δήλωσή του:

«Το 1s είναι μια σφαίρα μικρή και το 2s είναι μια σφαίρα μεγαλύτερη και το 2s εμπεριέχει το 1s άρα στο 2s η πιθανότητα θα 'ναι μεγαλύτερη, γιατί καταλαμβάνει μεγαλύτερο χώρο.»

Η K11 ταυτίζει το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό 1s με το ίδιο το τροχιακό και γράφει ότι:

«Δεν είναι δυνατό γιατί η θεμελιώδης κατάσταση υφίσταται στην υποστιβάδα με τη μικρότερη ενέργεια και η 1s έχει την ελάχιστη, άρα σε κάθε άλλη δε θα είναι θεμελιώδης»

αλλά και επιμένει κατά τη συζήτηση

«Ναι το υδρογόνο είναι στη θεμελιώδη κατάσταση τέλος πάντων, και μας λέει ότι να είναι έξω από το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό. Και αφού είναι θεμελιώδης εκεί, έχει και τη μικρότερη ενέργεια, οπότε δεν μπορεί να πάει σε άλλο τροχιακό επομένως...»

Στη συνέχεια και μετά από σύντομη συζήτηση δέχονται την πιθανολογική προσέγγιση τόσο ο A9 όσο και η K11, που λένε αντίστοιχα:

«Εξαρτάται πώς θα το ορίσουμε το τροχιακό. Άμα το ορίσουμε να έχει ένα ορισμένο μέγεθος, κάπου να σταματάει, τότε υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα»

«Ότι έχει [πιθανότητα να βρεθεί έξω], ότι γίνεται».

Στην ερ. 13 ο A10 και η K11 απαντούν σωστά, ενώ ο A9 προσπαθώντας να δικαιολογήσει το δεύτερο σχήμα γράφει ότι:

«η ύπαρξη ηλεκτρονίων στο 2p τροχιακό προϋποθέτει ένα μεγάλο πυρήνα ο οποίος αυξάνει την έλξη και άρα δε θα μπορούν να απομακρυνθούν από τον πυρήνα.»

Μετά από σύντομη συζήτηση ο A9 διαπιστώνει ότι το σχήμα 2 σταματά απότομα και άρα είναι λάθος διότι:



«... δεν υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί έξω από κει. [κάτι που είναι λάθος]...
[Έπρεπε] να υπάρχουν και άλλες κουκίδες, πιο αραιά και σε μεγαλύτερη
απόσταση.»

Η Κ11 ερωτάται αν η σωστή απάντηση που έδωσε σε αυτήν την ερώτηση μοιάζει με τις απαντήσεις που έδωσε σε άλλες ερωτήσεις και παραδέχεται ότι:

«... υπάρχει μια μικρή αντίφαση με την ερ. 8»

και ότι η απάντηση που έδωσε στην ερ. 8 ήταν λάθος. Με αφορμή τα όσα έγραψε ο Α9 στην απάντησή του γίνεται μια συζήτηση για το 1s τροχιακό των άλλων ατόμων και ο Α9 λέει ότι:

«...στον υδρογόνο θα αραιώνουν οι τελίτσες λίγο πιο μακριά από τον πυρήνα γιατί έχει μόνο ένα πρωτόνιο στον πυρήνα και το έλκει με μικρή δύναμη, ενώ στο βόριο έχει περισσότερα πρωτόνια ο πυρήνας και έλκει με μεγαλύτερη δύναμη.
[Ετσι] για την ίδια πιθανότητα του χαλκού θα είναι λίγο πιο μικρό.»

και ο Α10 ότι:

«... είναι διαφορετικά σχηματικά τα τροχιακά.»

Με αφορμή την ερώτηση

«ΕΡ1: Μήπως είναι και για κάποιο άλλο λόγο διαφορετικά, το 1s του χαλκού από το 1s του υδρογόνου; Σε τι άλλο διαφέρει ένα ηλεκτρόνιο στο χαλκό που είναι στο 1s από το ηλεκτρόνιο που είναι στο υδρογόνο πάλι 1s ...;»

γίνεται μια αναφορά στην ερ. 11, όπου είχαν απαντήσει σωστά και οι τρεις, όμως δυσκολεύτηκαν να συνειδητοποιήσουν ότι η μη ακριβής λύση έχει συνέπεια τα τροχιακά στα πολυηλεκτρονιακά άτομα να είναι προσεγγιστικά και αυτό παρά το γεγονός ότι αυτό διαφαίνεται μέσα από τις απαντήσεις τους. Γράφει χαρακτηριστικά ο Α10

«... Στην περίπτωση ύπαρξης παραπάνω του ενός ηλεκτρονίου, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε την επίδραση που ασκεί το ένα ηλεκτρόνιο στο άλλο....»

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της αναλογίας:

«ΕΡ2: ... Ο Γιάννης σήμερα έχει γενέθλια, είναι είκοσι χρονών και ο Κώστας είναι είκοσι χρονών, οι ηλικίες του Γιάννη και του Κώστα ...»

φαίνεται να κατανοούν την προσεγγιστική φύση των τροχιακών στα άλλα άτομα.

Στην ερ. 14 δεν είχαμε καμία σωστή απάντηση, και οι τρεις δεν μπορούν να κατανοήσουν πώς είναι δυνατό να γίνεται αφαίρεση. Ο Α9 λέει μιλώντας για την απάντηση του ότι:

«Εδώ εννοώ ότι μπορούμε να το δημιουργήσουμε μόνο μαθηματικά, [ενώ] χημικά, στην πράξη, δεν μπορούμε να το δημιουργήσουμε.»

Την άποψη ότι αφαίρεση δε γίνεται στην πράξη ο Α9 διατηρεί μέχρι το τέλος. Ο Α10 που δεν είχε δώσει απάντηση, όταν του ζητήθηκε να απαντήσει λέει ότι:

«Πάλι δεν έχω ξεκαθαρίσει στο μυαλό μου αυτό το θέμα με το μαθηματικό και το πρακτικό είπαμε, καλά εντάξει αφαίρεση, αλλά δεν μπορώ να το βάλω αυτό στο μυαλό μου, πώς γίνεται αυτό, να γίνει αφαίρεση μαθηματική των...»

για να συμπληρώσει η Κ11:

«Ούτε εγώ μπορώ να το...»

Φαίνεται να υπάρχει το εξής εννοιολογικό πρόβλημα: Πώς είναι δυνατό να έρχονται κοντά τα άτομα και, αντί να δημιουργείται δεσμός, τα ατομικά τροχιακά να αφαιρούνται και να μη γίνεται δεσμός; Γιατί να αφαιρούνται; Λέει απορώντας ο Α10:

«Το σκεπτικό δηλαδή είναι ότι πάντα έρχονται κοντά και ενώ ας πούμε ο κανόνας θα έλεγε ότι έπρεπε να γίνει δεσμός με το αντίθετο, δηλαδή την πρόσθεση των τροχιακών, δεν μπορώ να καταλάβω πώς δε θα γίνει αυτό το πράγμα. Δηλαδή θα γίνει αφαίρεση, δε θα υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, άρα δε θα γίνει. Ως προς αυτό δεν μπορώ να καταλάβω.»

Ομαδική συνέντευξη 3

Στη συνέντευξη αυτή έλαβαν μέρος δύο φοιτήτριες και δύο φοιτητές του τμήματος ΤΒ. Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο των φοιτητών αυτών στις ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πίνακα 10.3.

Πίνακας 10.3: Επιδόσεις των φοιτητών της 3^{ης} ομαδικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
K1	0	-	2	2	2	0	6
A1	0	0	2	2	2	-	6
K7	0	2	0	2	-	1	5
A3	0	-	2	0	2	-	4

Πρόκειται για φοιτητές με καλά συνολικά αποτελέσματα στο ερωτηματολόγιο (κεφ 8, πίνακας 8.1), που όμως δεν αντανακλώνται στην επίδοσή τους στις συγκεκριμένες ερωτήσεις. Όπως φαίνεται στον πίνακα 10.3 και οι τέσσερις φοιτητές δεν απάντησαν σωστά στην ερ.1, όλοι έδωσαν απάντηση βασισμένη στο πλανητικό μοντέλο του Bohr. Στην ερ.5 απάντησε σωστά μόνο η φοιτήτρια K7, η K1 και ο A3 δεν απάντησαν, ενώ ο A1 δίνει λάθος απάντηση. Η αρχή της αβεβαιότητας φαίνεται να έχει κατανοηθεί από τη φοιτήτρια K1 και τους φοιτητές A1 και A3. Μια σαφώς πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού φαίνεται να έχουν η φοιτήτρια K1 και ο φοιτητής A1 που απαντούν σωστά τόσο στην ερ. 8 όσο και στην ερ. 13, ενώ οι δύο άλλοι απαντούν σωστά μόνο στη μία από τις δύο ερωτήσεις. Φτωχά αποτελέσματα είχαμε στην ερ. 14 όπου, είτε διότι δεν μπόρεσαν είτε διότι δε θέλησαν να προβληματιστούν, οι A1 και A3 δεν απάντησαν, η K1 έδωσε λάθος απάντηση και μόνο η K7 έδωσε μια εν μέρει σωστή απάντηση.

Αναλυτική παρουσίαση.

Η συζήτηση σ' αυτήν τη συνέντευξη άρχισε από την ερ. 5, διότι όπως ήδη σημειώθηκε στην ερ. 1 οι απαντήσεις και των τεσσάρων ήταν ίδιες και στηρίζονταν στο

πλανητικό μοντέλο. Η ερ. 1 συζητήθηκε χωριστά με κάθε έναν στο τέλος της ομαδικής συζήτησης.

Στην ερ. 5 αρχικά λένε τις απαντήσεις τους, πρώτα ο Α1

«Όχι γιατί ισχύει η αρχή των ημισυμπληρωμένων τροχιακών, η δομή είναι $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$, και στο μεθάνιο σχηματίζονται μοριακά τροχιακά»

και στη συνέχεια η Κ7

«...λέω ότι δεν είναι σύμφωνη με το ότι ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς και ότι θα έπρεπε να σχηματίζονται δύο δεσμοί.»

Γρήγορα όλοι συμφωνούν με την Κ7, όμως όπως αναρωτιέται η Κ1, για να γίνουν τελικά τέσσερις δεσμοί

«η δομή θα αλλάξει και θα γίνει $2s^1 2p_x^1 2p_y^1$ και $2p_z^1$;».

Στη συνέχεια το θέμα εντοπίζεται στη γωνία που θα σχημάτιζαν οι δύο δεσμοί όπου οι φοιτητές συναντούν δυσκολία και αρχικά δέχονται ένα ευθύγραμμο μόριο:

«Θα 'τανε ευθεία.»

και μετά από αρκετή συζήτηση δέχονται ότι η γωνία έπρεπε να είναι 90°. Την αλλαγμένη δομή που εισηγήθηκε η Κ1 τη συνάντησε στον υβριδισμό, για τον οποίο όλοι κάτι άκουσαν στο σχολείο ή στο φροντιστήριο, επιφανειακά όμως αφού ήταν εκτός ύλης. Από τη συζήτηση δε γίνεται φανερό αν τελικά ταυτίζουν τη διηγεμένη αυτή δομή με τον υβριδισμό.

Μετά από αναφορά στην αρχή της αβεβαιότητας, γίνεται συζήτηση για την ερ. 7 την αιτία δηλαδή που υπάρχει η αβεβαιότητα στον μικρόκοσμο. Στην ερώτηση αυτή η Κ7 επιλέγει το β και οι υπόλοιποι το σωστό, δηλαδή το α. Κανένας δεν πείθεται να αλλάξει θέση κατά τη διάρκεια της συζήτησης. Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά του Α3 στο νοητικό πείραμα του Αϊνστάιν:

«Θα συμφωνήσω με το α, υπάρχουν τα όργανα, δηλαδή μπορούμε να βομβαρδίσουμε με φωτόνια ένα ηλεκτρόνιο. Η σύγκλιση φωτονίων και ηλεκτρονίων θα αλλάξει, εγώ πιστεύω, την ορμή του ηλεκτρονίου και όταν φτάσει το φωτόνιο στο μάτι μας θα 'χει... δε θα είναι ίδια ορμή και ... καταλάβετε θα 'χει αλλάξει. Θα έχει μεταβληθεί η ορμή.»

Τη δήλωση αυτή όμως η Κ7 εκλαμβάνει ως επιβεβαίωση τού ότι:

«... απλώς κάνει το σφάλμα ο ανθρώπινος παράγοντας»

Σχετικά με το μακρόκοσμο δέχονται όλοι ότι δεν υπάρχει αβεβαιότητα, αν και η Κ7 δεν είναι και τόσο σίγουρη αφού λέει:



» «Και να ισχύει, το σφάλμα θα είναι τόσο απειροελάχιστο που το θεωρούμε μηδέν.»

- Σημειώνεται ότι σε αυτή τη συνέντευξη η αναφορά στο μακρόκοσμο ήταν πολύ σύντομη και δεν επηρέασε τους φοιτητές, σε αντίθεση με άλλες συνεντεύξεις.

Στην ερ. 8 έχουμε τρεις σωστές απαντήσεις και μόνο ο Α3 κάνει λάθος, θεωρώντας ότι μπορεί το ηλεκτρόνιο να φύγει από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό όταν διεγερθεί:

«Στο άτομο του υδρογόνου το ηλεκτρόνιο στη θεμελιώδη του κατάσταση βρίσκεται στο τροχιακό $1s$. Εάν όμως διεγερθεί, μπορεί να καταλάβει οποιοδήποτε τροχιακό, π.χ. $2s$, $3s$, $3p$ κτλ»

Ακολουθεί συζήτηση και ο Α3 δέχεται την σωστή άποψη των άλλων όταν η Κ7 του υποδεικνύει το σχήμα 1 της ερ. 13:

«Υπάρχει ένα ποσοστό 1-2% να είναι το ηλεκτρόνιο έξω από το τροχιακό $1s$, όπως με το άλλο, την πυκνότητα στα διαγράμματα που είχαμε κάνει, όπως αυτό (ερώτηση 13, σχήμα 1), γιατί είναι s , είναι σφαιρικό... οπότε κάποιες από τις εξωτερικές κουκίδες θα είναι έξω...».

Στη συνέχεια γίνεται μια συζήτηση για το μέγεθος του κύκλου που θα έπρεπε να σχεδιαστεί στο σχήμα 1 της ερ. 13, ώστε να ορισθεί το $1s$ τροχιακό. Οι Α1 και Α3 θέλουν ένα μικρό κύκλο:

«εκεί που είναι μεγαλύτερη η πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους, των στιγμών.»

ενώ οι Κ1 και Κ7 προτιμούν ένα μεγαλύτερο κύκλο έτσι που να:

«αφήνει μικρότερο ποσοστό να βρεθεί έξω από τον πυρήνα, έξω από το τροχιακό.»

Την άποψή τους αυτή τη διατηρούν μέχρι το τέλος. Στη συνέχεια γίνεται μια σύγκριση ανάμεσα στα τροχιακά $1s$ και $2s$ και σχετικά εύκολα δέχονται όλοι ότι ένα ηλεκτρόνιο που είναι στο $1s$ μπορεί με μικρές πιθανότητες να βρεθεί στο χώρο που ορίζεται ως $2s$ τροχιακό και το αντίθετο:

«Επομένως ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο $2s$ μπορεί να βρεθεί στο χώρο του $1s$, έτσι δεν είναι; Αλλά είναι μικρότερη η πιθανότητα.»

Η συζήτηση επανέρχεται στο μέγεθος των τροχιακών με την ερώτηση του ερευνητή:

«ΕΡ1: Είναι δυνατό να σχεδιάσω το $2s$ πιο μικρό από το $1s$;»

η οποία συναντά την καθολική άρνηση:

«Εφ' όσον έχει μεγαλύτερη ενέργεια και μεγαλύτερο μέγεθος, όχι αποκλείεται.»

Η απάντηση εξακολουθεί να είναι αρνητική ακόμη και όταν αναφέρεται σε σχήματα σε διαφορετικά βιβλία

«EP1: Κάποιο βιβλίο δίνει τα τροχιακά με πιθανότητα 90%, και κάνει τα σχήματά τους, και κάποιο με 99%. Υπάρχει περίπτωση σ' αυτήν την περίπτωση το 2s, να 'χει πιο μικρή ακτίνα από το 1s, τι λέτε;»

Στην ερ. 13 είχαμε τρεις σωστές απαντήσεις, ενώ η K7 δεν απάντησε καθόλου. Γίνεται μια συζήτηση κατά την οποία ζητείται από την K7 να επισημάνει διαφορές ανάμεσα στα δύο σχήματα της ερ. 13. Η K7 επισημαίνει άλλες διαφορές, όπως για παράδειγμα:

«Η διαφορά είναι ότι το ένα είναι σε σφαιρικό σχήμα και το άλλο είναι σε σχήμα λοβού»

Τελικά συνειδητοποιεί το λάθος όταν της υποδεικνύεται να δει τα όρια των δύο τροχιακών όπως είναι ζωγραφισμένα στις δύο εικόνες:

«EP2: Εάν σου έλεγα να μου δείξεις πού τελειώνει το σχήμα 1 και πού τελειώνει το σχήμα 2;»

«K7: Θα έλεγα ότι υπάρχει λάθος στο δεύτερο σχήμα. Ότι οι στιγμές, οι κουκίδες τελειώνουν..., σταματάει η πιθανότητά τους ξαφνικά, ενώ θα 'πρεπε να υπάρχουν και κάποιες αραιές.»

Στο σημείο αυτό τελειώνει η συζήτηση της ερ. 13. Αξίζει να σημειωθεί ότι η K7 είχε απαντήσει σωστά στην ερ. 8 και μάλιστα ήταν αυτή που τελικά έπεισε τον A3 για τη σωστή άποψη, υποδεικνύοντάς του το σχήμα 1 της ερ. 13. Δε μπόρεσε όμως μόνη της να σκεφτεί το ίδιο και για το σχήμα δύο.

Στην ερ. 14 οι φοιτητές A1 και A3 δεν απαντούν, η K1 θεωρεί αδύνατη την αφαίρεση διότι τα τροχιακά είναι

«...χώροι όπου μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο και όχι απλά αριθμοί που μπορούν να αφαιρεθούν.»

άποψη που επαναλαμβάνει κατά τη διάρκεια της συνέντευξης και τη διατηρεί μέχρι το τέλος. Η K7 λέει ότι αν γινόταν αυτό, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, δεν αναφέρει όμως τίποτε για το χημικό δεσμό. Με την έναρξη της συζήτησης, ο A1 λέει ότι στο πανεπιστήμιο έμαθε ότι η αφαίρεση είναι δυνατή. Ο A3 θεωρεί την αφαίρεση αδύνατη διότι



«... δε γίνεται αφαίρεση γιατί υπερισχύει η έλξη πρωτονίων και ηλεκτρονίων από την άπωση των δύο πυρήνων.»

Η Κ7 εύκολα δέχεται ότι μείωση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας σημαίνει και εξασθένηση του χημικού δεσμού, θέση με την οποία συμφωνεί ο Α1, ενώ ο Α3 προβάλλει νέα αντίρρηση:

«στη φύση όμως γιατί να υπάρξει εξασθένηση των δεσμών και όχι σταθερότητα των δεσμών;»

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην κυματική φύση του ηλεκτρονίου:

«ΕΡ1: Εγώ θα σας πω κάτι άλλο, πάρτε δύο κύματα, μοιάζουν τα ηλεκτρόνια με κύματα; Μοιάζουν με κύματα τα ηλεκτρόνια; Ναι ή όχι;»

Με το παράδειγμα των κυμάτων της θάλασσας γίνεται προσπάθεια ναδειχθεί ότι η συμβολή δύο κυμάτων μπορεί να σημαίνει και αφαίρεση. Όμως ούτε ο Α3 ούτε η Κ1 πείθονται. Για την Κ1 τα ατομικά τροχιακά

«Είναι χώροι όπου υπάρχει πιθανότητα γύρω στο 99% να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο μέσα.»

ενώ για τον Α3

«χώροι με συγκεκριμένο σχήμα και προσανατολισμό, μέσα στους οποίους μπορεί να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο οπουδήποτε.»

Για τους φοιτητές αυτούς επομένως αυτοί οι χώροι δεν μπορεί να αφαιρούνται.

Ακολουθούν ατομικές συνεντεύξεις για την ερ. 1 στην οποία, όπως έχει ήδη σημειωθεί, όλοι οι φοιτητές σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου με βάση το πλανητικό ατομικό μοντέλο. Αρχικά η Κ1, με την έναρξη της συζήτησης, λέει ότι:

«Εγώ το σχήμα αυτό το έκανα επειδή είναι ένα σχήμα το οποίο το συναντάμε πολύ συχνά σε βιβλία.»

ενώ τώρα θα ζωγράφιζε ένα άλλο σχήμα και αυτό θα ήταν μια κυκλική τροχιά πάλι, στην οποία

«το ηλεκτρόνιο δε θα 'τανε ένα κυκλάκι το οποίο συμβολίζει ένα σώμα, αλλά θα 'τανε κάποιο νέφος, κάποια συχνότητα. Το οποίο θα μετακινείται γύρω-γύρω από το τροχιακό»

Έχουμε δηλαδή μια προσπάθεια συνδυασμού του πλανητικού μοντέλου με το κβαντικό μοντέλο, όπου το ηλεκτρόνιο σαν ένα σύνολο κουκίδων κινείται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένη τροχιά. Παρατηρείται επίσης ταύτιση των όρων τροχιά και τροχιακό. Η

συζήτηση συνεχίζεται για να καταλήξει τελικά σε μια διευρυμένη, πιο απλωμένη, τροχιά, που πάλι συνδυάζει τα δύο μοντέλα, αν και η K1 αναγνωρίζει τελικά ότι:

«αυτό μοιάζει περίπου με το τροχιακό 1s.»

Παρόμοια προσέγγιση παρατηρείται και στη συζήτηση με την K7, για την οποία αρχικά το ηλεκτρόνιο θα ήταν ένα ηλεκτρονιακό νέφος που θα το βλέπαμε σε ένα σημείο της τροχιάς. Όταν της επισημαίνεται ότι το ηλεκτρόνιο κινείται πολύ γρήγορα, καταλήγει και αυτή σε μια διευρυμένη, πιο απλωμένη, τροχιά, που πάλι συνδυάζει τα δύο μοντέλα, χαράζει μάλιστα και την τροχιά αν και διαπιστώνει ότι το σχήμα τώρα μοιάζει

«με το σχήμα που είχαμε κάνει πριν στο 1s τροχιακό»

Αν και το σχέδιο του A3 στην ερ. 1 παραπέμπει στο πλανητικό μοντέλο, δεν αναφέρεται σε αυτό και λέει ότι:

«εδώ έχω σχεδιάσει τον πυρήνα και το τροχιακό 1s».

Το σχεδίασε σε σφαίρα βέβαια, με οριακή καμπύλη, οπότε αυτό που παραπέμπει στο πλανητικό μοντέλο είναι το γεγονός ότι στην οριακή αυτή καμπύλη τοποθέτησε και το ηλεκτρόνιο, δίνοντας την εντύπωση ότι πρόκειται για τροχιά. Μετά από συζήτηση δέχεται ότι δεν είναι δυνατό να δει κανείς το ηλεκτρόνιο σε συγκεκριμένη θέση και ότι η πιο σωστή απεικόνιση είναι αυτή του ηλεκτρονιακού νέφους.

Στη συνέχεια ο A1 με την έναρξη της συζήτησης δηλώνει ότι:

«... στην πραγματικότητα δεν είναι έτσι.»

όπως το ζωγράφισε δηλαδή, και ότι:

«... ένα ηλεκτρονιακό νέφος, ένα τροχιακό θα 'κανα, όπως αυτό στο σχήμα

1.»

Στο σημείο αυτό η συζήτηση τερματίζεται.



Ομαδική συνέντευξη 4

- Στη συνέντευξη αυτή έλαβαν μέρος δύο φοιτήτριες και δύο φοιτητές του τμήματος ΤΒ. Οι επιδόσεις των φοιτητών αυτών στις γραπτές ερωτήσεις που εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πίνακα 10.4.

Πίνακας 10.4: Επιδόσεις των φοιτητών της 4^{ης} ομαδικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
K2	0	2	0	0	-	0	2
A2	0	2	2	2	0	2	8
K8	0	2	0	2	2	2	8
A4	0	-	2	-	0	0	2

Στην ομάδα αυτή μία φοιτήτρια και ένας φοιτητής, η K8 και ο A2, είχαν πολύ καλά αποτελέσματα τις ερωτήσεις κρίσεως και μέτρια αποτελέσματα στις ερωτήσεις γνώσεως. Αντίθετα η φοιτήτρια K2 είχε απαντήσει σε όλες τις ερωτήσεις γνώσεως και είχε σχετικά καλά αποτελέσματα στις ερωτήσεις κρίσεως. Τέλος ο φοιτητής A4 που απάντησε όλες τις ερωτήσεις γνώσεως, απάντησε μόνο σε μία ερώτηση κρίσεως (κεφ. 8, πίνακας 8.1). Η εικόνα αυτή αντανακλάται και στις ερωτήσεις που εξετάζονται εδώ: έτσι η K8 και ο A2 απάντησαν στις τέσσερις από τις έξι ερωτήσεις, ενώ οι άλλοι δύο μόνο σε μία.

Αναλυτικότερα στην ερ. 1 δεν έχουμε καμιά σωστή απάντηση. Η K2 σχεδιάζει τις στιβάδες K, L και M γύρω από τον πυρήνα και τοποθετεί το ηλεκτρόνιο στην K. Η K8 και ο A4 σχεδιάζουν το ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα, δηλαδή το πλανητικό μοντέλο. Τέλος ο A2 σχεδιάζει τον πυρήνα και σε μια θέση το ηλεκτρόνιο μαζί με ένα άνυσμα ταχύτητας. Στην ερ. 5 έχουμε τρεις σωστές απαντήσεις, ενώ ο A4 δεν απαντά. Στην ερ. 7 οι απαντήσεις είναι μοιρασμένες: ο A2 και ο A4 απαντούν σωστά ενώ η K2 και K8 λάθος. Μια σαφώς πιθανολογική προσέγγιση στην ερ. 8 έχουν η K8 και ο A2, ενώ ο A4 πάλι δεν απαντά. Στην ερ. 13 έχουμε μόνο μία σωστή απάντηση από την K8, ενώ οι δύο φοιτητές A4 και A2 εστιάζουν σε άλλα στοιχεία των σχημάτων και η K2 δεν απαντά. Τέλος στην ερ. 14

οι K8 και A2 έδωσαν σωστή απάντηση κατάφεραν δηλαδή να αξιοποιήσουν και να επεκτείνουν τις γνώσεις τους, αντίθετα οι K2 και A4 αν και προσπάθησαν δεν κατάφεραν να φτάσουν σε σωστά συμπεράσματα.

Αναλυτική παρουσίαση.

Η συζήτηση σε αυτή τη συνέντευξη, όπως και στην προηγούμενη, άρχισε από την ερ.5 διότι όπως έχει ήδη σημειωθεί στην ερ. 1 οι απαντήσεις και των τεσσάρων ήταν λανθασμένες. Η ερ. 1 συζητήθηκε, από όλους μαζί αυτή τη φορά, στο τέλος της ομαδικής συζήτησης.

Στην ερ. 5 αρχικά ο A2 και η K8 διαβάζουν τις απαντήσεις τους, στις οποίες αναφέρονται στον υβριδισμό ως μία διαδικασία που γίνεται. Γράφει σχετικά ο A2:

«... υπόκειται σε υβριδισμό, μια διαδικασία κατά την οποία τα $2s^2$ ηλεκτρόνια λαμβάνουν ένα ποσό ενέργειας... »

και η K8

«...Γίνεται υβριδοποίηση έτσι ώστε να υπάρχουν... ».

Για τον υβριδισμό άκουσαν στο σχολείο ή στο φροντιστήριο αν και ήταν εκτός ύλης. Η K2 στην απάντησή της δεν αναφέρεται στον υβριδισμό για τον οποίο δε γνώριζε. Ακολουθεί σύντομη συζήτηση για το τι πιστεύουν για τον υβριδισμό, όπου ο A8 αν και αρχικά δηλώνει ότι πρέπει να γίνεται, αμέσως διορθώνει λέγοντας ότι

«... πρέπει να γίνεται λογικά γιατί... όχι μάλλον λογικά δε γίνεται γιατί είναι κάποιες φόρμες αυτές που έχουμε βάλει... »

για να καταλήξει ότι

«Ο υβριδισμός είναι κάτι το οποίο κανονικά προϋπάρχει στη φύση.»

Η K8 θεωρεί ότι είναι μια έννοια δανεισμένη από τη βιολογία:

«Εγώ πρώτη φορά άκουσα για υβριδισμό, υβριδοποίηση και όλα αυτά στη βιολογία και θεωρώ ότι, ας πούμε, έχει δανειστεί κάποιους όρους για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε το ίδιο φαινόμενο, ας πούμε, και στη χημεία στη συγκεκριμένη περίπτωση.»

Πάντως εξακολουθεί να θεωρεί τον υβριδισμό ως φαινόμενο. Στη συνέχεια γίνεται συζήτηση με τον A4 ο οποίος δέχεται σύντομα και εύκολα ότι

«...ο άνθρακας έχει τέσσερις δεσμούς, σημαίνει ότι θα 'πρεπε να έχει τέσσερα μονήρη ηλεκτρόνια και όχι δύο, όπως φαίνεται στη δομή εδώ.»



Στην ερ. 7 οι δύο φοιτητές επιλέγουν την απάντηση α ενώ οι φοιτήτριες την β. Στη θέση αυτή παραμένουν μέχρι το τέλος. Αξιοσημείωτη είναι η άποψη που διατυπώνει ο Α2 για τη διαδικασία της μέτρησης:

«Όταν λέμε όμως διαδικασία δεν εννοούμε μόνο τα όργανα. Μπορούμε να εννοούμε και τη μαθηματική πορεία που θα ακολουθήσουμε...»,

και από αυτήν την μαθηματική πορεία θεωρεί ότι προέρχεται η αβεβαιότητα:

«από την εξίσωση την οποία χρησιμοποιούμε για να βρούμε κάποιο από τα δύο, όταν με μεγάλη ακρίβεια προσδιορίζουμε το ένα, εξαλείφεται η ακρίβεια στο άλλο.»

Η αναφορά στο μακρόκοσμο δεν επηρεάζει την άποψη του Α8 για την αιτία των σφαλμάτων στο μικρόκοσμο, επιμένει δηλαδή στη θέση του παρά το γεγονός ότι δέχεται πως στο μακρόκοσμο αιτία των σφαλμάτων είναι τα όργανα. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι η Κ2 έχει απαντήσει ότι σωστό είναι το β, κάνοντας ακριβώς αυτή τη μεταφορά από το μακρόκοσμο στο μικρόκοσμο:

«Εγώ θεώρησα ότι είναι πιο πειστικό το δεύτερο γιατί σύμφωνα μ' αυτά που έχουμε κάνει, ή στη φυσική ή στη χημεία είτε οπουδήποτε, συνήθως τα όργανα έχουνε κάποια προβλήματα και δημιουργούνται σφάλματα.»

Στην ερ. 8 φαίνεται ο έντονα πιθανολογικός τρόπος προσέγγισης των τροχιακών από τους Κ8 και Α2, με την άποψη των οποίων συμφωνούν τόσο ο Α8 που δεν είχε απαντήσει όσο και η Κ2 που παρασύρθηκε από τη φράση

«θεμελιώδη κατάσταση»

και απάντησε λάθος, παρά το γεγονός ότι στην αρχή σκέφτηκε να δώσει την απάντηση που έδωσαν οι Κ8 και Α2. Αξίζει να σημειωθεί ο διαχωρισμός που κάνει ο Α2 στις έννοιες τροχιακό και ηλεκτρονιακό νέφος:

«Το τροχιακό είναι ο χώρος στον οποίο υπάρχει πιθανότητα νομίζω 95 ή 99% να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, ενώ το ηλεκτρονιακό νέφος από την άλλη όλες οι πιθανές θέσεις τις οποίες μπορεί να λάβει το ηλεκτρόνιο»,

γεγονός που δείχνει σύγχυση ανάμεσα στο χώρο που ορίζεται ως τροχιακό και στο ίδιο το τροχιακό. Η συζήτηση στη συνέχεια εστιάζεται στο μέγεθος του τροχιακού, όπου γίνεται δεκτό τόσο από τον Α2 όσο και από την Κ8 που συμμετέχουν σ' αυτήν ότι το σχήμα των τροχιακών μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο. Αυτό που θα αλλάζει κάθε φορά είναι οι πιθανότητες να βρίσκεται μέσα σε αυτό το ηλεκτρόνιο:

«Το ένα θα έχει μεγαλύτερη πιθανότητα στο να βρεθεί εκτός τροχιακού ένα ηλεκτρόνιο.»

Στην ερ. 13, όπου έχουμε τέσσερις διαφορετικές απαντήσεις, σωστή απάντηση έδωσε μόνο η Κ8. Ο Α4 θεωρεί ότι οι κουκίδες στο δεύτερο σχήμα έπρεπε να είναι πιο αραιές, όμως μέσα στα όρια των δύο λοβών. Παρά το γεγονός ότι πιέζεται να δεχθεί και για το δεύτερο σχήμα κουκίδες πιο μακριά, δε δέχεται παρά μόνο ελάχιστες στην εξωτερική πλευρά των ορίων, όπως αυτά φαίνονται στο σχήμα. Ο Α2 απαντά με βάση την παρανόησή του που ήδη αναφέρθηκε στην ερ. 8. Το σχήμα 1 είναι ηλεκτρονιακό νέφος στο οποίο δεν καθορίζονται όρια, ενώ το σχήμα 2 τροχιακό που έχει όρια:

«... το σχήμα το 1 δείχνει ηλεκτρονιακό νέφος, ενώ το σχήμα 2 δείχνει τροχιακό.»

Πάντως είναι γεγονός ότι αναγνωρίζει τη διαφορά που υπάρχει στα δύο σχήματα, έστω και αν την ερμηνεύει διαφορετικά. Η Κ2, που δεν είχε απαντήσει στην ερώτηση, ακούγοντας την όλη συζήτηση λέει ότι:

«... χρειαζόταν κάποιες κουκίδες λίγο πιο έξω, ας πούμε όπως το πρώτο σχήμα, να φαίνεται η πιθανότητα.»

Αντλαμβάνεται δηλαδή το λάθος που υπήρχε στα δύο σχήματα. Τέλος να αναφερθεί η άποψη για τα μοντέλα που εκφράζει ο Α2:

«Δε θεωρώ κάτι κοντά στην πραγματικότητα. Όλα αυτά τα θεωρώ ένα κατασκευάσμα που μας φέρατε εσείς οι χημικοί για να μας απλοποιήσετε τα πράγματα.»

Στην ερ. 14 δε γίνεται ιδιαίτερη συζήτηση, αλλά οι φοιτητές απλώς αναφέρουν τις απαντήσεις τους, ενώ ο Α2 βρίσκει ότι η απάντηση της Κ2:

«Όχι δε θα μπορούσε να γίνει αυτό γιατί δε θα είχαμε πλήρη ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο κάθε τροχιακό πλέον»

μοιάζει με τη δική του:

«Θα μπορούσε. Τότε η ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο αυτό θα μειωνόταν σημαντικά και ο δεσμός θα έσπαζε»

διότι:

«από την στιγμή που δε θα είχαμε λοιπόν πλήρη ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο κάθε τροχιακό πλέον, θα έσπαγε ο δεσμός του μοριακού τροχιακού, άρα θα σχηματιζόντουσαν και πάλι δύο ατομικά τροχιακά.»



Η Κ2 συμφωνεί με τον Α2

«Μάλλον έχει δίκαιο... απλά δεν κάθισα να το σκεφτώ και πολύ»

Ακολουθεί συζήτηση για την ερ. 1. Η Κ8 και ο Α4 που είχαν σχεδιάσει το ηλεκτρόνιο σε τροχιά δέχονται από την αρχή ότι:

«Θα μπορούσε να σχεδιάσουμε τον πυρήνα και ένα ηλεκτρόνιο οπουδήποτε ουσιαστικά.»

Η μόνη αλλαγή στο σχέδιο τους θα ήταν

«δε θα ζωγράφιζα την τροχιά του ηλεκτρονίου».

Ένα τέτοιο σχέδιο είχε σχεδιάσει ο Α2, μάλιστα με το τυχαίο άνυσμα της ταχύτητας θέλησε να δείξει την τυχαία κίνηση του ηλεκτρονίου. Είναι φανερό ότι και οι τρεις μιλάνε για μια στιγμιαία «φωτογραφία» του ηλεκτρονίου. Στην ερώτηση:

«... τι θα βλέπω άμα το κοιτάω πολλή ώρα»,

αν και καταλαβαίνουν ότι:

«Θα βλέπαμε τον πυρήνα με το ηλεκτρόνιο να περιστρέφεται σε διάφορες θέσεις»,

δεν καταλήγουν στο ηλεκτρονιακό νέφος. Μάλιστα ο Α2 λέει:

«Τι θα 'βλεπα; Ε, ένα ηλεκτρονιακό νέφος, μάλλον όχι δε θα 'βλεπα ένα ηλεκτρονιακό νέφος, θα έβλεπα το ηλεκτρόνιο σε διάφορα σημεία να...»

καταλήγει δηλαδή στο ηλεκτρονιακό νέφος αλλά δεν το δέχεται διότι

«...το ηλεκτρονιακό νέφος όμως είναι από τελίτσες.»

Αντίθετα η Κ2 που είχε σχεδιάσει στοιβάδες, τις είχε ονομάσει μάλιστα, ενώ λέει ότι έχει σχεδιάσει τροχιές, δέχεται την ιδέα του ηλεκτρονιακού νέφους και γρήγορα διορθώνει:

«Βασικά κάπως είναι αυτό σαν τροχιακό, πιο πολύ ηλεκτρονιακό νέφος».

Ομαδική συνέντευξη 5

Στη συνέντευξη αυτή έλαβαν μέρος τρεις φοιτήτριες του τμήματος Βιολογικών Επιστήμων και Τεχνολογίας. Οι επιδόσεις των φοιτητριών αυτών στις γραπτές ερωτήσεις στις οποίες εστιάστηκε η συνέντευξη φαίνονται στον πίνακα 10.5.

Πίνακας 10.5: Επιδόσεις των φοιτητών της 5^{ης} ομαδικής συνέντευξης στο γραπτό ερωτηματολόγιο.

Κωδικός	Ερωτήσεις						Αθροισμα
	1	5	7	8	13	14	
K3	0	2	2	2	0	0	6
K4	2	2	0	0	2	2	8
K6	2	-	0	0	2	2	6

Πρόκειται για φοιτήτριες με καλή επίδοση στο ερωτηματολόγιο (από 16 έως 18). Η επίδοση τους στις ερωτήσεις κρίσεως κυμαίνεται από 8/18 μέχρι 12/18 ενώ στις ερωτήσεις γνώσεως από 6/10 μέχρι 8/10 (κεφ 8, πίνακας 8.1). Σε όλες τις ερωτήσεις που αναλύονται εδώ παρατηρούνται αντίθετες απαντήσεις. Σε αυτήν την αντίθετη προσέγγιση, που γίνεται από ικανές φοιτήτριες, βρίσκεται και το ενδιαφέρον αυτής της συνέντευξης.

Αναλυτικότερα στην ερ. 1 η K3 σχεδιάζει τρεις τροχιές-στοιβάδες και τοποθετεί το ηλεκτρόνιο στην εσωτερική, η K4 τροχιακό s με μορφή σφαίρας και η K6 ηλεκτρονιακό νέφος. Στην ερ. 5 η K6 δεν απαντά, ενώ στις σωστές απαντήσεις των K3 και K4 γίνεται αναφορά στη διεγερμένη δομή και σε υβριδισμό αντίστοιχα. Στην ερ. 7 μόνο η K3 επιλέγει το α, τη σωστή απάντηση δηλαδή. Στην ερ. 8 πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών φαίνεται να έχει μόνο η φοιτήτρια K3. Αντίθετα η K4 απαντά σκεπτόμενη ηλεκτρονιακές δομές, ενώ η K6 διεγερμένες καταστάσεις. Στην ερ. 13 έχουμε δύο σωστές απαντήσεις από τις K4 και K6, ενώ η K3 θεωρεί ότι η κατανομή πιθανοτήτων μέσα στους λοβούς, στο σχήμα 2 είναι λάθος, έπρεπε να είναι αντίθετα από όπως φαίνεται στο σχήμα. Στην ερ. 14 οι φοιτήτριες K6 και K4 κατορθώνουν να αξιοποιήσουν και να επεκτείνουν τις γνώσεις τους. Αντίθετα η K3 αν και καταλαβαίνει πως κάτι θα αλλάξει στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα, δεν κατάφερε να το προσδιορίσει σωστά, να φτάσει σε σωστά συμπεράσματα.



Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 η K3 παρουσιάζει μια σύγχυση ανάμεσα στους όρους στιβάδα, υποστιβάδα και τροχιακό, αποκαλώντας το $1s$ τροχιακό και με τους τρεις όρους. Τελικά όμως καταλήγει στον όρο τροχιακό. Αν και στο σχέδιό της έχει ζωγραφίσει τρεις διακεκομμένες τροχιές γύρω από τον πυρήνα, που σαφώς παραπέμπουν σε στοιβάδες, αρχικά τις ταυτίζει με τα τροχιακά:

«είναι τα τροχιακά ο χώρος που υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.»

τελικά όμως παραδέχεται:

«... είναι αυτό που έχουμε μάθει από την πρώτη γυμνασίου [λυκείου] πως γίνεται.»

Η K4, που έχει ζωγραφίσει το τροχιακό $1s$ με οριακή καμπύλη λέει:

«... μέσα στο μεγαλύτερο κύκλο περιλαμβάνεται το s τροχιακό και υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο»,

ενώ η K6 έχει ζωγραφίσει ηλεκτρονιακό νέφος. Στην ερώτηση ποιο από τα τρία σχήματα αποδίδει καλύτερα το άτομο του υδρογόνου συμφωνούν ότι το σχέδιο της K6 αποδίδει καλύτερα:

«επειδή είναι ο πυρήνας και γύρω-γύρω είναι η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου, να βρεθεί στο $1s$, η οποία δε μηδενίζεται ούτε σε άπειρη απόσταση από τον πυρήνα».

Αντίθετα το σχέδιο της K4

«περιορίζει την πιθανότητα και τη μηδενίζει σε κάποια απόσταση».

Στην ερ. 5 αρχικά η K6, που δεν είχε απαντήσει την ερώτηση, γράφει τη θεμελιώδη δομή του άνθρακα και διαπιστώνει ότι συμφωνεί με τη δομή που αναφέρει η ερώτηση. Αμέσως, και εύκολα σχετικά, διαπιστώνει ότι στη δομή αυτή υπάρχουν μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια

«... βλέπουμε [ότι] υπάρχουν μόνο δύο μονήρη ηλεκτρόνια, ένα στο p_x και ένα στο p_y »

Στή συνέχεια η συζήτηση εστιάζεται στη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1$ και $2p_z^1$, που αναφέρει στην απάντησή της η K3, και κατά πόσο η δομή αυτή συμφωνεί με ισοδύναμους δεσμούς και καταλήγει ότι:

«δε θα ήταν ισοδύναμοι αυτοί οι δεσμοί.»

Γίνεται επίσης λόγος για τον υβριδισμό, που η Κ6 τον αντιλαμβάνεται ως μεταπήδηση ηλεκτρονίων

«σε καταστάσεις μεγαλύτερης ενέργειας, με σκοπό ακριβώς αυτόν, να δημιουργήσουν δεσμούς»,

ενώ η Κ3 ως

«ανακατανομή των ηλεκτρονίων στην εξωτερική στιβάδα.»

Στην ερ. 7 η Κ3 είχε επιλέξει το α ενώ οι άλλες δύο το β. Καινούργιες όμως γνώσεις που έμαθαν στο πανεπιστήμιο τις παραμονές της συνέντευξης τις κάνουν να αλλάξουν γνώμη και να συνταχθούν με τη γνώμη της Κ3, να επιλέξουν δηλαδή το α. Η συζήτηση δεν επεκτείνεται.

Στην ερ. 8 η Κ6 απάντησε ότι για να βρεθεί το ηλεκτρόνιο έξω από το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό πρέπει να είναι σε διηγερμένη κατάσταση. Τώρα αυθόρμητα διορθώνει, λέγοντας ότι μετά τη συζήτηση που έγινε, κυρίως για την ερ. 1,

«αν ζητούσατε πάλι να την απαντήσω ξανά, θα 'λεγα ότι ναι μπορεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου να βρεθεί εκτός του τροχιακού 1s όπως έχω σχεδιάσει αυτές τις τελίτσες στην 1».

Παρόμοια θέση εκφράζει και η Κ4 που επίσης είχε απαντήσει αρνητικά στο ερωτηματολόγιο, συμπληρώνοντας μάλιστα ότι:

«η διαφορά μεταξύ των καταστάσεων είτε της θεμελιώδους κατάστασης είτε κάποιας διηγερμένης εξαρτάται μόνο από την ενέργεια και όχι από το χώρο.»

Η τελευταία αυτή φράση δίνει την αφορμή για σύντομη συζήτηση η οποία καταλήγει στο ότι η ενέργεια εξαρτάται από την απόσταση οπότε τίθεται το ερώτημα:

«ΕΡ1: Ένα ηλεκτρόνιο που είναι στο 1s τροχιακό είναι δυνατό να βρεθεί, είναι δυνατό να είναι πιο μακριά από τον πυρήνα από ένα ηλεκτρόνιο που είναι στο 2s;»

Τόσο η Κ6 όσο και η Κ4 δέχονται ότι αυτό είναι δυνατό λέγοντας αντίστοιχα

«Στιγμιαία, ναι»

και

«Σύμφωνα με τον ορισμό του τροχιακού πιστεύω πως ναι είναι δυνατό»

Οι απαντήσεις αυτές και κυρίως ο άμεσος τρόπος που εκφράστηκαν δείχνουν ότι οι φοιτήτριες αυτές έχουν αποκτήσει μια σαφή πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του



τροχιακού. Σημειώνεται ότι η K3 είχε απαντήσει σωστά στην ερώτηση αυτή και διαβάζει την απάντησή της με την ολοκλήρωση της συζήτησης για την ερ. 8.

Στην ερ. 13 η K3 λέει στην αρχή ότι η απάντηση που έδωσε

«Το λάθος είναι στο σχήμα 2 αφού η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου στα p τροχιακά είναι μέγιστη μακριά από τον πυρήνα και ελάχιστη κοντά στον πυρήνα»

είναι λανθασμένη γιατί αναφέρεται στον δεσμό π και όχι στο τροχιακό p . Τώρα πιστεύει ότι:

«και το σχήμα δεύτερο είναι σωστό».

Ακολουθεί σύντομη συζήτηση κατά την οποία η K3 συνειδητοποιεί

«Ότι [η πυκνότητα στο σχήμα 1] δε μηδενίζεται πουθενά ενώ εδώ πέρα [στο σχήμα 2] μηδενίζεται»

οπότε και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι:

«το σχήμα 2 είναι λάθος γιατί μηδενίζει την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου»

Οι K4 και K6 που είχαν απαντήσει σωστά στην ερώτηση αυτή απλώς επαναλαμβάνουν τις απαντήσεις τους και η συζήτηση για την ερ. 13 τελειώνει.

Στην ερ. 14 η K3 λέει στην απάντησή της:

«Αν υποθετικά γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών θα άλλαζε η ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων ... θα δημιουργούνταν νέα μοριακά τροχιακά άρα και νέοι χημικοί δεσμοί».

Επισημαίνει δηλαδή την αλλαγή, χωρίς να καθορίζει την κατεύθυνση αυτής της αλλαγής. Αντίθετα οι K4 και K6 απαντούν σωστά στην ερώτηση με τη διαφορά ότι η K6 μιλά μόνο για σπάσιμο δεσμών:

«... να έσπαγε ο χημικός δεσμός»

ενώ η K4 και για εξασθένηση:

«... ο χημικός δεσμός ή θα γινόταν πιο ασθενής ή θα λυόταν.»

Επισημαίνεται αυτή η διαφορά και ακολουθεί συζήτηση κατά την οποία η K6 δέχεται ότι μπορεί να υπάρξει και εξασθένηση δεσμού. Στο τέλος η K3 δέχεται την άποψη των άλλων δύο; λέει όμως πως και η δική της απάντηση ήταν στην ίδια κατεύθυνση:

«Εγώ είπα ότι θα γινότανε καινούργιοι χημικοί δεσμοί, και νομίζω ότι αυτό είναι. Καινούργιοι, όχι κάποιοι που δεν έχουμε ξαναδεί απλά διαφορετικοί από αυτούς που υπήρχαν όταν είχαμε τη σύνθεση»

Σημειώνεται ότι σε μια προσπάθειά της η Κ4 να εμβαθύνει στην απάντησή της κάνει λάθη, που δείχνουν την επιφανειακή προσέγγιση στο θέμα και τα πολλά νοητικά προβλήματα που υπάρχουν για την πλήρη νοηματική κατανόηση:

«Αν είχαμε αφαίρεση ατομικών τροχιακών, τότε ίσως να είχαμε μεταστοιχείωση, δηλαδή αφού θα 'φευγαν ηλεκτρόνια, άρα το άτομο θα γινόταν πλέον ιόν; και δε θα 'ταν ουδέτερο οπότε για την ισχύ του δεσμού θα έπρεπε να υπολογίσουμε και κάποιες άλλες δυνάμεις; κάτι τέτοιο.»



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΜΑΔΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ-ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ 2^{ΗΣ} ΦΑΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση των συνεντεύξεων-ομαδικών συζητήσεων της δεύτερης φάσης στις οποίες έλαβαν μέρος δευτεροετείς φοιτητές του ΤΧ2 όπως αναλυτικά περιγράφεται στο κεφάλαιο 8. Για τις ομαδικές συζητήσεις 1 και 2, όπου οι φοιτητές δεν είχαν απαντήσει στο γραπτό ερωτηματολόγιο παρουσιάζονται αρχικά τα αποτελέσματα των ομαδικών απαντήσεων και ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση κάθε συνέντευξης - συζήτησης. Για τις ομαδικές συζητήσεις 3 – 6, όπου οι φοιτητές είχαν απαντήσει στο γραπτό ερωτηματολόγιο παρουσιάζονται αρχικά οι ατομικές επιδόσεις των φοιτητών σ' αυτό, καθώς και τα αποτελέσματα των ομαδικών απαντήσεων και στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση κάθε συνέντευξης - συζήτησης. Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σημειώνεται παύλα (-) αντί για μηδέν στις ερωτήσεις που δε δόθηκε απάντηση, έτσι ώστε να ξεχωρίζουν από τις ερωτήσεις που δόθηκε λανθασμένη απάντηση.

Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 1

Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος σε αυτήν την ομαδική συζήτηση δεν είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης που έδωσαν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 11.1.

Πίνακας 11.1: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 1^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του ΤΧ2

Κωδικοί	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K12, A13, A14	2	0	0	2	2	2	0	0	2	0	2	2	0	-	14/28	8/10	6/18



Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 σχεδιάζουν τροχιακό s με οριακή καμπύλη, υπήρξε συμφωνία από την αρχή και δεν εκφράστηκε άλλη άποψη.

Στην ερ. 2 δίνουν λάθος σειρά παρά το γεγονός ότι γνωρίζουν και γράφουν τον σχετικό αλγόριθμο. Στη λανθασμένη απάντηση τούς παρασύρει ο Α13 που λέει ότι:

«πρώτα το $4s$ μετά το $3p$ »

άποψη που δέχονται χωρίς να σκεφθούν οι άλλοι δύο. Το ίδιο σφάλμα επαναλαμβάνεται και στη συνέχεια πάλι με πρωτοβουλία του Α13

«πρώτα συμπληρώναμε το $4s$ και μετά το $3p$, το ίδιο θα ισχύει και για το $5s$ με το $4p$.»

Στην ερ. 3 απαντούν λανθασμένα διότι θεωρούν ότι αναφέρεται σε πλήρεις υποστιβάδες, και σε αυτή την περίπτωση την πρωτοβουλία την έχει ο Α13:

«Εμείς ξεκινάμε από $2s$, εδώ πέρα απαιτεί τουλάχιστον δύο ηλεκτρόνια άρα πάμε για τρία και πάνω. Το άτομο του υδρογόνου έχει ένα ηλεκτρόνιο και είναι $1s^1$.»

Απαντούν σωστά, γρήγορα και ομόφωνα στην ερ. 4.

Στην ερ. 5 η απάντησή τους υπονοεί ότι δεν είναι σύμφωνη η δομή, αφού από την αρχή συζητούν για το τι γίνεται ώστε ο άνθρακας να σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς με τετραεδρική διάταξη. Θεωρούν λοιπόν ότι πρόκειται για διηγερμένη κατάσταση κατά την οποία ένα ηλεκτρόνιο από το $2s$ τροχιακό πηγαίνει στο $2p_z$. Η τετραεδρική δομή ερμηνεύεται σύμφωνα με την θεωρία ΑΖΗΣΣ (άπωση ζευγών ηλεκτρονίων στοιβάδας σθένους, VSPER). Δεν γίνεται καμιά αναφορά στον υβριδισμό. Ο Α14 δε λαμβάνει μέρος στη συζήτηση αυτής της ερώτησης.

Απαντούν σωστά, γρήγορα και ομόφωνα την ερ. 6.

Ομόφωνα, χωρίς καμιά εξήγηση επιλέγουν το β στην ερώτηση 7 μετά από εισήγηση του Α14.

Το ίδιο συμβαίνει και με την ερ. 8, όπου θεωρούν ότι έξω από τον χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μόνο σε διηγερμένη κατάσταση όπως π.χ. όταν σχηματίζει δεσμούς. Η τελευταία ιδέα, ότι δηλαδή όταν σχηματίζει δεσμούς βρίσκεται σε διηγερμένη κατάσταση διατυπώνεται από τον Α14.

Στην ερ. 9 ορίζουν εύκολα το n και το m , ενώ δυσκολεύονται και προβληματίζονται για το l , τέλος δεν ορίζουν το m_l .



Στην ερ. 10 αποφασίζουν να ζωγραφίσουν

«διάφορες κυκλικές τροχιές... μικρότερες, μεγαλύτερες γιατί έχουν

διαφορετική ενέργεια... ».

Οι τροχιές έχουν καθορισμένη ενέργεια και για να περάσει το ηλεκτρόνιο από τη μια στην άλλη απαιτείται ορισμένη ενέργεια που ο Α14 λέει ότι είναι $h\nu$, ενώ ο Α13 επιμένει ότι είναι $\frac{h\nu}{2\pi}$. Τελικά στο γραπτό ερωτηματολόγιο ζωγραφίζουν πολλές τροχιές και γράφουν διπλά ότι

$E_0 - E_1 = h\nu$. Αν και δεν έχουν συλλάβει το νόημα της ερώτησης αυτής, η απάντησή τους δείχνει μια εμμονή στο πλανητικό μοντέλο, κάτι που δε φάνηκε στην απάντηση της ερ. 1.

Για την ερ. 11 αναβάλλουν την απάντηση και προχωρούν στην ερ. 12 όπου και απαντούν σωστά ζωγραφίζοντας τροχιακά s και p με απομακρυσμένες αραιές κουκίδες. Κατά τη συζήτηση της ερ. 12 ο Α14 θέτει το θέμα της όμοιας κατανομής πυκνότητας σε κάθε τροχιακό:

«η πυκνότητα είναι ίδια να βρεθεί, δηλαδή δεν την έχει διαφορετική την πυκνότητα.»

και συνεχίζει:

«αλλά σε συγκεκριμένες τροχιές.»

Η άποψη αυτή στρέφει την προσοχή στην πυκνότητα των κουκίδων που υπάρχουν στα σχήματα της ερ. 13 και όχι στην απουσία κουκίδων από το σχήμα 2 έτσι οδηγούνται σε λάθος απάντηση στην ερ. 13, όπου εστιάζουν στο γεγονός ότι κατά την απομάκρυνση από τον πυρήνα η πυκνότητα των κουκίδων στο σχήμα 2 δεν μειώνεται όπως στο σχήμα 1.

Στην ερ. 14 παρά την αναφορά του Α14 σε δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά,

«δεν προκύπτει ένα δεσμικό και ένα αντιδεσμικό;»,

δεν καταλήγουν σε απάντηση. Η Κ12 διερωτάται αν

«προσθέτουμε ένα δεσμικό και ένα αντιδεσμικό.»

και ο Α13 δηλώνει ότι δε νομίζει να γίνεται αφαίρεση. Από την όλη συζήτηση προκύπτει ότι έχουν ακούσει, προφανώς στο πανεπιστήμιο, για δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά, δεν έχουν όμως σαφή εικόνα της έννοιας αυτής ούτε και τα διαχωρίζουν από τα ατομικά τροχιακά.

Στο τέλος της συζήτησης γίνεται αναφορά στην ερ. 11 όπου απαντούν σωστά αποδίδοντας τη μη ακριβή λύση της εξίσωσης Schrödinger στην ύπαρξη περισσότερων ηλεκτρονίων, άποψη που εκφράζει ο Α14:

«Είναι διαφορετικά γιατί έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια, οπότε χρειάζεται άλλη επεξεργασία».

Κατά τη συζήτηση ο A13 αναφέρεται και στο

«... ότι υπάρχουν διάφορες διεγέρσεις, αποσταθεροποιούν το μόριο, άποψη που δε συζητιέται περισσότερο και δεν υιοθετείται.



Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 2

- Οι φοιτητές που έλαβαν μέρος σε αυτήν την ομαδική συζήτηση δεν είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Πρόκειται για μια ομάδα που επέδειξε ιδιαίτερο ζήλο και επιμονή κατά την απάντηση των γραπτών ερωτήσεων.

«Ε τι θα το παρατήσουμε έτσι;»,

λέει σε μια δύσκολή στιγμή ο Α15 ο οποίος υπήρξε ιδιαίτερα επίμονος στην αναζήτηση των απαντήσεων. Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης που έδωσαν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα 11.2.

Πίνακας 11.2: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 2^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του ΤΧ2

Κωδικοί	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K13, A15, A16	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	15/28	6/10	10/18

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 σχεδιάζουν ηλεκτρονιακό νέφος. Στην απάντηση αυτή κατέληξαν μετά από συζήτηση και αφού σε πρώτη φάση ανέβαλαν την απάντηση και την συμπλήρωσαν αφού συζήτησαν για δεύτερη φορά τις ερ.12 και 13. Στην αρχή ο Α15 αναφέρεται στην

«ακριβή θέση του ηλεκτρονίου»

και η Κ13 λέει ότι:

«είναι ένα s τροχιακό»

που είναι κυκλικό και η απάντηση αναβάλλεται. Όταν επανέρχονται, μετά την δεύτερη συζήτηση και απάντηση των ερ.12 και 13 συμφωνούν όλοι αμέσως ότι πρέπει να το σχεδιάσουν όπως το σχήμα 1 της ερ. 13. Προφανώς η ενασχόληση με τις άλλες ερωτήσεις και ιδιαίτερα με τις 12 και 13 τούς βοήθησε να φτάσουν στη σωστή απάντηση.

Στην ερ. 2 βρίσκουν και γράφουν εύκολα τη σωστή σειρά.

Στην ερ. 3 δεν ξέρουν την απάντηση, ο Α15 επιμένει:

«περίμενε να το ψάξουμε»,

γρήγορα όμως αποφασίζουν να την αφήσουν για αργότερα. Επανέρχονται στην ερώτηση αυτή στο τέλος της συζήτησης, προβληματίζονται αρκετά και η K13 προτείνει:

«Μήπως είναι ίδια, όλα ενεργειακά; Μήπως επειδή είναι κενά.»

Μετά από ενεργό παρέμβαση του EP1 που ρωτά:

«επειδή το θέτεις το θέμα της ενέργειας A15, αν ετίθετο μια διαφοροποίηση της ενέργειας που θα ήταν πιο πιθανό να γίνει αυτή;»

καταφέρνουν να απαντήσουν μόνο στο ένα σκέλος της ερώτησης, δηλαδή τη νέα σειρά των υποστιβάδων. Ο A16 είναι σίγουρος

«Αμα αλλάξει η σειρά δηλαδή φυσιολογικά έτσι πρέπει να αλλάζει.»

Ο A15 συμφωνεί, ενώ η K13 δεν είναι σίγουρη. Δεν καταφέρνουν τελικά να απαντήσουν στο δεύτερο σκέλος της ερώτησης, να δικαιολογήσουν δηλαδή τη νέα διάταξη.

Εύκολα και γρήγορα βρίσκουν τη σωστή απάντηση στην ερ. 4. Την ηλεκτρονιακή δομή τη δίνουν ως $3d^5 4s^1$ αντί $3d^4 4s^2$ διότι

«είναι πιο σταθερά ημισυμπληρωμένη από μη ημισυμπληρωμένη».

Στην ερ. 5 συμφωνούν αμέσως ότι

«Δεν είναι σύμφωνη να γιατί όπως φαίνεται δω πέρα ο άνθρακας μπορεί να σχηματίσει δύο δεσμούς, ενώ ουσιαστικά και πραγματικά σχηματίζει τέσσερις»

Θεωρούν ότι υπάρχει υβριδισμός που τον ταυτίζουν με τη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ ενώ τις γωνίες των 109° τις αποδίδουν στο γεγονός ότι η δομή αυτή

«είναι σταθερότερη γιατί βρίσκονται στην πιο απομακρυσμένη θέση τα υδρογόνα και είναι μικρότερες οι απώσεις μεταξύ τους.»

Στην ερ. 6 εστιάζουν την προσοχή τους μόνο στον προσδιορισμό της θέσης και απαντούν ότι

« Η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε μια συγκεκριμένη θέση είναι μηδέν, ενώ να βρεθεί στον χώρο είναι 1 ».

Κατά την σύντομη συζήτηση που γίνεται για να απαντηθεί η ερ. 6 εκφράζονται και ιδέες που παραλέμπουν στο πλανητικό μοντέλο:

«Ξέρουμε την τροχιά του, κάτι τέτοιο δεν ξέρουμε;»

λέει ο A15. Καμία αναφορά δε γίνεται για την ταχύτητα του ηλεκτρονίου.

Στην ερ. 7 δε γίνεται καμία ιδιαίτερη συζήτηση. Ο A16 και η K13 επιλέγουν το β, ενώ ο A15 το α διότι το βλέπει καλύτερο χωρίς να το δικαιολογεί. Τελικά, κατά πλειοψηφία επιλέγουν και κυκλώνουν το β.



Στην ερ. 8 υπάρχει παρανόηση με ευθύνη της K13 που λέει από την αρχή ότι

«Μόνο μόρια υδρογόνου δεν μπορούμε να βρούμε στη θεμελιώδη κατάσταση;»

Την άποψη αυτή ασπάζονται και οι φοιτητές A15 και A16, οπότε δίνουν λάθος απάντηση στην ερ. 8. Στην προσέγγιση αυτή, που συναντάται για πρώτη φορά, οι φοιτητές θεωρούν ότι δεν είναι δυνατό να υπάρξει άτομο υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση αλλά ότι

«... σε ελεύθερη κατάσταση το υδρογόνο είναι στη μορφή H_2 .»

Κατά τη διατύπωση των σκέψεων αυτών παρατηρείται σύγχυση ανάμεσα σε όρους που αναφέρονται σε ατομικά τροχιακά και σε όρους που αναφέρονται σε μοριακά τροχιακά,

«δύο ατομικά τροχιακά τα οποία θα φτιάξουν ένα μοριακό που θα είναι $1s^2$ ».

Η ίδια σύγχυση παρατηρείται και στη γραπτή απάντησή τους όπου γράφουν ότι

«... προκύπτει από το συνδυασμό $2s$ τροχιακών ($1s^1$ το καθένα), οπότε δημιουργείται δεσμικό μοριακό τροχιακό με 2 ηλεκτρόνια ($2s^2$) ή $(\sigma)^2$ ».

Δε γνωρίζουν τι εκφράζει ο κάθε κβαντικός αριθμός και έτσι απαντούν λανθασμένα στην ερ. 9. Ενδεικτικό της σύγχυσης που υπήρχε είναι το σχόλιο του A16 για το δεύτερο κβαντικό αριθμό l:

«Ο l έχει σχέση νομίζω με το πώς περιστρέφεται, με τη φορά που παίρνει $+1/2$ και $-1/2$, αυτό δεν είναι;»

Στην ερ. 10 ζωγραφίζουν ηλεκτρονιακό νέφος που όμως θεωρούν ότι προέρχεται από πολλές τροχιές:

«Ουσιαστικά θα βγει σφαίρα γιατί είναι άπειρες οι ... αυτές εδώ οι τροχιές»
όπως λέει ο A15.

Στην ερ. 11 γρήγορα με πρωτοβουλία του A15 βρίσκουν τη σωστή απάντηση:

«Στο υδρογόνο είναι ένα το ηλεκτρόνιο και δεν υπάρχουνε παρεμποδίσεις, σ' άλλα άτομα έχει πολλά ηλεκτρόνια και υπάρχουνε...»

Ο ίδιος όμως επιμένει να αναφέρεται σε τροχιές:

«... τα ηλεκτρόνια μεταξύ τους ασκούνε δυνάμεις και αλλάζουν οι τροχιές.»

Στην ερ. 12 συζητούν αν πρέπει να κάνουν σχήμα ή να γράψουν μια γενική απάντηση, οι απόψεις είναι διυστάμενες, ο A16 υποστηρίζει ότι:

«... σε σχήμα θα θέλει, αφού λέει πως πρέπει να δείχνεται...»,

άποψη που δείχνει να συμεριζεται και η K13, ενώ ο A15 ότι:

«...τι θα κάνεις όλα τα τροχιακά; Θα υπάρχει κάτι γενικό που θα ισχύει για όλα.»

Στην προσπάθεια του μάλιστα να υποστηρίξει την άποψή του, λέει ότι

«...τα *d* τροχιακά αυτά δεν έχουνε σχήμα...».

Αποφασίζουν να αναβάλουν την απάντηση και την συνεχίζουν μετά τη συζήτηση των ερ. 13 και 14, καθώς και τη δεύτερη συζήτηση της ερ. 13, οπότε και καταλήγουν στο ότι:

«Οι κουκίδες κοντά στον πυρήνα θα 'ναι πολλές, ενώ όταν απομακρυνόμαστε από αυτόν οι κουκίδες γίνονται πιο αραιές.»

Στην ερ. 13, ενώ επισημαίνουν το γεγονός ότι:

«... αυτό είναι δηλαδή η πυκνότητα όσο απομακρύνεται αραιώνει αυτό;», αποφασίζουν να αναβάλουν την απάντηση, την οποία δίνουν αφού πρώτα απαντούν στην ερ. 14. Η K13 εστιάζει την προσοχή της στο γεγονός ότι κατά την απομάκρυνση από τον πυρήνα, η πυκνότητα των κουκίδων στο σχήμα 2 είναι πιο μεγάλη από ό,τι στο σχήμα 1, κάτι που όμως θεωρεί σωστό. Αντίθετα ο A15 λέει ότι:

«εδώ συζητάει για αυτές που είναι αραιές. Γιατί να μην έχει και εδώ αραιές στιγμές;»,

και συνεχίζει

«εγώ σου λέω ότι θα έπρεπε να είχε και πιο αραιές, γιατί όσο μεγαλώνει η απόσταση τόσο και πιο μικρότερη είναι η πιθανότητα να υπάρχει τέτοιο, αλλά δεν είναι μηδενική ποτέ η πιθανότητα.».

Τελικά ο A15 πείθει τους άλλους δύο και απαντούν σωστά στην ερ. 13.

Στην ερ. 14, παρά την επιμονή που επιδεικνύουν, δεν καταφέρνουν να φτάσουν σε σωστή απάντηση, παρά το γεγονός ότι η K13 κάτι θυμόταν από τις παραδόσεις:

«Νομίζω ότι όταν κάναμε στην Ανόργανη II τις εξισώσεις είχε και αφαίρεση μέσα.».

Τελικά καταλήγουν στο ότι δε γίνεται αφαίρεση διότι αν γινόταν αυτό θα σήμαινε αύξηση της ενέργειας και διάσπαση των δεσμών, θα είχαμε δηλαδή

«... το αντίστροφο που συμβαίνει σε οποιοδήποτε χημικό δεσμό.», «οπότε ... θα μπορούσαν να σπάσουν όλοι οι δεσμοί.».

Βέβαια αφού θα σπάσουν οι δεσμοί τα τροχιακά θα απομακρυνθούν και η ηλεκτρονιακή πυκνότητα θα μειωθεί. Λέει χαρακτηριστικά ο A15:



«Όταν τα τροχιακά είναι κοντά είναι μεγαλύτερη η ηλεκτρονιακή πυκνότητα, απομακρύνονται, άρα μικραίνει η ηλεκτρονιακή πυκνότητα.»

Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 3

Οι φοιτήτριες που έλαβαν μέρος σε αυτήν την ομαδική συζήτηση είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Πρόκειται για μια ομάδα που επέδειξε ιδιαίτερη συνεργασία και ομαδικότητα κατά την απάντηση των ερωτήσεων. Στον πίνακα 11.3 φαίνονται τα αποτελέσματα τόσο των ατομικών απαντήσεων όσο και της ομαδικής απάντησης που έδωσαν. Όπως φαίνεται από τον πίνακα αυτόν η επίδοση των τριών φοιτητριών στις ερωτήσεις ήταν παρόμοια. Συνεργαζόμενες δεν κατάφεραν να απαντήσουν περισσότερες ερωτήσεις από αυτές που είχαν ήδη απαντήσει σωστά. Στις ερωτήσεις εκείνες που είχαν και οι τρεις απαντήσει λανθασμένα, η λανθασμένη απάντηση επαναλήφθηκε. Η συνολική επίδοση είναι ελαφρά βελτιωμένη, επειδή σε δύο ερωτήσεις που είχαν απαντηθεί σωστά από μία μόνο φοιτήτρια, η ομαδική απάντηση ήταν σωστή ή εν μέρει σωστή, υιοθετήθηκε δηλαδή η σωστή απάντηση από τις φοιτήτριες.

Πίνακας 11.3: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 3^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του TX2

Κωδικοί	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K14	0	2	-	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	2	18/28	10/10	8/18
K15	2	2	-	2	2	2	2	0	2	-	2	2	0	-	18/28	10/10	8/19
K16	0	2	-	2	2	2	2	0	2	-	2	2	0	-	16/28	10/10	6/18
ΟΜΑΔΙΚΗ	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	1	19/28	10/10	9/18

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 αρχικά οι K14 και K16, συνεπείς προς τις ατομικές τους απαντήσεις, εισηγούνται:

«... γύρω-γύρω θα βάλουμε το ένα ηλεκτρόνιο το οποίο περιφέρεται σε κυκλική τροχιά γύρω από τον πυρήνα.»

Δέχονται όμως αμέσως την άποψη της K15:

«... το τροχιακό είναι μια σφαίρα οπότε πρέπει να το κάνουμε να μοιάζει σαν σφαίρα.»



Έτσι το σχέδιο που τελικά κάνουν μοιάζει με ηλεκτρονιακό νέφος, αν και αυτό δεν είναι και τόσο ξεκάθαρο, αφού τοποθετούν και το ηλεκτρόνιο τυχαία σε ένα σημείο.

Στην ερ. 2 απαντούν γρήγορα και εύκολα δίνοντας τη σωστή σειρά.

Στην ερ. 3 καμία φοιτήτρια δεν είχε απαντήσει στο ατομικό της ερωτηματολόγιο. Τώρα συνεργαζόμενες καταλήγουν σε απάντηση, που όμως είναι λανθασμένη. Υποστηρίζουν ότι η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι το υδρογόνο έχει ηλεκτρονιακή δομή $1s^1$ με συνέπεια

- «τα υπόλοιπα τροχιακά είναι εκφυλισμένα δηλαδή έχουν το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο».

Εύκολα και γρήγορα βρίσκουν τη σωστή απάντηση στην ερ. 4. Την ηλεκτρονιακή δομή τη δίνουν, σε αντίθεση με την προηγούμενη ομάδα, ως $3d^4 4s^2$.

Στην ερ. 5 από την αρχή δηλώνουν ότι δεν συμφωνεί η θεμελιώδης δομή του άνθρακα με το γεγονός ότι σχηματίζει τέσσερις δεσμούς. Στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν γιατί ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς υποστηρίζουν ότι:

«το άτομο του άνθρακα εμφανίζει στο συγκεκριμένο μόριο υβριδισμό sp^3 , ο οποίος είναι αποτέλεσμα της διέγερσης ενός ηλεκτρονίου από το $2s$ τροχιακό στο $2p_z$ ».

Αναφέρονται δηλαδή στον υβριδισμό τον οποίο ταυτίζουν με την διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$.

Στην ερ. 6 απαντούν αμέσως δίνοντας σωστά την αρχή της αβεβαιότητας, ενώ στην ερ. 7 αποδίδουν την αβεβαιότητα στη διαδικασία και επιλέγουν το α:

«Μέχρι να μετρήσουμε την ταχύτητα, έχει αλλάξει ήδη η θέση του ηλεκτρονίου.»

Στις ατομικές τους απαντήσεις στην ερ. 8 δηλώνουν και οι τρεις ότι για να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό, πρέπει να διεγερθεί. Στην ομαδική απάντηση, μετά από σύντομη συζήτηση, περιορίζονται να γράψουν ότι αυτό δεν μπορεί να συμβεί διότι

«... στη θεμελιώδη κατάσταση δεν έχει επιπλέον ενέργεια για να διεγερθεί, επομένως θα βρίσκεται $1s$, άρα είναι αδύνατο να βρεθεί έξω απ' το τροχιακό $1s$ »

Στην ερ. 9 απαντούν γρήγορα και σωστά.

Στην ερ. 10 αποφασίζουν ότι:

«επειδή μας λέει να το φωτογραφίσουμε πρέπει να κάνουμε κάποιο σχήμα.»

έτσι ζωγραφίζουν ηλεκτρονιακό νέφος,

«με στιγμές οι οποίες αραιώνουν καθώς απομακρυνόμαστε από τον πυρήνα.»

Στην ερ. 11 απαντούν σωστά ότι:

«το άτομο του υδρογόνου έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο ενώ... τα άλλα άτομα έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια οπότε λύεται προσεγγιστικά.»

Αποδίδουν όμως τη μη ακριβή επίλυση της εξίσωσης Schrödinger για τα άλλα χημικά στοιχεία στο γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια

«έχουν κάποια επίδραση, τη λεγόμενη προστασία του πυρήνα.»

και όχι στις αλληλεπιδράσεις που έχουν μεταξύ τους.

Στην ερ. 12 απαντούν γρήγορα και σωστά.

Κατά τη συζήτηση της ερ. 13 η K15 εκφράζει την άποψη ότι:

«...το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σ' αυτούς τους λοβούς στο συγκεκριμένο τροχιακό, ενώ στο s μπορεί να υπάρχει σε πιο απομακρυσμένες θέσεις...».

Αποδίδει δηλαδή τη διαφορά στα σχήματα στο γεγονός ότι απεικονίζουν διαφορετικά τροχιακά. Θεωρεί επίσης ότι η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις μόνο για το s τροχιακό και όχι και για το p. Παρά το γεγονός ότι η K14 αντιδρά άμεσα λέγοντας ότι:

«και εδώ πέρα [σχήμα 2] μπορεί να βρεθεί σε πιο απομακρυσμένη θέση»,

δέχονται ότι τα σχήματα είναι σωστά.

Στην ερ. 14 θεωρούν κατ' αρχήν ότι δε γίνεται αφαίρεση όμως

«αν γινότανε θα έπρεπε να δώσουμε μεγάλη ενέργεια».

Έτσι

«...η αφαίρεση αυτή, η οποία προκαλεί ενεργειακά επίπεδα υψηλότερα στο χημικό δεσμό, σαν επίπτωση θα είχε να 'ναι πολύ ασταθής.»

Σε ό,τι αφορά την ηλεκτρονιακή πυκνότητα, η K14 λέει ότι:

«αν μπορούσαν να αφαιρεθούν σημαίνει ότι η πυκνότητα δε θα ήτανε πολύ μεγάλη...»

κάτι το οποίο όμως εκφράζουν λανθασμένα ως

«ίδια πιθανότητα [να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο] σε οποιαδήποτε θέση».



Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 4

Οι δύο φοιτήτριες και ο ένας φοιτητής που έλαβαν μέρος σε αυτήν την ομαδική συζήτηση είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Στον πίνακα 11.4 φαίνονται οι επιδόσεις τόσο των ατομικών απαντήσεων όσο και της ομαδικής απάντησης που έδωσαν. Όπως φαίνεται από τον πίνακα αυτό, η επίδοσή τους στις ερωτήσεις ήταν διαφορετική: Η K17 είχε πολύ καλή επίδοση τόσο στις ερωτήσεις γνώσεως 10/10 όσο και στις ερωτήσεις κρίσεως 10/18. Η K18 είχε επίδοση μόλις 2/10 στις ερωτήσεις γνώσεως και καλή επίδοση 10/18 στις ερωτήσεις κρίσεως. Τέλος, ο A17 είχε καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως 10/10 και πολύ μικρή στις ερωτήσεις κρίσεως 4/18. Συνεργαζόμενοι κατάφεραν να απαντήσουν περισσότερες ερωτήσεις, έτσι που η συνολική επίδοση να είναι σχετικά βελτιωμένη σε σχέση με τις ατομικές και να έχει μόλις ξεπεράσει την επίδοση της K17. Αξίζει όμως να επισημανθεί η πολύ μικρή αυτοπεποίθηση της K17 παρά την υψηλή επίδοση της. Είναι χαρακτηριστικό ότι άλλαζε εύκολα γνώμη σε κρίσιμα ερωτήματα στα οποία είχε απαντήσει σωστά.

Πίνακας 11.4: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 4^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του TX2

Κωδικοί	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K17	2	2	-	2	2	2	0	2	2	0	2	2	2	0	20/28	10/10	10/18
K18	0	0	-	0	2	-	2	0	0	2	2	2	0	2	12/28	2/10	10/18
A17	0	2	-	2	0	2	2	0	2	0	2	2	0	0	14/28	10/10	4/18
ΟΜΑΔΙΚΗ	0	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	21/28	10/10	11/18

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 αρχικά συμφωνούν ότι:

«Το άτομο του υδρογόνου έχει ένα ηλεκτρόνιο, διαθέτει συμπληρωμένο το

1s τροχιακό, οπότε λογικά θα είναι σφαιρικό.»

Διαφωνούν όμως αν θα πρέπει να σχεδιάσουν και το ηλεκτρόνιο σε μια τροχιά. Λέει σχετικά η K17:

«Μα το ηλεκτρόνιο δεν ξέρω πού βρίσκεται, δεν μπορώ να το θέσω σε μία συγκεκριμένη τροχιά.» ,
για να απαντήσει ο Α17 ότι:

«Στη θεμελιώδη κατάσταση θα βρίσκεται στην s .»,
ταυτίζοντας το τροχιακό με την τροχιά, ενώ η Κ18 απαντά ότι:

«Ναι, σε μια τροχιά θα βρίσκεται».

Αν και η πίεση από τους δύο συμφοιτητές της δεν ήταν ιδιαίτερα έντονη, η Κ17 αλλάζει άποψη και ζωγραφίζει το ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα.

Στην ερ. 2 απαντούν γρήγορα και εύκολα δίνοντας τη σωστή σειρά.

Στην ερ. 3 κανείς δεν είχε απαντήσει στο ατομικό του ερωτηματολόγιο. Τώρα συνεργαζόμενοι καταλήγουν σε απάντηση του δεύτερου σκέλους της ερώτησης, υποστηρίζοντας ότι:

«Πιθανόν να διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα πολυηλεκτρονιακά άτομα λόγω της ύπαρξης... ενός ηλεκτρονίου.»

Δεν γνωρίζουν όμως ποια είναι η διαφοροποίηση αυτή.

Εύκολα και γρήγορα βρίσκουν τη σωστή απάντηση στην ερ. 4. Την ηλεκτρονιακή δομή τη δίνουν, όπως και η προηγούμενη ομάδα, ως $3d^4 4s^2$

Στην ερ. 5 από την αρχή η Κ18 δηλώνει ότι:

«Δεν είναι, γιατί εδώ φαίνονται δύο ασύζευκτα ηλεκτρόνια.»

Στη συνέχεια προκειμένου να εξηγήσουν γιατί ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις ισοδύναμους δεσμούς, αναφέρονται στον υβριδισμό. τον οποίο ταυτίζουν με τη διεγερμένη δομή:

«Με υβριδισμό του $2s$ τροχιακού διεγείρουμε ένα ηλεκτρόνιο...» «Στο κενό $2p_z$ τροχιακό.»

Κατά την συζήτηση η Κ17 προβληματίζεται :

«Υβριδισμός είναι των τροχιακών, δεν είναι του ηλεκτρονίου.»

όμως στην απάντησή τους γράφουν ότι

«Με υβριδισμό του ενός s ηλεκτρονίου στο κενό $2p_z$ τροχιακό...»

Στην ερ. 6 απαντούν αμέσως δίνοντας σωστά την αρχή της αβεβαιότητας, ενώ στην ερ. 7 την αποδίδουν, μετά από συζήτηση, στη διαδικασία επιλέγοντας το α. Πάντως βρίσκουν ότι οι δύο προτάσεις μοιάζουν αρκετά. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχικές τοποθετήσεις των Κ17 και Κ18 ήταν αντίθετες από τις γραπτές απαντήσεις που είχαν δώσει



στο ερωτηματολόγιο. Η τελική τους απάντηση δεν φαίνεται να είναι άσχετη από τις εμπειρίες του μακρόκοσμου, έστω και αν δεν αναφέρονται ευθέως σε αυτό:

«Σίγουρα οποιαδήποτε μέτρηση και να κάνουμε, πάντα υπάρχει ένα σφάλμα στις μετρήσεις μας, έστω και αν είναι ελάχιστο. Αυτό θα είναι η αβεβαιότητα »,

λέει κλείνοντας τη συζήτηση η K17.

Στην ερ. 8 η K17, αφού τη διαβάζει λέει ότι:

«Υπάρχει μια μικρή, μπορεί πολύ μικρή πιθανότητα, αλλά υπάρχει σε κάποια χρονική στιγμή να βρίσκεται έξω από το χώρο που εμείς θεωρούμε ως τροχιακό $1s$ »,

άποψη με την οποία συμφωνούν όλοι αμέσως.

Στην ερ. 9, μετά από συζήτηση, που διακόπτεται και ολοκληρώνεται μετά από την απάντηση της ερ. 14, βρίσκουν τη φυσική σημασία των τριών από τους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς. Κάνουν λάθος για τον τρίτο κβαντικό αριθμό m_l , για τον οποίο λένε ότι:

«ο m_l νομίζω ότι έχει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων. »

Στην ερ. 10, η K18 επισημαίνει ότι αυτό που ζητά η ερώτηση είναι:

«πως θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα, τη διαδικασία δηλαδή»,
και όχι την ίδια την εικόνα. Την άποψη της K18 υιοθετούν η K17 και A17 και απαντούν σωστά στην ερώτηση αυτή.

Στην ερ. 11 ο A17 λέει αμέσως ότι:

«Μάλλον το υδρογόνο έχει ένα ηλεκτρόνιο, ενώ τα άλλα είναι πολυηλεκτρονιακά. »

Με την άποψή του συμφωνούν οι δύο φοιτήτριες μάλιστα η K17 συμπληρώνει ότι η δυσκολία οφείλεται στο ότι:

«υπάρχουν περισσότερα ηλεκτρόνια και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους και με τον πυρήνα είναι πιο σύνθετη».

Στην ερ. 12 απαντούν γρήγορα και σωστά.

Στην ερ. 13 αν και δέχονται τη διαφορά ανάμεσα στα δύο σχήματα που αναφέρει αρχικά η K17:

«Ότι το σχήμα 2 είναι λάθος γιατί δεν μπορούμε να είμαστε απόλυτοι ότι δεν μπορεί έξω από τα όρια του $2p$ να υπάρξει το ηλεκτρόνιο. »

την θεωρούν λεπτομέρεια:

«Είναι σχολικό βιβλίο, δεν είναι πανεπιστημιακό βιβλίο για να θέλεις λεπτομέρειες, αυτοί θέλουν χονδρικά να ξέρουμε ποιοτικά πώς είναι το σχήμα.»

Γι' αυτό απαντούν ότι:

«Τα δύο σχήματα είναι σωστά, διότι μ' αυτό τον τρόπο φαίνεται το σχήμα του καθενός τροχιακού.».

Η Κ17, που είχε απαντήσει σωστά στο ερωτηματολόγιο, πείθεται και προσχωρεί στην άποψη των άλλων δύο.

Αδυνατούν να κατανοήσουν την αφαίρεση των τροχιακών και έτσι στην ερ. 14 απαντούν ότι:

«... δε νοείται αφαίρεση ατομικών τροχιακών.»

Κατά τη συζήτηση που γίνεται, εκφράζονται απόψεις και απορίες που δείχνουν πλήρη σύγχυση όπως:

«Γιατί αφού μιλάει για ατομικό τροχιακό, πάει να πει ότι έχουμε ένα άτομο, δηλαδή να σπάσουμε το άτομο;»,

«Έχουμε δύο άτομα,, μάς κάνουν ένα μόριο, το μόριο αυτό να το κάνουμε δύο άτομα;»

«... Να αφαιρέσουμε τον άνθρακα από το υδρογόνο ας πούμε...»

Ο Α17 προσεγγίζει το θέμα σκεπτόμενος τι σημαίνει πρόσθεση και ζωγραφίζοντας το μοριακό τροχιακό που προκύπτει από την πρόσθεση $1s + 1s$. Όμως και αυτός αδυνατεί να συλλάβει τι σημαίνει αφαίρεση. Σημειώνεται ότι στο γραπτό ερωτηματολόγιο, η Κ18 είχε καταφέρει να απαντήσει σωστά, κάτι που δεν μπόρεσε αυτή τη φορά, αν και στην αρχή της συζήτησης εξέφρασε χωρίς σιγουριά την άποψη ότι:

«Κοιτάζτε, ουσιαστικά αφαίρεση σημαίνει απομάκρυνση, άρα σπάει ο δεσμός και το κάθε άτομο κανονικά, δεν ξέρω» ,

την οποία όμως εγκατέλειψε αμέσως.



Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 5

Σε αυτήν την ομαδική συνέντευξη-συζήτηση έλαβαν μέρος μόνο μία φοιτήτρια και ένας φοιτητής που είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Η δεύτερη φοιτήτρια που θα λάμβανε μέρος δεν προσήλθε τελικά. Στον πίνακα 11.5 φαίνονται τα αποτελέσματα τόσο των ατομικών απαντήσεων όσο και της ομαδικής απάντησης που έδωσαν. Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης ήταν σαφώς καλύτερα από τα ατομικά των δύο φοιτητών. Αξίζει να σημειωθεί η πολύ καλύτερη επίδοση του Α18 στις ερωτήσεις κρίσεως από ό,τι στις ερωτήσεις γνώσεως όπου απάντησε σωστά μόνο σε μία. Σημειώνεται επίσης ότι ο Α18 είχε την πρωτοβουλία σε όλη σχεδόν την συζήτηση.

Πίνακας 11.5: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 5^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του ΤΧ2

Κωδικοί	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K19	0	2	-	2	2	2	2	0	0	-	2	2	0	-	14/28	8/10	6/18
A18	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	0	2	0	0	12/28	2/10	10/18
ΟΜΑΔΙΚΗ	2	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0	2	22/28	10/10	12/18

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 απαντούν σωστά μετά από εισήγηση του Α18 την οποία αποδέχεται αμέσως η Κ19. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι κατά τη διάρκεια της σύντομης συζήτησης που είχαν ο Α18 λέει:

«Βάλε ένα πυρήνα και γύρω-γύρω κάνε ηλεκτρόνια...»,

ταυτίζοντας τις κουκίδες του ηλεκτρονιακού νέφους με ηλεκτρόνια.

Στην ερ. 2 απαντούν γρήγορα και εύκολα δίνοντας τη σωστή σειρά.

Στην ερ. 3 ο Α18 υποστηρίζει ότι:

«Για το άτομο του υδρογόνου ισχύει ακριβώς η ίδια περίπτωση, μόνο που έχει $1s^1$ [διότι] ... ισχύει ο ίδιος κανόνας και στις δύο περιπτώσεις, με τον οποίο βρίσκουμε τη διάταξη διαφόρων ηλεκτρονίων είτε του υδρογόνου είτε του ηλίου είτε οποιουδήποτε άλλου στοιχείου.»

Η Κ19 δεν πείθεται διότι, όπως λέει, η ερώτηση:

«... Ζητάει να πούμε τη νέα διάταξη και να το δικαιολογήσουμε.»

Αναβάλλουν την απάντηση στην ερώτηση και επανέρχονται αφού έχουν απαντήσει και στην ερώτηση 14. Πάλι ο A18 επιμένει ότι:

«... στην περίπτωση του υδρογόνου είναι $1s^1$, αλλά ο κανόνας για να δούμε τη διάταξη ενός ατόμου είναι ο ίδιος.»

ενώ η K19 υποχωρεί χωρίς να έχει πεισθεί.

Στην ερ. 4 απαντούν εύκολα και γρήγορα δίνοντας και αυτοί την ηλεκτρονιακή δομή ως $3d^4 4s^2$.

Στην ερ. 5 από την αρχή διαπιστώνουν ότι:

«Δεν είναι σύμφωνη γιατί αυτό σχηματίζει... δύο ομοιοπολικούς δεσμούς.»

Θεωρούν ως σωστή δομή την $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ στην οποία, κατά τον A18:

«... έχουμε τέσσερις υβριδοποιημένους δεσμούς οι οποίοι είναι ίσοι...», για να συμπληρώσει η K19

«Έχουμε υβριδισμό sp^3 , συνεπώς τετραεδρική δομή.»

Στην ερ. 6 απαντούν αμέσως δίνοντας σωστά την αρχή της αβεβαιότητας. Στην ερ. 7 διαφωνούν. Ο A18 να υποστηρίζει το α διότι:

«υπολογίζουμε διάφορους τύπους και όπως και να το κάνεις το αποτέλεσμα που βγάζουμε έχει ένα σφάλμα, μια αβεβαιότητα, δεν είναι δηλαδή ακριβές», και η K19 υποστηρίζει το β διότι:

«λόγω του ότι είναι μικρά σωματίδια, τα όργανα σαφώς έχουν κάποια σφάλματα, δηλαδή και το β που αναφέρεται στα όργανα, εμμέσως πλην σαφώς εννοεί πάλι για σφάλματα, ώστε να μην μπορούμε να έχουμε ακριβείς μετρήσεις.»

Αποφασίζουν και σε αυτήν την περίπτωση να αναβάλουν την απάντησή τους την οποία δίνουν στο τέλος της συζήτησης όπου ο A18 υποστηρίζει ότι:

«Και όργανα να έχουμε όμως, ένα σφάλμα θα το 'χουμε...»

άποψη με την οποία τώρα συμφωνεί και η K19 λέγοντας:

«πρέπει να υπάρχουν λογικά τα όργανα, απλώς υπεισέρχονται σφάλματα.»

Στην ερ. 8 συμφωνούν αμέσως ότι:

«Για να βρίσκεται εκτός τροχιακού... πρέπει να του έχονε προσδώσει ένα ποσό ενέργειας»,

οπότε βρίσκεται σε διηγεμένη κατάσταση.



Στην ερ. 9 βρίσκουν τη φυσική σημασία τριών κβαντικών αριθμών, ενώ στον m_l αποδίδουν πολλαπλές ιδιότητες:

«Ο m_l που μας δείχνει το μέγεθος των τροχιακών και τον προσανατολισμό και τον αριθμό των τροχιακών.»

Πάντως δυσκολεύονται να απαντήσουν στην ερώτηση γιατί όπως λέει και η K19:

«Τα κάναμε και παλιά.»

Στην ερ. 10 αρχικά τούς απασχολεί η εικόνα που θα έχουμε και όχι πώς θα την πάρουμε. Μετά από ενεργό παρέμβαση του ΕΡ2, που λέει ότι:

«δεν ρωτάει πώς θα είναι η εικόνα, πώς θα την πάρεις την εικόνα.»

βρίσκουν τη σωστή απάντηση:

«... Θα παίρναμε ας πούμε διάφορες σταθερές ακίνητες εικόνες και θα τις βάζαμε τη μια πάνω στην άλλη.»

Στην ερ. 11 απαντούν γρήγορα και σωστά ότι:

«στα άλλα άτομα έχουμε και άλλα ηλεκτρόνια τα οποία επιδρούν μεταξύ τους και δημιουργούν κάποιες δυνάμεις απωστικές, οπότε υπεισέρχονται σφάλματα στη σωστή λύση [της εξίσωσης Schrödinger].»

Στην ερ. 12 επίσης απαντούν γρήγορα και σωστά:

«Είναι όπως στο σχήμα 1 της παρακάτω άσκησης, δηλαδή είναι πυκνό σε κοντινή απόσταση απ' τον πυρήνα και όσο απομακρύνεται είναι πιο αραιά.»

Στην ερ. 13 γρήγορα πάλι αποδίδουν τη διαφορετικότητα των σχημάτων στο ότι πρόκειται για διαφορετικά τροχιακά:

«Η λύση της εξίσωσης Schrödinger είναι διαφορετική στις δύο περιπτώσεις»

Πάντως δεν αναφέρονται κατά τη διάρκεια της σύντομης συζήτησής τους στις αραιές κουκίδες που απουσιάζουν από το σχήμα 2.

Στην ερ. 14 την πρωτοβουλία έχει ο Α18, που φαίνεται ότι κάτι θυμάται από τα μαθήματα στο πανεπιστήμιο διότι αναφέρεται σε δεσμικά και αντιδεσμικά τροχιακά και μάλιστα ως αποτέλεσμα πρόσθεσης και αφαίρεσης τροχιακών. Λέει ο Α18:

«Με αφαίρεση, γιατί άμα έχουμε δύο p τροχιακά εάν έχουν οι μπροστινοί λοβοί την ίδια φάση τότε έχουμε πρόσθεση, αν έχουν αντίθετη φάση, δηλαδή στον ένα τον λοβό έχουμε θετικό φορτίο και στον άλλο πλην, γίνεται αφαίρεση και έχουμε αντιδεσμικό τροχιακό, κάπως έτσι είναι αν θυμάμαι καλά.»

Έτσι απαντούν σωστά στην ερώτηση αυτή. Θεωρούν όμως ότι η αφαίρεση

«...συμβαίνει σε πολύ μικρότερο ποσοστό, γιατί στη δημιουργία μιας ένωσης πρώτα συμπληρώνονται τα δεσμικά και στη συνέχεια τα αντιδεσμικά τροχιακά που έχουμε.»



Ομαδική συνέντευξη-συζήτηση 6

- Οι δύο φοιτήτριες και ο ένας φοιτητής που έλαβαν μέρος σε αυτήν την ομαδική συζήτηση είχαν απαντήσει προηγουμένως στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Στον πίνακα 11.6 φαίνονται τα αποτελέσματα τόσο των ατομικών απαντήσεων όσο και της ομαδικής απάντησης που έδωσαν. Όπως φαίνεται από τον πίνακα αυτό, η επίδοση και των τριών ήταν υψηλή. Συνεργαζόμενοι μάλιστα κατάφεραν να βελτιώσουν τη συνολική τους επίδοση, πετυχαίνοντας ένα άριστο αποτέλεσμα (26/28)

Πίνακας 11.6: Τα αποτελέσματα της ομαδικής απάντησης στην 6^η ομαδική συζήτηση των φοιτητών του TX2

Κωδικοί ~	Ερωτήσεις														Άθροισμα	Γνώση	Κρίση
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
K20	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	22	10	12
K21	-	2	0	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	18	8	10
A19	2	2	0	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	0	20	10	10
ΟΜΑΔΙΚΗ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	26	10	16

Αναλυτική παρουσίαση.

Στην ερ. 1 απαντούν σωστά σχεδιάζοντας ηλεκτρονιακό νέφος, αν και από τη συζήτηση που έχουν δε φαίνεται να έχουν ξεκαθαρισμένες απόψεις και μάλλον είναι ακόμη επηρεασμένοι από το πλανητικό μοντέλο. Έτσι αρχικά η K20 εισηγείται:

«να κάνουμε ένα κυκλάκι στη μέση που είναι το πρωτόνιο και ένα μεγάλο γύρω-γύρω που είναι το ηλεκτρόνιο»,

παρά το γεγονός ότι η ίδια είχε απαντήσει σωστά. Αλλά και η K21 ρωτά:

«...για το υδρογόνο ισχύει αυτό του Bohr έτσι δεν είναι;»,

για να επιβεβαιώσει ο A19:

«Ναι ισχύει αλλά μόνο για το υδρογόνο.»

Στην ερ. 2 απαντούν γρήγορα και εύκολα χρησιμοποιώντας το σχετικό αλγόριθμο και δίνουν τη σωστή σειρά.

Στην ερ. 3, η K20 υποστηρίζει ότι:

«Έχει ένα ηλεκτρόνιο, θα 'ναι στην $1s$, στο $1s$ τροχιακό. Μετά όλα τ' άλλα έχουν ίδια ενέργεια, είναι εκφυλισμένα, δε θα έχουν ηλεκτρόνια, θα 'ναι όλα στην ίδια ενέργεια.»

Στην άποψη αυτή αντιδρά η K21:

«Όχι δεν είναι εκφυλισμένα, γιατί αναλόγως την ενέργεια που θα δώσουμε, το ηλεκτρόνιο που είναι στην πρώτη στιβάδα θα πάει, ανάλογα με την ενέργεια που θα του δώσουμε, στην κατάλληλη υποστιβάδα.»

Στη συνέχεια υποστηρίζει ότι:

«Εγώ πιστεύω ότι η απάντηση είναι ότι... πάνε με τη σειρά και αυτό γιατί δεν υπάρχουνε άλλα ηλεκτρόνια που να αλληλεπιδρούν και να επηρεάζουν την ενέργεια της κάθε στιβάδας.»

Άποψη που γίνεται δεκτή.

Στην ερ. 4 απαντούν εύκολα και γρήγορα δίνοντας και αυτοί την ηλεκτρονιακή δομή ως $3d^4 4s^2$.

Στην ερ. 5 ο A19 διαπιστώνει αμέσως ότι:

«δεν είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή γιατί τότε ο άνθρακας θα είχε μόνο δύο δεσμούς»,

και η K20 συμπληρώνει αναφερόμενη στη γωνία:

«με γωνία 180° μεταξύ τους.»

Πάντως η λύση είναι και εδώ ο υβριδισμός, κατά τον οποίο ένα ηλεκτρόνιο

«φεύγει απ' το $2s$ και πάει στο $2p_z$ ».

Στην ερ. 6 απαντούν αμέσως δίνοντας σωστά την αρχή της αβεβαιότητας. Το ίδιο συμβαίνει και στην ερ. 7 όπου χωρίς καμιά συζήτηση επιλέγουν το α.

Στην ερ. 8 η K20 θεωρεί ότι έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μόνο αν διεγερθεί. Η K21 όμως διαφωνεί λέγοντας ότι:

«Μπορεί, το $1s$ δεν είναι μια σφαίρα έτσι, είναι όσο πάει αραιώνει, δεν το θυμάσαι το σχήμα;»

με την άποψη αυτή συμφωνεί κι ο A19:

«Υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί και σε άπειρη απόσταση, απλά είναι πολύ μικρή.»

Την άποψη αυτή δέχεται τελικά και η K20.

Στην ερ. 9 μετά από συζήτηση απαντούν σωστά.



Στην ερ. 10, όπου όλοι είχαν απαντήσει λανθασμένα στα ατομικά τους ερωτηματολόγια, αρχικά ζωγραφίζουν ηλεκτρονιακό νέφος μετά από εισήγηση της K20:

«Το ηλεκτρόνιο σε πολλές θέσεις, δηλαδή το ίδιο πράγμα μια να είναι το ηλεκτρόνιο εκεί, μια εκεί...»

Στη συνέχεια όμως, και μετά τη συζήτηση της ερ. 11, η ίδια η K20 επαναφέρει το θέμα:

«Το νέφος αποτελείται από πιθανές θέσεις των ηλεκτρονίων, αλλά σε μια στιγμή θα 'ναι σε μια θέση δεν μπορεί να 'ναι παντού»,

οπότε, μετά από παρέμβαση του ΕΡ2 με την ερώτηση

«Και εμείς τι θα κάνουμε μετά για να συνθέσουμε το νέφος»,

η K20 βρίσκει τη σωστή απάντηση:

«Θα τις ενώσουμε όλες μαζί τις φωτογραφίες, τις βάζουμε τη μία πάνω στην άλλη.»

με την οπδία συμφωνούν όλοι.

Στην ερ. 11 απαντούν γρήγορα και σωστά ότι:

«Εξ αιτίας των αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν μεταξύ τους [των ηλεκτρονίων], η εξίσωση γίνεται πολύ πολύπλοκη»

έτσι που

«δεν μπορεί να λυθεί επακριβώς.»

Στην ερ. 12 εύκολα και γρήγορα απαντούν ότι οι τελείες θα πρέπει :

«όσο απομακρυνόμαστε να είναι πιο αραιές γιατί μειώνεται η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου.»

Στην ερ. 13 αμέσως βρίσκουν ότι:

«Προφανώς υπάρχει λάθος στο σχήμα 2»

διότι

«υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί ακόμη και πολύ μακριά ...».

Η συζήτηση ολοκληρώνεται με την ερ. 14, τη μόνη που δεν απάντησαν σωστά.

Αρχικά η K21 λέει ότι:

«Εγώ έχω την αίσθηση ότι δεν μπορεί να γίνει αφαίρεση γιατί με αφαίρεση ίσως υπήρχε σε μερικά σημεία και μηδενική πιθανότητα. Δηλαδή όταν αφαιρούμε κάτι από κάτι άλλο, μπορεί να υπάρξει αποτέλεσμα μηδέν, που μηδενική πιθανότητα δεν υπάρχει πουθενά...».

Εξάλλου η K20 διερωτάται:

«Το άτομο είναι ό,τι μικρότερο, δεν μπορείς να του αφαιρέσεις τίποτα, ενώ αν έλεγε μόριο βέβαια θα του αφαιρέσεις...».

Τέλος, παρά το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της συζήτησης η K20 εκφράζει την άποψη *

«... θα μίκρυνε πολύ η ηλεκτρονιακή πυκνότητα και ο δεσμός θα ήταν και πολύ αραιός»,

θεωρώντας όμως ότι γι' αυτόν ακριβώς το λόγο δε θα μπορούσε να γίνει αφαίρεση, επιλέγουν τελικά τη λανθασμένη άποψη που εξέφρασε στην αρχή η K21, ότι δηλαδή δεν μπορεί να γίνει αφαίρεση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση των ευρημάτων που προκύπτουν από τις συνεντεύξεις για κάθε ερώτηση ξεχωριστά. Η προσοχή εστιάζεται αρχικά στις ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14, όπου είχαν εστιασθεί οι ερωτήσεις στις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης. Αναφέρονται όμως και ευρήματα από τις υπόλοιπες ερωτήσεις που προέρχονται είτε από περιστασιακή αναφορά που έγινε σε αυτές στην πρώτη φάση είτε, κυρίως, από τα δεδομένα των συζητήσεων της δεύτερης φάσης.

A. Αναλυτική παρουσίαση ευρημάτων στις ερωτήσεις 1, 5, 7, 8, 13 και 14.

Ερώτηση 1

➤ *Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα*

Στις τέσσερις από τις πέντε ομαδικές συζητήσεις της πρώτης φάσης οι φοιτητές και φοιτήτριες δέχονται τελικά ότι η πιο σωστή απεικόνιση του ατόμου του υδρογόνου είναι με ηλεκτρονιακό νέφος, έστω και αν στα ατομικά γραπτά ερωτηματολόγια είχαν απαντήσει με βάση το πλανητικό μοντέλο, σχεδιάζοντας τροχιά ή στιβάδα κατά την έκφραση τους. Οι λόγοι που είχαν απαντήσει με βάση αυτό το μοντέλο, όπως οι ίδιοι τους εξέθεσαν, ήταν α) αυτό είχαν διδαχθεί στο σχολείο σε προηγούμενες τάξεις, β) αυτό είχαν δει σε πολλά βιβλία και γ) αυτό θεώρησαν ως πιο απλό. Πάντως μερικές δηλώσεις φοιτητών δείχνουν όχι και τόσο ξεκάθαρες απόψεις, οι οποίες φαίνεται να έχουν στοιχεία από το πλανητικό μοντέλο. Έτσι για παράδειγμα η απεικόνιση του υδρογόνου με οριακή καμπύλη αντανakλά μια ενδιάμεση τοποθέτηση ανάμεσα στο τροχιακό και την τροχιά, αφού κατά τη συζήτηση η οριακή καμπύλη άλλοτε χαρακτηρίζεται ως τροχιά και άλλοτε ως τροχιακό. Ενδεικτικά αναφέρονται οι πιο κάτω δηλώσεις φοιτητών.



«[Ζωγράφισα] Ένα πρωτόνιο στο κέντρο και γύρω τις τροχιές που μπορεί να ... ότι γύρω μπορεί να κινηθεί... ο χώρος που μπορεί να κινηθεί το ηλεκτρόνιο.»

«... το υδρογόνο έχει μόνο ένα πρωτόνιο στον πυρήνα και το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται σε μία στιβάδα την πρώτη... δεν πιστεύω ότι είναι έτσι [τροχιά] αυτή η στιβάδα είναι ένας... ένα τροχιακό, ένας ευρύτερος χώρος»

Σημαντικό ρόλο έπαιξε σε αυτήν τη γενική αλλαγή στάσης το γεγονός ότι σε κάθε ομάδα υπήρχε και η σωστή απάντηση την οποία έβλεπαν όλοι. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι στην τρίτη ομαδική συνέντευξη, όπου δεν υπήρχε σωστή απάντηση και η ερ. 1 συζητήθηκε ξεχωριστά με κάθε φοιτητή στο τέλος της συνέντευξης, δεν είχαμε γενική αλλαγή στάσης. Οι δύο φοιτήτριες δε φτάνουν στο κβαντομηχανικό μοντέλο, αλλά προσπαθώντας να συνδυάσουν τις νέες ιδέες με το κυρίαρχο, στα νοητικά τους σχήματα, πλανητικό μοντέλο, καταλήγουν σε απλωμένες-πεπλατυσμένες τροχιές. Αντίθετα οι δύο φοιτητές καταλήγουν στο ηλεκτρονιακό νέφος.

Την τελευταία αυτή άποψη στηρίζουν και τα ευρήματα των ατομικών συνεντεύξεων, όπου στις τέσσερις από τις έξι συνεντεύξεις οι φοιτητές επιμένουν στο πλανητικό μοντέλο και τα μόνα βήματα που κάποιοι από αυτούς κάνουν πέρα από τις κυκλικές τροχιές είναι να δεχθούν είτε ελλειπτικές τροχιές είτε πεπλατυσμένες-απλωμένες τροχιές, ενώ στις άλλες δύο καταλήγουν σε ενδιάμεσα σχήματα που συνδυάζουν τα δύο μοντέλα. Ενδεικτική είναι η δήλωση:

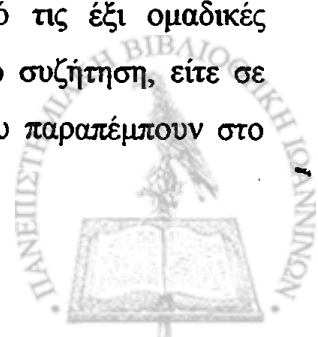
«[Το ηλεκτρόνιο] περιφέρεται, βρίσκεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε διάφορα μέρη γύρω απ' τον πυρήνα.»

που όμως

«δεν είναι τροχιά, απλώς ... έχω οριοθετήσει κατά κάποιο τρόπο το μέρος στο οποίο μπορεί να βρίσκεται».

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθούν δύο ιδέες που διαπιστώνονται στις ατομικές συνεντεύξεις. Η πρώτη αφορά τη σύγχυση ανάμεσα στο άτομο και στο κύτταρο και η δεύτερη στη δυνατότητα να υπάρχουν τροχιές σε κάθε απόσταση από τον πυρήνα που παραπέμπει σε μοντέλα πριν από τον Bohr.

Παρόμοια με τα ευρήματα της πρώτης φάσης είναι και τα ευρήματα από τις συνεντεύξεις-συζητήσεις της δεύτερης φάσης. Έτσι στις πέντε από τις έξι ομαδικές συζητήσεις οι φοιτητές καταλήγουν, τις περισσότερες φορές μετά από συζήτηση, είτε σε οριακή καμπύλη είτε σε ηλεκτρονιακό νέφος, σε σχήματα δηλαδή που παραπέμπουν στο



κβαντομηχανικό μοντέλο. Και σε αυτήν την περίπτωση, σε μερικές ομάδες οι απόψεις δεν είναι ξεκάθαρες και έχουν στοιχεία από το πλανητικό μοντέλο.

Αντίθετα από τις άλλες πέντε, στην τέταρτη ομαδική συζήτηση είχαμε εγκατάλειψη του κβαντομηχανικού μοντέλου και υιοθέτηση του πλανητικού. Αυτό έγινε όταν οι δύο από τους τρεις φοιτητές που είχαν απαντήσει με βάση το πλανητικό μοντέλο επέμεναν στην άποψή τους, με την οποία συμφώνησε και η τρίτη φοιτήτρια αν και είχε απαντήσει με βάση το κβαντομηχανικό μοντέλο. Γενικά η φοιτήτρια αυτή στο γραπτό ερωτηματολόγιο απαντά σωστά σε όλες τις ερωτήσεις γνώσεων, αλλά και σε εκείνες τις ερωτήσεις κρίσεως που παραπέμπουν στο κβαντομηχανικό μοντέλο. Δεν απαντά στις ερ. 3 και 14 που, για τους δευτεροετείς φοιτητές, απαιτούσαν βαθύτερη γνώση και κατανόηση, καθώς και στην ερ. 7 για την αρχή της αβεβαιότητας, όπου φαίνεται έντονα επηρεασμένη από τον μακρόκοσμο. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η αποδοχή του κβαντομηχανικού μοντέλου ήταν επιφανειακή, έγινε μάλλον με απλή απομνημόνευση και έτσι αφού δε συνδέεται σταθερά με τα νοητικά σχήματα εγκαταλείπεται. Σημειώνεται ότι η ίδια φοιτήτρια έχει εγκαταλείψει άλλες δύο σωστές θέσεις της κατά τη διάρκεια της συζήτησης.

Δύο ιδέες που αναφέρονται κατά τη διάρκεια δύο συζητήσεων και αξίζει να αναφερθούν είναι ότι οι κουκίδες στο ηλεκτρονιακό νέφος αναπαριστούν ηλεκτρόνια, καθώς και ότι το ατομικό μοντέλο του Bohr ισχύει για το άτομο του υδρογόνου.

Ερώτηση 5

➤ Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών, όπου οι γωνίες $\text{H}\hat{\text{C}}\text{H}$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Εύκολα, αμέσως δηλαδή και αυθόρμητα, ή δύσκολα, μετά από συζήτηση μικρής ή μεγαλύτερης διάρκειας, όλοι οι φοιτητές που έλαβαν μέρος τόσο στις ομαδικές όσο κι στις ατομικές συνεντεύξεις της πρώτης φάσης διαπιστώνουν ότι η δομή που αναφέρει η ερώτηση είναι η θεμελιώδης και ότι σε αυτήν τη δομή υπάρχουν δύο ασύζευκτα ηλεκτρόνια, γεγονός που δε συμφωνεί με τους τέσσερις ισοδύναμους δεσμούς που υπάρχουν στο μεθάνιο.

«Ε... φαίνεται σωστό αυτό ότι έχει μόνο δύο μονήρη.»,

«Έχουμε δύο μονήρη [ηλεκτρόνια και] άρα είναι λάθος.»

«Δεν είναι σύμφωνη ναι γιατί όπως φαίνεται δω πέρα ο άνθρακας μπορεί να σχηματίσει δύο δεσμούς, ενώ ουσιαστικά και πραγματικά σχηματίζει τέσσερις»

Όπου γίνεται προσπάθεια να εξηγηθεί γιατί ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς και όχι δύο, γίνεται αναφορά στη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ που σε κάποιες περιπτώσεις αναφέρεται και ως υβριδισμός. Σημειώνεται ότι ο υβριδισμός ήταν εκτός ύλης όταν οι φοιτητές αυτοί ήταν στην τρίτη λυκείου και δεν το διδάχθηκαν συστηματικά. Πάντως η ασαφής εικόνα που έχουν ορισμένοι από αυτούς είναι ότι ο υβριδισμός είναι μια διαδικασία, ένα φαινόμενο, που αφορά στη διέγερση ή στην ανακατανομή ηλεκτρονίων στην εξωτερική στοιβάδα, και μερικές φορές ταυτίζεται με την πιο πάνω διεγερμένη δομή:

«Υβριδισμός; Ε... μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου από το ένα, από τη μία υποστιβάδα στην άλλη.»

«... η δομή θα αλλάξει και θα γίνει $2s^1 2p_x^1 2p_y^1$ και $2p_z^1$;»

«... υπόκειται σε υβριδισμό, μια διαδικασία κατά την οποία τα $2s^2$ ηλεκτρόνια λαμβάνουν ένα ποσό ενέργειας...»

Η αναφορά στις γωνίες δε φαίνεται να βοηθά διότι ήδη η απάντηση στην ερώτηση δίνεται από το γεγονός ότι στη θεμελιώδη δομή υπάρχουν δύο μόνο ηλεκτρόνια. Όπου έγινε αναφορά στις γωνίες, για να γίνει κατανοητή αυτή η αναφορά και να εξαχθεί το ίδιο ουσιαστικά συμπέρασμα, απαιτήθηκε αρκετός χρόνος συζήτησης.

Στη δεύτερη φάση των συνεντεύξεων, η διαπίστωση ότι στη θεμελιώδη δομή υπάρχουν μόνο δύο ασύζευκτα ηλεκτρόνια και άρα δεν είναι σύμφωνη με τους τέσσερις ισοδύναμους δεσμούς που υπάρχουν στο μεθάνιο, είναι άμεση σε όλες τις συνεντεύξεις ενώ δε γίνεται καμία αναφορά στις γωνίες.

«Δεν είναι σύμφωνη, γιατί όπως φαίνεται δω πέρα ο άνθρακας μπορεί να σχηματίσει δύο δεσμούς, ενώ ουσιαστικά και πραγματικά σχηματίζει τέσσερις»

Η διαπίστωση αυτή ακολουθείται από προσπάθεια ερμηνείας του γεγονότος ότι ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς και όχι δύο. Σε όλες τις συνεντεύξεις η ερμηνεία γίνεται με αναφορά στη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ που στις πέντε από τις έξι συνεντεύξεις ταυτίζεται με τον υβριδισμό ο οποίος θεωρείται ένα φαινόμενο, μια διεργασία που αναφέρεται στα τροχιακά ή ακόμα και στα ηλεκτρόνια, παρατηρείται δηλαδή μια



δυσκολία στην κατανόηση της έννοιας του υβριδισμού ακόμη και μετά την πανεπιστημιακή διδασκαλία:

«Το άτομο του άνθρακα εμφανίζει στο συγκεκριμένο μόριο υβριδισμό sp^3 ο οποίος είναι αποτέλεσμα της διέγερσης ενός ηλεκτρονίου από το $2s$ τροχιακό στο $2p_z$ ».

Σε μια συνέντευξη δεν αναφέρεται καθόλου ο υβριδισμός αλλά η εξήγηση γίνεται με αναφορά στην ΑΖΗΣΣ (Απώση ζευγών ηλεκτρονίων στοιβάδας σθένους), ελληνική απόδοση της θεωρίας VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion).

Ερώτηση 7

➤ Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε αυτό που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε τη σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β.

Στην ερώτηση αυτή φαίνεται από τις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης ότι δεν έχει κατανοηθεί η θεμελιώδης φύση της αβεβαιότητας του Heisenberg. Οι φοιτητές είτε επιλέγουν τη μία απάντηση είτε επιλέγουν την άλλη, το κάνουν πάντα σε σχέση με τις εμπειρίες τους από τον μακρόκοσμο. Για την αβεβαιότητα δηλαδή φταίνει τα όργανα ή οι διαδικασίες, που περιλαμβάνουν και τα όργανα, όπως ακριβώς συμβαίνει στο μακρόκοσμο, όπου τα σφάλματα οφείλονται είτε στα όργανα είτε στις διαδικασίες ή ακόμη και στα δύο. Η παρακάτω αναλογία με το αεροπλάνο ή το αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε στις συνεντεύξεις μάλλον δυσκόλεψε την κατανόηση της αρχής και ενίσχυσε τη σύνδεση της αρχής της αβεβαιότητας με τις εμπειρίες από τον μακρόκοσμο.

Η αναλογία με το αεροπλάνο:

«Αν πάμε στον μακρόκοσμο, πάρτε αυτή τη στιγμή ένα αεροπλάνο, το αεροπλάνο πάνω έχει ένα όργανο, το ταχύμετρο, που δείχνει την ταχύτητά του ανά πάσα στιγμή. Έχει και ένα άλλο όργανο που παίρνει ενδείξεις και μπορεί να ξέρει ανά πάσα στιγμή το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος του. Έχει και ένα υψόμετρο και ξέρει και σε ποιο ύψος είναι. Άρα ξέρει τις τρεις συντεταγμένες του το αεροπλάνο, ξέρει πού είναι πάνω στο χάρτη και σε ποιο ύψος, έτσι ξέρει ταυτόχρονα και την ταχύτητά του και αν τα όργανα αυτά είναι καλά, και σε ένα αεροπλάνο θέλουμε να είναι καλά, μπορούμε να τα βρούμε με απόλυτη ακρίβεια, έτσι; Υπάρχει επομένως αβεβαιότητα τύπου Heisenberg στο αεροπλάνο;»

Στο σημείο αυτό είναι φανερό ότι τίθεται το πρόβλημα των αναλογιών και της επιτυχημένης χρησιμοποίησής τους στη διδασκαλία των κβαντομηχανικών εννοιών. Γενικά μια αναλογία για να είναι επιτυχής πρέπει να υπάρχει ακριβής αντιστοίχιση ανάμεσα στην πηγή και το στόχο, να υπάρχει δηλαδή σημασιολογική και δομική ομοιότητα μεταξύ πηγής και στόχου, ενώ συγχρόνως η πηγή να είναι οικεία και καλώς κατανοητή στους μαθητές (Holyoak & Thagard, 1989). Στην περίπτωση του αεροπλάνου, η αποτυχία της αναλογίας, παρά το γεγονός ότι η πηγή της αναλογίας (αεροπλάνο) ήταν προφανώς οικεία στους μαθητές, αποδίδεται στην έλλειψη πλήρους και ακριβούς αντιστοίχισης ανάμεσα στην πηγή και το στόχο. Έτσι όταν η δομή της πηγής εντάσσεται στο σύστημα του στόχου, η αβεβαιότητα (στόχος), συνδέεται με τις εμπειρίες των μαθητών και γίνεται κατανοητή με όρους μακρόκοσμου.

Στις συζητήσεις της δεύτερης φάσης η ενασχόληση με την ερώτηση αυτή ήταν περιορισμένη. Έτσι δύο ομάδες επέλεγον χωρίς συζήτηση το β και δύο επίσης χωρίς συζήτηση το α. Οι άλλες δύο ομάδες που συζήτησαν για να απαντήσουν επέλεξαν τελικά το α, θεώρησαν δηλαδή ως αιτία της αβεβαιότητας τη διαδικασία που πάντως την κατανοούν και αυτοί με όρους μακρόκοσμου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας φοιτητής στην πρώτη φάση αναφέρθηκε στο νοητικό πείραμα του Αϊνστάιν, η σημασία του οποίου όμως δεν έγινε κατανοητή από τους συμφοιτητές του. Στο αποτέλεσμα του ίδιου πειράματος αναφέρθηκε και μία φοιτήτρια στη δεύτερη φάση.



Ερώτηση 8

➤ Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση του έξω από το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας

Όπως προκύπτει από τις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης στην ερώτηση αυτή, αφ' ενός δεν έχει κατανοηθεί ο πιθανολογικός χαρακτήρας των τροχιακών και αφ' ετέρου γίνεται σύγχυση ανάμεσα στο τροχιακό και στο χώρο που ορίζεται ως τροχιακό, δηλαδή στο σχήμα του τροχιακού που αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη πιθανότητα:

«Το υδρογόνο περιέχει ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο σύμφωνα με την αρχή ελάχιστης ενέργειας στη θεμελιώδη κατάσταση βρίσκεται πάντα στο τροχιακό $1s$ [το οποίο] ... σ' οποιοδήποτε χώρο μπορεί να υπάρξει τροχιακό $1s$, το $1s$ μπορεί να είναι μέχρι το άπειρο, απλώς η πιθανότητα είναι κοντά στον πυρήνα να βρεθεί.»

Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι σε εικόνες ηλεκτρονιακού νέφους όσες κουκίδες είναι έξω από ένα κύκλο που σχεδιάζεται για να ορισθεί το τροχιακό θεωρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις ότι ανήκουν σε άλλα τροχιακά:

«Είναι σε άλλα .. είναι άλλα τροχιακά».

Αποτέλεσμα αυτής της σύγχυσης είναι η άποψη ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό μόνο αν διεγερθεί:

«Ναι το υδρογόνο είναι στη θεμελιώδη κατάσταση τέλος πάντων και μας λέει ότι να είναι έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό. Και αφού είναι θεμελιώδης [κατάσταση] εκεί έχει και τη μικρότερη ενέργεια, οπότε δεν μπορεί να πάει σε άλλο τροχιακό επομένως...»,

«Στο άτομο του υδρογόνου το ηλεκτρόνιο στη θεμελιώδη του κατάσταση βρίσκεται στο τροχιακό $1s$. Εάν όμως διεγερθεί μπορεί να καταλάβει οποιοδήποτε τροχιακό π.χ. $2s$, $3s$, $3p$ κτλ.,

Επίσης και οι απόψεις ότι το τροχιακό έχει πεπερασμένα όρια και ότι το καθορίζουν όλες οι δυνατές θέσεις του ηλεκτρονίου:

«Δεν είναι δυνατό γιατί ως τροχιακό ορίζεται ο χώρος που μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο»,

«Είναι βασικά ο χώρος στον οποίο μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, δηλαδή τα σημεία στα οποία βρίσκεται το ηλεκτρόνιο οριοθετούν το τροχιακό $1s$.»

Δεν έλειψαν, σε μια ατομική συνέντευξη, οι ακραίες θέσεις εμμονής στο πλανητικό πρότυπο όπου πρακτικά το τροχιακό ταυτίζεται με την τροχιά. Έτσι στην ερώτηση τι καταλαβαίνει κανείς όταν λέμε «ορίζουμε χώρο 1s» δίνεται η απάντηση:

«Να κινείται γύρω, σε μια τροχιά γύρω απ' τον πυρήνα.»

Παρόμοια εικόνα εμφανίζεται και στις συζητήσεις της δεύτερης φάσης. Στις τρεις από τις έξι ομαδικές απαντήσεις γίνεται αναφορά σε διεγερμένες καταστάσεις. Σύμφωνα με τις αναφορές αυτές, το ηλεκτρόνιο τότε μόνο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό:

«Δεν μπορεί, μόνο σε διεγερμένη κατάσταση»,

«... Στη θεμελιώδη κατάσταση δεν έχει επιπλέον ενέργεια για να διεγερθεί, επομένως θα βρίσκεται 1s άρα είναι αδύνατο να βρεθεί έξω απ' το τροχιακό 1s.»

Σε μία περίπτωση οι φοιτητές θεωρούν ότι δεν είναι δυνατό να υπάρξει άτομο υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση αλλά μόνο μοριακό υδρογόνο:

«Μόνο μόρια υδρογόνου δεν μπορούμε να βρούμε στη θεμελιώδη κατάσταση;»

Από την τελευταία αυτή συζήτηση διαπιστώνεται σύγχυση ανάμεσα σε ατομικά και μοριακά τροχιακά, γίνεται για παράδειγμα αναφορά σε «μοριακό τροχιακό 1s²». Τέλος σε δύο συζητήσεις είχαμε τη σωστή πιθανολογική προσέγγιση. Σημειώνεται ότι στις δύο αυτές ομάδες μία φοιτήτρια σε κάθε ομάδα είχε απαντήσει σωστά και στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Αυτές οι φοιτήτριες επιχειρηματολόγησαν και οδήγησαν τις ομάδες στη σωστή απάντηση αν και αρχικά οι υπόλοιποι είχαν εκφράσει διαφορετική άποψη, ενδεικτικό είναι το απόσπασμα από τη συνέντευξη που ακολουθεί, όπου η K21 είναι η καθοδηγούσα τους άλλους φοιτητές:

K20: Στη θεμελιώδη κατάστασή του όχι.

K21: Εγώ λέω ναι.

K20: Ναι, Αφού λέει στη θεμελιώδη κατάσταση του. Στη θεμελιώδη είναι στο 1s, στη διεγερμένη θα πάει σ' άλλο.

K21: Δεν είναι όμως, μπορεί το 1s δεν είναι μια σφαίρα έτσι, είναι όσο πάει αραιώνει, δεν το θυμάσαι το σχήμα; Είναι μέσα πυκνό, πιο αραιό, πιο αραιό και κει πέρα μπορεί να βρεθεί απλά είναι μία στο τρισεκατομμύριο ας πούμε.

K20: Ναι, και το 1s δεν είναι κάποιος χώρος πολύ συγκεκριμένος, είναι η πιθανότητα να βρίσκεται κάπου, σε κάποιον χώρο.



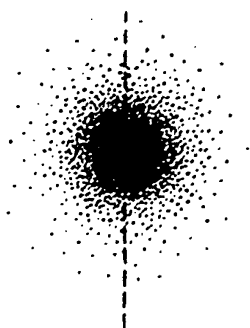
Κ21: Οπότε στο $1s$ είναι πολύ μεγάλη η πιθανότητα αλλά υπάρχει και πολύ-πολύ μικρή λέω 'γω, Α19 τι λες;

Α19: Εγώ λέω ότι υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί και σε άπειρη απόσταση, απλά είναι πολύ μικρή.

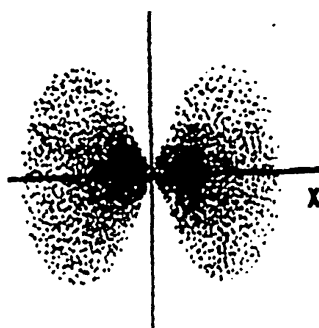
Κ21: Ναι, ναι, αυτό έτσι το είπες καλύτερα, καλύτερα όπως το λέει ο Α19.

Ερώτηση 13

➤ Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

Στην ερ. 13 παρατηρούνται στις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης συμπεριφορές και ιδέες που έχουν ήδη παρατηρηθεί και σε προηγούμενες ερωτήσεις, ιδέες δηλαδή που βρίσκονται σε συμφωνία με αυτές που είχαν εκφραστεί προηγουμένως. Έτσι οι κουκίδες που είναι πιο μακριά από τον πυρήνα μπορεί να ανήκουν και σε άλλο τροχιακό, το ηλεκτρόνιο εκεί

«μπορεί να έχει διεγερθεί»,

όπως επίσης και η άποψη ότι

«... το σχήμα 1 δείχνει ηλεκτρονιακό νέφος ενώ το σχήμα 2 δείχνει τροχιακό»

και σε αυτό οφείλεται η διαφορά. Η προσπάθεια δικαιολόγησης της διαφορετικότητας των δύο σχημάτων που φαίνεται στην τελευταία αυτή άποψη, δεν είναι η μόνη. Σε άλλες συνεντεύξεις εκφράζονται διαφορετικές ερμηνείες-δικαιολογίες όπως:

«η ύπαρξη ηλεκτρονίων στο $2p$ τροχιακό προϋποθέτει ένα μεγάλο πυρήνα ο οποίος αυξάνει την έλξη και άρα δε θα μπορούν να απομακρυνθούν από τον πυρήνα.»,

«Το πρώτο είναι s τροχιακό, απεικόνιση, το άλλο είναι p »

«Σωστό πρέπει να 'ναι διότι μάλλον για λόγους ενέργειας αυτό κάπως, κάπως είναι έτσι, δεν ξέρω ακριβώς.»

Μετά την συζήτηση που γίνεται για την ερώτηση 13 σε όλες τις περιπτώσεις οι φοιτητές δέχονται ότι στο σχήμα 2 έπρεπε να υπάρχουν αραιές κουκίδες και πιο μακριά, με εξαίρεση ένα φοιτητή σε μια ατομική συνέντευξη που επέμενε μέχρι το τέλος ότι τα σχήματα ήταν σωστά για ενεργειακούς λόγους.

Η εικόνα των συζητήσεων στη δεύτερη φάση δεν είναι καθόλου καλή, αφού μόνο σε μία από αυτές η απάντηση είναι ξεκάθαρα σωστή. Σε δύο συζητήσεις η προσοχή των φοιτητών εστιάζεται στο γεγονός ότι κατά την απομάκρυνση από τον πυρήνα, η πυκνότητα των κουκίδων στο σχήμα 2 είναι πιο μεγάλη από ό,τι στο σχήμα 1. Οι φοιτητές αυτοί αγνοούν την απότομη διακοπή των κουκίδων, την ύπαρξη δηλαδή σαφούς διαχωριστικής επιφάνειας στην περίπτωση του $2p$ τροχιακού του σχήματος 2:

«Το σχήμα 2 είναι λάθος γιατί όσο απομακρυνόμαστε από τον πυρήνα η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου μικραίνει».

Έτσι σε μία περίπτωση δίνεται λανθασμένη απάντηση, ενώ σε μία δεύτερη μετά από παρέμβαση ενός φοιτητή, καταλήγουν στη σωστή απάντηση:

«Εδώ συζητάει γι' αυτές που είναι αραιές. Γιατί να μην έχει και εδώ αραιές στιγμές;»

και συνεχίζει ότι

«εγώ σου λέω ότι θα έπρεπε να είχε και πιο αραιές, γιατί όσο μεγαλώνει η απόσταση τόσο και πιο μικρότερη είναι η πιθανότητα να υπάρχει τέτοιο. Αλλά δεν είναι μηδενική ποτέ η πιθανότητα.».

Σε άλλες δύο συζητήσεις οι όποιες διαφορές στα σχήματα αποδόθηκαν στο γεγονός ότι πρόκειται για δύο διαφορετικά τροχιακά:

«...Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σ' αυτούς τους λοβούς στο συγκεκριμένο τροχιακό, ενώ στο s μπορεί να υπάρχει σε πιο απομακρυσμένες θέσεις...»



• «η λύση της εξίσωσης Schrödinger είναι διαφορετική στις δύο περιπτώσεις».

- Τέλος σε μία συζήτηση αν και οι φοιτητές διαπίστωσαν το λάθος στο σχήμα 2, θεώρησαν το θέμα επουσιώδες:

«Είναι σχολικό βιβλίο, δεν είναι πανεπιστημιακό βιβλίο για να θέλεις λεπτομέρειες, αυτοί θέλουν χονδρικά να ξέρουμε ποιοτικά πώς είναι το σχήμα»

και απαντούν ότι:

• «τα δύο σχήματα είναι σωστά, διότι μ' αυτόν τον τρόπο φαίνεται το σχήμα του καθενός τροχιακού».

Ερώτηση 14

➤ Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά τη γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;

Στην ερώτηση αυτή υπάρχει, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στους πρωτοετείς και τους δευτεροετείς φοιτητές. Οι πρώτοι δεν έχουν διδαχθεί το σχετικό αντικείμενο και η προσπάθεια απάντησης στην ερώτηση αυτή είναι μια πρόκληση για να χρησιμοποιήσουν, με καθοδήγηση στην περίπτωση των συνεντεύξεων, τις γνώσεις τους, τα υπάρχοντα νοητικά τους σχήματα και τις νοητικές ικανότητές τους, ώστε να προχωρήσουν στη δημιουργία νέας γνώσης. Αντίθετα οι δευτεροετείς φοιτητές έχουν διδαχθεί και εξετασθεί τα μοριακά τροχιακά, στην ύλη των οποίων περιλαμβάνεται και η αφαίρεση των ατομικών τροχιακών.

Στις συνεντεύξεις με πρωτοετείς φοιτητές παρατηρείται μια δυσκολία από τους φοιτητές να κατανοήσουν και να δεχθούν την αφαίρεση. Είναι χαρακτηριστικό ότι και στις περιπτώσεις που φτάνουν λογικά στη σωστή απάντηση, δεν είναι σίγουροι αν αυτό γίνεται στην πράξη, αν δηλαδή υπάρχουν μοριακά τροχιακά που προέρχονται από αφαίρεση ατομικών τροχιακών ή αν αφορά μια απλή θεωρητική-μαθηματική προσέγγιση:

«Εδώ εννοώ ότι μπορούμε να το δημιουργήσουμε μόνο μαθηματικά, σαν χημικά στην πράξη δεν μπορούμε να το δημιουργήσουμε.»

Κύριο εμπόδιο στην αποδοχή της αφαίρεσης είναι ο τρόπος που έχουν δομήσει την έννοια του τροχιακού, το οποίο θεωρούν ως χώρο και όχι ως μαθηματική συνάρτηση ώστε να μπορεί να γίνει αφαίρεση:

«...Χώροι όπου μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο και όχι απλά αριθμοί που μπορούν να αφαιρεθούν.»

Μια άλλη αντίρρηση είναι και η εξής: Όταν τα ατομικά τροχιακά έρχονται κοντά, γιατί να μην γίνει πρόσθεση άρα δεσμός και να γίνει αφαίρεση, γιατί να υπάρξει εξασθένηση και όχι σταθεροποίηση των δεσμών; Η αντίρρηση αυτή φαίνεται στα αποσπάσματα που παρατίθενται στη συνέχεια:

«Το σκεπτικό δηλαδή είναι ότι πάντα έρχονται κοντά και ενώ ας πούμε ο κανόνας θα έλεγε ότι έπρεπε να γίνει δεσμός, με το αντίθετο δηλαδή την πρόσθεση των τροχιακών δεν μπορώ να καταλάβω πώς δε θα γίνει αυτό το πράμα. Δηλαδή θα γίνει αφαίρεση, δε θα υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, άρα δε θα γίνει. Ως προς αυτό δεν μπορώ να καταλάβω.»

«Στη φύση όμως γιατί να υπάρξει εξασθένηση των δεσμών και όχι σταθερότητα των δεσμών;»

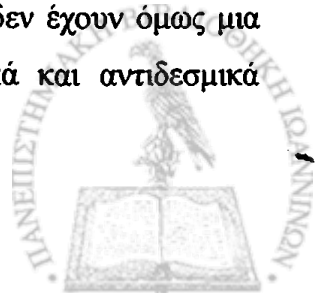
Η χρησιμοποίηση εικόνων ηλεκτρονιακών νεφών διευκολύνει την κατανόηση της πρόσθεσης των ατομικών τροχιακών, όταν αυτά πλησιάσουν τότε στο χώρο ανάμεσα στους πυρήνες όπου γίνεται η επικάλυψη το ηλεκτρονιακό νέφος είναι πιο πυκνό. Η ίδια τακτική δεν φαίνεται όμως να διευκολύνει την κατανόηση της αφαίρεσης, είναι χαρακτηριστική η δήλωση ενός φοιτητή ότι

«όχι, γιατί δε θα μπορούσαμε να διακρίνουμε ποια είναι τα σημεία του καθενός»,

και έτσι δε θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε στην αφαίρεση.

Δύο εναλλακτικές ιδέες που διατυπώθηκαν μεμονωμένα από φοιτητές είναι η ταύτιση των μοριακών τροχιακών με τα υβριδικά (υβριδισμένα) τροχιακά, καθώς και η ταύτιση της αφαίρεσης τροχιακών με την αποβολή ηλεκτρονίων.

Από τις συνεντεύξεις-συζητήσεις των δευτεροετών φοιτητών προκύπτει ότι έχουν διδαχθεί το σχετικό αντικείμενο, χρησιμοποιούν τη σχετική ορολογία, δεν έχουν όμως μια σαφή εικόνα για τις σχετικές έννοιες. Έτσι αναφέρονται σε δεσμικά και αντιδεσμικά



τροχιακά μόνο σε δύο από τις συνολικά έξι συνεντεύξεις. Τα τροχιακά αυτά όμως θεωρούνται στη μία συνέντευξη ως ατομικά τροχιακά, έτσι αφαίρεση είναι η πρόσθεση ενός δεσμικού και ενός αντιδεσμικού τροχιακού:

«Προσθέτουμε ένα δεσμικό και ένα αντιδεσμικό.»

Είναι χαρακτηριστικό ότι σε δύο άλλες συνεντεύξεις, όπου οι φοιτητές φτάνουν λογικά στα σωστά αποτελέσματα της αφαίρεσης, αυτή θεωρείται αδύνατη γιατί θα σήμαινε αύξηση της ενέργειας, δηλαδή:

«... Το αντίστροφο που συμβαίνει σε οποιοδήποτε χημικό δεσμό.»

«Οπότε ... θα μπορούσαν να σπάσουν όλοι οι δεσμοί.»

Σε μία άλλη συνέντευξη, οι φοιτητές απορρίπτουν την δυνατότητα αφαίρεσης, διότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα σε κάποια σημεία η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου να είναι μηδέν, κάτι το οποίο θεωρούν αδύνατο,:

«Εγώ έχω την αίσθηση ότι δεν μπορεί να γίνει αφαίρεση γιατί με αφαίρεση ίσως υπήρχε σε μερικά σημεία και μηδενική πιθανότητα, δηλαδή όταν αφαιρούμε κάτι από κάτι άλλο μπορεί να υπάρξει αποτέλεσμα μηδέν, που μηδενική πιθανότητα δεν υπάρχει πουθενά...»

Τελικά από τις έξι συνολικά συζητήσεις που έγιναν πλήρης σωστή απάντηση δόθηκε μόνο σε μια περίπτωση και αυτό με την πρωτοβουλία ενός μόνο φοιτητή, του Α18:

A18: Η αφαίρεση συμβαίνει, απλά συμβαίνει σε πολύ μικρότερο ποσοστό, γιατί στη δημιουργία μιας ένωσης πρώτα συμπληρώνονται τα δεσμικά και στη συνέχεια τα αντιδεσμικά τροχιακά που έχουμε. Τα αντιδεσμικά όπως γίνεται πρόσθεση μπορεί να γίνει και αφαίρεση.

K19: Μαθηματικά ο όρος αφαίρεση δεν υπάρχει στα τροχιακά, στα ατομικά τροχιακά; Αλλά συμβαίνει κάτι ... δημιουργούνται τα αντιδεσμικά τροχιακά αλλά όχι αφαιρώντας τα. Αφαιρώντας τα γίνεται αυτό; Αυτό δε θυμάμαι το αντιδεσμικό δημιουργείται με αφαίρεση;

A18: Με αφαίρεση, γιατί άμα έχουμε δύο p τροχιακά εάν έχουν οι μπροστινοί λοβοί την ίδια φάση, τότε έχουμε πρόσθεση. Αν έχουν αντίθετη φάση, δηλαδή στον ένα τον λοβό έχουμε θετικό φορτίο και στον άλλο πλην, γίνεται αφαίρεση και έχουμε αντιδεσμικό τροχιακό. Κάπως έτσι είναι αν θυμάμαι καλά.

K19: Ότι έτσι δημιουργείται το αντιδεσμικό συμφωνώ, αλλά ο όρος αφαίρεση δε μου κολλάει στο ατομικό.

B. Παρουσίαση των ευρημάτων στις υπόλοιπες ερωτήσεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ευρήματα από τις υπόλοιπες ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου, που δε συζητήθηκαν κατά τις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης. Οι ερωτήσεις αυτές συζητήθηκαν στη δεύτερη φάση των συνεντεύξεων ενώ σε δύο περιπτώσεις (Ερωτήσεις 3 και 11) υπήρξε περιστασιακή αναφορά και στην πρώτη φάση.

Ερώτηση 2

➤ *Να διατάξετε τις υποστιβάδες 3d, 2p, 5s, 4p, 5f, 3p, 4d, 4s και 2s κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου.*

Η ερώτηση αυτή είναι μια απλή ερώτηση γνώσεως και για την απάντησή της αρκεί η χρήση ενός απλού αλγορίθμου (κεφ. 6 σελ 93). Έτσι στις πέντε από τις έξι ομαδικές συζητήσεις, έχουμε εύκολα και γρήγορα τη σωστή απάντηση. Σε μία όμως, αν και οι φοιτητές ήξεραν τον αλγόριθμο, τον εφάρμοσαν λάθος, ακολουθώντας την άποψη ενός από αυτούς σύμφωνα με την οποία υπήρχαν παρεκκλίσεις από τη σειρά που αυτός προέβλεπε (πρώτα συμπληρώνεται το *np* και μετά το *ns*).

Ερώτηση 3

➤ *Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;*

Για την ερώτηση 3 έχουμε σύντομη αναφορά σε δύο ατομικές συνεντεύξεις της πρώτης φάσης και στις δύο οι φοιτητές δεν απαντούν σωστά. Κατά τη συζήτηση εκφράζεται η άποψη η οποία ταυτίζει τα υδρογονοειδή άτομα με τα άτομα της πρώτης ομάδας του περιοδικού συστήματος, αυτά που έχουν δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική τους στοιβάδα.

Στις συνεντεύξεις της δεύτερης φάσης είχαμε σωστή απάντηση μόνο σε μία από αυτές, ενώ σε μια δεύτερη συνέντευξη η όποια διαφορά αποδόθηκε στην ύπαρξη ενός μόνο



ηλεκτρονίου, χωρίς όμως να βρεθεί ποια είναι αυτή. Στις υπόλοιπες δόθηκαν λανθασμένες απαντήσεις, από τις οποίες αξίζει να σημειωθεί η άποψη ότι το άτομο του υδρογόνου έχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο και δομή $1s^1$, ενώ όλα τα υπόλοιπα τροχιακά είναι εκφυλισμένα επειδή είναι κενά.

Ερώτηση 4

➤ *Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου;*

Στην ερώτηση αυτή είχαμε γρήγορη και σωστή απάντηση από όλες τις ομάδες των δευτεροετών φοιτητών. Μόνο σε μία από αυτές οι φοιτητές δίνουν την ηλεκτρονιακή δομή ως $3d^5 4s^1$ αναφερόμενοι στη σταθερότητα της ημισυμπληρωμένης d στοιβάδας, ενώ στις υπόλοιπες πέντε δίνουν την ηλεκτρονιακή δομή $3d^4 4s^2$.

Ερώτηση 6

➤ *Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.*

Στις πέντε από τις έξι ομάδες των δευτεροετών φοιτητών είχαμε σωστές απαντήσεις στην ερώτηση αυτή, ενώ σε μία ομάδα είχαμε αναφορά μόνο στη θέση και όχι στην ταχύτητα του ηλεκτρονίου. Στην ίδια ομάδα εκφράζονται απόψεις που παραπέμπουν στο πλανητικό ατομικό μοντέλο.

Ερώτηση 9

➤ *Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς.*

Παρά το γεγονός ότι η ερώτηση αυτή ήταν μια απλή ερώτηση παράθεσης γνώσεων, μόνο δύο από τις έξι ομάδες αναφέρθηκαν σωστά και στους τέσσερις κβαντικούς αριθμούς. Σε άλλες τρεις ομάδες έγινε σωστή αναφορά, μετά από συζήτηση, σε τρεις από αυτούς, ενώ οι αναφορές στον τρίτο κβαντικό αριθμό μη ήταν λανθασμένες. Τέλος η απάντηση μιας

ομάδας ήταν εντελώς λανθασμένη. Η κακή αυτή επίδοση σε μια ερώτηση ανάκλησης γνώσεων επιβεβαιώνει την άποψη του Gillespie ότι οι κβαντικοί αριθμοί, με τα παράξενα και χωρίς εμφανές νόημα ονόματα, είναι δύσκολο να κατανοηθούν από τους φοιτητές (Gillespie, Moog & Spencer, 1996a). Έτσι έχουμε μια απλή απομνημόνευση, χωρίς σύνδεση στα νοητικά σχήματα των φοιτητών, με αποτέλεσμα μετά από κάποιο χρόνο να ξεχνιούνται.

Ερώτηση 10

➤ *Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)*

Στην ερώτηση αυτή έχουμε τρεις σωστές απαντήσεις, ενώ οι άλλες τρεις ομάδες ζωγραφίζουν ηλεκτρονιακό νέφος. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι δύο από αυτές θεωρούν το ηλεκτρονιακό νέφος ως αποτελούμενο από πολλές, άπειρες, τροχιές:

«Διάφορες κυκλικές τροχιές... μικρότερες, μεγαλύτερες γιατί έχουν διαφορετική ενέργεια...»

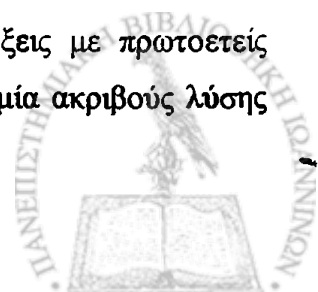
«... Ουσιαστικά θα βγει σφαίρα [το ηλεκτρονιακό νέφος], γιατί είναι άπειρες οι ... αυτές εδώ οι τροχιές»

Έχουμε δηλαδή μια συγκεκαλυμμένη αναφορά και εμμονή στο πλανητικό ατομικό μοντέλο, ακόμη και όταν γίνεται αναφορά στο ηλεκτρονιακό νέφος.

Ερώτηση 11

➤ *Η εξίσωση Schrödinger λύεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων;*

Για την ερ. 11 έχουμε σύντομη αναφορά σε τρεις συνεντεύξεις με πρωτοετείς φοιτητές, μία ομαδική και δύο ατομικές. Στις δύο από αυτές, η αδυναμία ακριβούς λύσης



αποδίδεται στα περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια που έχουν τα άλλα άτομα. Η μία από αυτές όμως δεν αναφέρεται στις αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων:

«Η εξίσωση του *Schrödinger* ... στην περίπτωση των άλλων ατόμων τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερα και τότε η εξίσωση θα έπρεπε να είναι πιο σύνθετη», κάτι που συμβαίνει στη δεύτερη:

«... Στην περίπτωση ύπαρξης παραπάνω του ενός ηλεκτρονίου δεν μπορούμε να υπολογίσουμε την επίδραση που ασκεί το ένα ηλεκτρόνιο στο άλλο....».

Στην τρίτη συνέντευξη γίνεται αναφορά στην άποψη η οποία ταυτίζει τα υδρογονοειδή άτομα με τα άτομα της πρώτης ομάδας του περιοδικού συστήματος, άποψη που συναντήθηκε και στην ερ. 3 σε άλλη όμως συνέντευξη:

«η εξίσωση *Schrödinger*, απ' ό,τι θυμάμαι λύνεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου και προσεγγιστικά για άτομα τα οποία έχουνε ένα ηλεκτρόνιο στην εξώτατη στιβάδα, δηλαδή τα υδρογονοειδή.»

Σε όλες τις συνεντεύξεις με δευτεροετείς φοιτητές η αδυναμία ακριβούς λύσης της εξίσωσης *Schrödinger* αποδόθηκε στα περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια που έχουν τα άλλα άτομα:

«Είναι διαφορετικά γιατί έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια, οπότε χρειάζεται άλλη επεξεργασία».

Μόνο στις τρεις όμως, από τις έξι συνεντεύξεις, φαίνεται οι φοιτητές να επικεντρώνουν την προσοχή τους στις αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων:

«Υπάρχουν περισσότερα ηλεκτρόνια και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους και με τον πυρήνα είναι πιο σύνθετη»..

«Στα άλλα άτομα έχουμε και άλλα ηλεκτρόνια τα οποία επιδρούν μεταξύ τους και δημιουργούν κάποιες δυνάμεις απωστικές, οπότε υπεισέρχονται σφάλματα στη σωστή λύση [της εξίσωσης] *Schrödinger*.»

Σημειώνεται επίσης ότι και σε αυτή ακόμα την ερώτηση είχαμε μια αναφορά σε τροχιές:

«... τα ηλεκτρόνια μεταξύ τους ασκούνε δυνάμεις και αλλάζουν οι τροχιές.»

Ερώτηση 12

➤ Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα" Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;

Στην ερώτηση αυτή έχουμε σωστή απάντηση και από τις έξι ομάδες των δευτεροετών φοιτητών. Η απάντηση δόθηκε γρήγορα και χωρίς καμία συζήτηση στις τέσσερις από αυτές, ενώ στις άλλες δύο έγινε μία μικρή συζήτηση. Κατά τη διάρκεια των δύο αυτών συζητήσεων είχαμε στη μία αναφορά και εμμονή σε συγκεκριμένες τροχιές και στη δεύτερη τη δήλωση ότι τα d τροχιακά δεν έχουν σχήμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΤ' ΑΤΟΜΟ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΕΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ.

Α. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια παρουσίαση των θέσεων που αρχικά είχαν οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στις συνεντεύξεις της πρώτης φάσης και πώς αυτές εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο κυρίαρχο ατομικό μοντέλο, στην πιθανολογική ή αιτιοκρατική θεώρηση των τροχιακών και στην αρχή της αβεβαιότητας, θέματα που κυρίως θίγονται από τις ερωτήσεις που συζητήθηκαν κατά τις συνεντεύξεις (1, 5, 7, 8, 13 και 14). Η παρουσίαση αρχίζει από τους φοιτητές εκείνους που αντιμετώπισαν τα θέματα αυτά απόλυτα αιτιοκρατικά και καταλήγει στους φοιτητές που τα αντιμετώπισαν πιθανολογικά.

Για την καλύτερη παρακολούθηση των αποτελεσμάτων των φοιτητών αυτών στο γραπτό ερωτηματολόγιο παρατίθεται στη συνέχεια ο πίνακας 8.1 του κεφαλαίου 8, ως πίνακας 13.1.

Πίνακας 13.1: Οι επιδόσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο των φοιτητών που έλαβαν μέρος στην πρώτη φάση των συνεντεύξεων.

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																		
Τμήμα	Κωδικός	Ερωτήσεις														Αθροισμα max: 28	Γνώση max: 10	Κρίση max: 18
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
TB	A1	0	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	21	9	12
TB	A2	0	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	0	2	20	6	14
TB	K1	0	2	0	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	0	18	10	8
TB	K2	0	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	2	0	0	18	10	8
TB	K3	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	0	0	18	8	10

ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ																		
Τμήμα	Κωδικός	Ερωτήσεις														Αθροισμα max: 28	Γνώση max: 10	Κρίση max: 18
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
ΤΒ	K4	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	18	6	12
ΤΒ	A3	0	2	2	2	0	2	2	0	2	0	0	2	2	0	16	10	6
ΤΒ	K5	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	16	10	6
ΤΒ	K6	2	0	0	2	0	2	0	0	2	2	0	2	2	2	16	8	8
ΤΒ	K7	0	2	0	1	2	0	0	2	2	2	2	2	0	1	16	7	9
ΤΒ	K8	0	2	2	2	2	0	0	2	0	0	0	2	2	2	16	6	10
ΤΒ	A4	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	0	2	0	0	12	10	2
ΤΒ	A5	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	2	2	2	12	4	8
ΤΥ	K9	2	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	2	2	16	8	8
ΤΥ	A6	0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	0	0	2	0	12	8	4
ΤΥ	A7	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	2	0	12	8	4
ΤΥ	A8	0	2	0	1	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	13	7	6
ΤΥ	K10	2	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	2	1	13	4	9
ΤΧ	A9	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	0	20	10	10
ΤΧ	A10	0	2	0	2	0	2	2	2	2	0	2	2	2	0	18	10	8
ΤΧ	A11	0	2	0	1	0	2	2	0	2	0	0	2	0	2	13	9	4
ΤΧ	K11	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	2	2	2	0	12	8	4
ΤΧ	A12	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	12	6	6

Β. Απόλυτη αιτιοκρατική προσέγγιση.

Δύο φοιτήτριες αντιμετώπισαν και τα τρία θέματα, δηλαδή το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο, τη φύση των τροχιακών και την αρχή της αβεβαιότητας, με αιτιοκρατικό τρόπο. Οι φοιτήτριες αυτές είναι οι K2 και K11. Οι αρχικές τους θέσεις καθώς και η εξέλιξη των θέσεων αυτών κατά τη συνέντευξη αναλύονται στη συνέχεια.

Η φοιτήτρια K2 όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πιο πάνω πίνακα 13.1, έχει μια καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 64% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 100%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 45%. Στις ερωτήσεις όμως που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει μόνο το 17% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά σε μία μόνο από τις έξι ερωτήσεις.



Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, εμμένει επίσης στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Η συζήτηση για το ατομικό μοντέλο σε αυτή τη συνέντευξη έγινε ομαδικά, αλλά στο τέλος της συνέντευξης, διότι και οι τέσσαρις απαντήσεις ήταν ίδιες και στηρίζονταν στο πλανητικό μοντέλο.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, η K2 διατηρεί την άποψή της αποδίδοντας την αβεβαιότητα στα όργανα. Η άποψη αυτή ενισχύεται από την αναφορά στο μακρόκοσμο, αυτήν ακριβώς τη μεταφορά είχε κάνει και κατά τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου:

«Εγώ θεώρησα ότι είναι πιο πειστικό το δεύτερο, γιατί σύμφωνα μ' αυτά που έχουμε κάνει ή στη φυσική ή στη χημεία είτε οπουδήποτε συνήθως τα όργανα έχουνε κάποια προβλήματα και δημιουργούνται σφάλματα.»

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, η K2, που αρχικά είχε παρασυρθεί, όπως δήλωσε, από τη φράση:

«θεμελιώδη κατάσταση»,

δέχεται την πιθανολογική προσέγγιση, δηλώνοντας ότι υπάρχουν:

«ελάχιστες πιθανότητες έξω απ' αυτή τη σφαίρα».

Επίσης αντιλαμβανόμενη το λάθος που υπήρχε στα δύο σχήματα λέει ότι:

«...χρειαζόταν κάποιες κουκίδες λίγο πιο έξω, ας πούμε όπως το πρώτο σχήμα, να φαίνεται η πιθανότητα.»

Σε ότι αφορά το ατομικό μοντέλο, η K2 που είχε σχεδιάσει στοιβάδες, τις είχε ονομάσει μάλιστα, δέχεται την ιδέα του ηλεκτρονιακού νέφους και γρήγορα διορθώνει:

«βασικά κάπως είναι αυτό σαν τροχιακό, πιο πολύ ηλεκτρονιακό νέφος».

Συνοψίζοντας η K2 παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στη θέση της για την αρχή της αβεβαιότητας σαφώς επηρεασμένη από ιδέες του μακρόκοσμου, υιοθέτησε μια πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και κατέληξε στο κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Η φοιτήτρια K11 όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια μέτρια επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 42% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το

80%, και στις ερωτήσεις κρίσεως μόνο το 22%. Από τις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις απάντησε σωστά μόνο σε μια συγκεντρώνοντας το 17% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, εμμένει επίσης στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη διάρκεια της συνέντευξης η K11 δηλώνει ότι:

«δεν πιστεύω ότι είναι έτσι [όπως το ζωγράφισε] αυτή η σιβάδα είναι ένας... ένα τροχιακό, ένας ευρύτερος χώρος, αλλά δεν ξέρω πώς είναι να το ζωγραφίσουμε όταν κινείται το ηλεκτρόνιο.»

Πάντως ζωγράφισε το υδρογόνο σύμφωνα με το πλανητικό πρότυπο διότι:

«... έτσι το είχα δει στα περισσότερα βιβλία.»

αποδέχεται δηλαδή τελικά το κβαντομηχανικό μοντέλο. Κατά τη συζήτηση της αρχής της αβεβαιότητας, η K11 σημειώνει το β διότι:

«... απλώς μου φαίνεται λογικό ότι σε τόσο μικρά σωματίδια δεν μπορούν να υπάρξουν όργανα να μετρούν τόσο... τόσο ακριβή.»

Στη συνέχεια όμως, ακούγοντας τις απόψεις των άλλων φοιτητών, αλλάζει γνώμη:

«... το α είναι πιο ευρύ στη μέτρηση ενώ το β είναι πιο ειδικό, αναφέρεται μόνο σε όργανα, ενώ το α στις μετρήσεις γενικότερα και μου φαίνεται πιο σωστό το α.»

Πάντως και η άποψή της αυτή δε φαίνεται να είναι απαλλαγμένη από αναφορές στο μακρόκοσμο.

Στη συζήτηση που ακολουθεί για τα τροχιακά, η K11 που στη γραπτή απάντησή της ταυτίζει το χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$ με το ίδιο το τροχιακό και γράφει ότι:

«Δεν είναι δυνατό γιατί η θεμελιώδης κατάσταση υφίσταται στην υποσιβάδα με τη μικρότερη ενέργεια και η $1s$ έχει την ελάχιστη, άρα σε κάθε άλλη δε θα είναι θεμελιώδης»,

επιμένει στην άποψη της αυτή:

«Ναι το υδρογόνο είναι στη θεμελιώδη κατάσταση τέλος πάντων, και μας λέει ότι να είναι έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό, και αφού είναι θεμελιώδης [κατάσταση] εκεί έχει και τη μικρότερη ενέργεια, οπότε δεν μπορεί να πάει σε άλλο τροχιακό, επομένως...»



Για να δ' δεχθεί στη συνέχεια και μετά από σύντομη συζήτηση την πιθανολογική προσέγγιση:

«Ότι έχει [πιθανότητα να βρεθεί έξω], ότι γίνεται».

- Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι από τα αποτελέσματα του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται η K11 να είναι μια φοιτήτρια προσανατολισμένη στην αλγοριθμική μάθηση και την απομνημόνευση. Κατά τη διάρκεια της συνέντευξης φαίνεται να αλλάζει όλες τις λανθασμένες ιδέες της, έτσι αποδέχεται το κβαντομηχανικό ατομικό πρότυπο, δέχεται τη σωστή απάντηση για την αρχή της αβεβαιότητας, αν και τα λεγόμενά της δεν είναι απαλλαγμένα από αναφορές στον μακρόκοσμο και τελικά αποδέχεται την πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διατηρηθεί μια επιφύλαξη για το κατά πόσο η K11 έχει αποδεχθεί και κατανοήσει τις νέες αυτές απόψεις ή αν η αποδοχή τους είναι στιγμιαία και περιστασιακή. Αν δηλαδή η K11, λόγω του τρόπου μάθησης στον οποίο είναι προσανατολισμένη, δεν έχει ισχυρή προσωπική άποψη και αποδέχεται χωρίς κριτική τις απόψεις των άλλων που τις θεωρεί σωστότερες. Η επιφύλαξη αυτή αφορά όλους τους προσανατολισμένους στην αλγοριθμική μάθηση και αποστήθιση φοιτητές.

Γ. Αιτιοκρατική προσέγγιση.

Δύο φοιτήτριες αντιμετώπισαν αιτιοκρατικά τα δύο από τα τρία θέματα, δηλαδή το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο, τη φύση των τροχιακών και την αρχή της αβεβαιότητας, ενώ στο τρίτο η τοποθέτησή τους ήταν ενδιάμεση. Οι φοιτήτριες αυτές είναι οι K6 και K7. Οι αρχικές τους θέσεις καθώς και η εξέλιξη των θέσεων αυτών κατά τη συνέντευξη αναλύονται στη συνέχεια.

Η φοιτήτρια K6, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια σχετικά καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 57% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 80%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 56%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τρεις από τις έξι ερωτήσεις.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των

τροχιακών, μια και απαντά σωστά μόνο στη μία από τις δύο ερωτήσεις Φαίνεται όμως να έχει υιοθετήσει το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Σε ό,τι αφορά το ατομικό μοντέλο η Κ6 είχε ζωγραφίσει ηλεκτρονιακό νέφος. Την άποψη της επιβεβαιώνει και εξηγεί:

«Στο κέντρο του ατόμου έχω βάλει το ένα πρωτόνιο που γνωρίζουμε ότι έχει το άτομο του υδρογόνου. Και με τελείες, που όσο πάνε από τον πυρήνα προς τα έξω αραιώνουν, έχω σχηματίσει ουσιαστικά την πιθανότητα, την οποία, μάλλον τις πιθανές θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο».

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, η Κ6 επιλέγει επίσης, μετά τις νέες γνώσεις από το πανεπιστήμιο, το α, διορθώνοντας την αρχική της απάντηση. Η συζήτηση δεν επεκτείνεται.

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, επιβεβαιώνεται και ισχυροποιείται η πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών από την Κ6, αφού εύκολα και αυθόρμητα αναγνωρίζει ότι:

«Αν ζητούσατε πάλι να την απαντήσω ξανά, θα 'λεγα ότι ναι μπορεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου να βρεθεί εκτός του τροχιακού 1s, όπως έχω σχεδιάσει αυτές τις τελίτσες στην [ερώτηση] 1».

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η Κ6 έχει κατανοήσει και αποδεχθεί την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας. Σε αυτό βέβαια βοήθησαν και νέες γνώσεις από το πανεπιστήμιο. Υιοθέτησε ξεκάθαρα μια πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και επιβεβαίωσε ότι αποδέχεται το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου του υδρογόνου.

Η φοιτήτρια Κ7 όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια σχετικά καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 57% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 70%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 50%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 42% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, μια και απαντά σωστά μόνο στη μία από τις δύο ερωτήσεις. Εμμένει επίσης στο ατομικό μοντέλο του Bohr.



Κατά τη συζήτηση της αρχής της αβεβαιότητας, η K7 διατηρεί την άποψή της για την ορθότητα της επιλογής β, παρά το γεγονός ότι αυτή έρχεται σε αντίθεση με τις απόψεις των άλλων τριών συμφοιτητών της. Είναι σίγουρη:

«... ότι δεν μπορούμε να μετρήσουμε τόσο μικρής τάξης ταχύτητες ή μάζα, ορμή.»

Αν υπήρχαν κατάλληλα όργανα τότε θα μπορούσαμε:

«... να μετρήσουμε χωριστά τη μάζα και χωριστά την ταχύτητα, δεν είναι ανάγκη να μετράμε με το ίδιο όργανο και τα δύο, οπότε δε με πείθει.»

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί η K7 υποστηρίζει τη σωστή απάντηση για τη μία ερώτηση:

«Υπάρχει ένα ποσοστό 1-2% να είναι το ηλεκτρόνιο έξω από το τροχιακό 1s, όπως με το άλλο την πυκνότητα στα διαγράμματα που είχαμε κάνει, όπως αυτό [εφ. 13, σχήμα 1], γιατί είναι s, είναι σφαιρικό... οπότε κάποιες από τις εξωτερικές κουκίδες θα είναι έξω...»

Περαιτέρω συνειδητοποιεί το λάθος της στη δεύτερη ερώτηση, όταν της υποδεικνύεται να δει τα όρια των δύο τροχιακών όπως είναι ζωγραφισμένα στις δύο εικόνες οπότε λέει:

«Θα έλεγα ότι υπάρχει λάθος στο δεύτερο σχήμα. Ότι οι στιγμές, οι κουκίδες τελειώνουν..., σταματάει η πιθανότητά τους ξαφνικά, ενώ θα 'πρεπε να υπάρχουν και κάποιες αραιές.»

Στην ατομική συνέντευξη για το ατομικό μοντέλο, η K7 επιδεικνύει μια παρόμοια προσέγγιση με την K1, προσπαθεί δηλαδή να συνδυάσει τα δύο μοντέλα. Έτσι αρχικά το ηλεκτρόνιο θα ήταν ένα ηλεκτρονιακό νέφος που θα το βλέπαμε σε ένα σημείο της τροχιάς. Όταν της επισημαίνεται ότι το ηλεκτρόνιο κινείται πολύ γρήγορα, καταλήγει και αυτή σε μια διευρυμένη, πιο απλωμένη, τροχιά, που πάλι συνδυάζει τα δύο μοντέλα. Χαράζει μάλιστα και τροχιά αυτή.

Συνοψίζοντας, η K7 παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στις θέσεις της τόσο για την αρχή της αβεβαιότητας, σαφώς επηρεασμένη από ιδέες του μακρόκοσμου, όσο και για την έννοια του τροχιακού το οποίο θεωρεί ως χώρο, όμως τώρα είναι πιο ξεκάθαρη η πιθανολογική προσέγγισή. Στην ατομική συνέντευξη-συζήτηση που ακολούθησε, δεν κατέληξε στο κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσπάθησε να συνδυάσει τα δύο μοντέλα.

Δ. Αιτιοκρατική-Πιθανολογική προσέγγιση.

Δύο φοιτήτριες και τρεις φοιτητές αντιμετώπισαν αιτιοκρατικά τα δύο από τα τρία θέματα, δηλαδή το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο, τη φύση των τροχιακών και την αρχή της αβεβαιότητας, ενώ στο τρίτο η τοποθέτησή τους ήταν πιθανολογική. Σημειώνεται ότι η πιθανολογική προσέγγιση έγινε σε διαφορετικό θέμα από κάθε φοιτητή. Οι φοιτήτριες αυτές είναι οι K8 και K9, και οι φοιτητές οι A3, A4 και A8. Οι αρχικές τους θέσεις καθώς και η εξέλιξη των θέσεων αυτών κατά τη συνέντευξη αναλύονται στη συνέχεια.

Η φοιτήτρια K8 όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια σχετικά καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 57% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 60%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 56%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 67% της βαθμολογίας. Πρόκειται για μια φοιτήτρια που δεν είναι προσανατολισμένη στην αποστήθιση γι' αυτό και η επίδοσή της στις ερωτήσεις γνώσεως δεν είναι και τόσο καλή σε αντίθεση με τις ερωτήσεις κρίσεως όπου έχει υψηλή σχετικά βαθμολογία.

Μέσα από τις απαντήσεις της στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας και να εμμένει στο ατομικό μοντέλο του Bohr. Έχει όμως κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, η K8, διατηρεί την άποψή της αποδίδοντας την αβεβαιότητα στα όργανα:

«Εγώ νομίζω ότι μάλλον θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε ταυτόχρονα τη θέση αν είχαμε τα κατάλληλα όργανα, ίσως όχι ακριβώς και ποτέ δε θα ξέραμε αν είναι όντως η ταχύτητα και η θέση ακριβώς, αλλά μάλλον θα μπορούσαμε.»

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, η K8, υποστηρίζει τη σωστή πιθανολογική προσέγγιση που έχει για τις έννοιες των τροχιακών. Έχει πάντως και αυτή την άποψη ότι το τροχιακό είναι ένας χώρος:

«... απλώς είναι ο χώρος στον οποίο πολύ πιο πιθανά θα βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο, δηλαδή υπάρχει μια πιθανότητα, πολύ μικρή όμως, να βρεθεί έξω από αυτό το χώρο που έχουμε θεωρήσει ως τροχιακό.»



Ήξερε ότι αφορά το ατομικό μοντέλο, η K8, που είχε σχεδιάσει το ατομικό μοντέλο του Bohr, δέχεται ότι δεν έπρεπε να σχεδιάσει την τροχιά αλλά:

«θα μπορούσε να σχεδιάσουμε τον πυρήνα και ένα ηλεκτρόνιο οπουδήποτε ουσιαστικά.»

Δεν καταλήγει όμως στο ηλεκτρονιακό νέφος.

Συνοψίζοντας, η K8 παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στη θέση της για την αρχή της αβεβαιότητας, σαφώς επηρεασμένη από ιδέες του μακρόκοσμου. Διατήρησε την πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και, αν και κατάλαβε πως το ατομικό πρότυπο του Bohr δεν ήταν σωστό, δεν κατέληξε τελικά στο κβαντομηχανικό μοντέλο, αλλά αρκέστηκε σε μια στιγμιαία «φωτογραφία» του ατόμου.

Η φοιτήτρια K9, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια μέση επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 80% στις ερωτήσεις γνώσεως, δηλαδή ένα ικανοποιητικό ποσοστό, και το 45% στις ερωτήσεις κρίσεως. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών, ενώ έχει υιοθετήσει το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου αν και το σχήμα που ζωγραφίζει δίνει την αίσθηση πολλών τροχιών. Σε ότι αφορά την αρχή της αβεβαιότητας πιστεύει ότι αυτή οφείλεται στα όργανα.

Κατά τη διάρκεια της συνέντευξης διορθώνει το αρχικό της σχέδιο για το άτομο του υδρογόνου δηλώνοντας ότι:

«Έπρεπε... [να βάλω]... περισσότερες στιγμές.»,

επιμένει στην άποψή της για την αρχή της αβεβαιότητας, επιμένει επίσης στην άποψή της ότι τα σημεία έξω από το χώρο που ορίζεται ως 1s τροχιακό:

«Είναι σε άλλα .. είναι άλλα τροχιακά».

Την άποψη αυτή εκφράζει και κατά τη συζήτηση της ερ. 13, όπου λέει ότι οι απομακρυσμένες κουκίδες μπορεί να ανήκουν σε άλλο τροχιακό και αυτό παρά το γεγονός ότι η ίδια είχε γράψει ότι:

«... η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα,
φαίνεται δηλαδή να μην κατανοεί τη σημασία αυτής της φράσης.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η K9 δεν έχει κατανοήσει την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας, την οποία αντιμετωπίζει με όρους μακρόκοσμου. Έχει επίσης δυσκολίες με τις έννοιες των τροχιακών και το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου ευρισκόμενη σε μια ενδιάμεση κατάσταση, όπου συνδυάζει στα νοητικά της σχήματα τις νέες πιθανολογικές ιδέες με τα προηγούμενα αιτιοκρατικά πρότυπα και ιδέες. Το γεγονός ότι στο γραπτό ερωτηματολόγιο είχε καλή επίδοση στις ερωτήσεις γνώσεως, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν φαίνεται να κατανοεί τη σημασία φράσεων που γράφει, δείχνει ότι η K9 είναι προσανατολισμένη στην αλγοριθμική μάθηση και την απομνημόνευση.

Ο φοιτητής A3, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια σχετικά καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 57% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 100%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 33%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 33% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις του στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας, δεν έχει όμως κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών και εμμένει στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, ο A3 υποστηρίζει τη θέση του, αναφέρει μάλιστα και το νοητικό πείραμα του Αϊνστάιν:

«Θα συμφωνήσω με το α, υπάρχουν τα όργανα, δηλαδή μπορούμε να βομβαρδίσουμε με φωτόνια ένα ηλεκτρόνιο. Η σύγκλιση φωτονίων και ηλεκτρονίων θα αλλάξει, εγώ πιστεύω, την ορμή του ηλεκτρονίου και όταν φτάσει το φωτόνιο στο μάτι μας, θα 'χει... δε θα είναι ίδια ορμή και ... καταλάβετε θα 'χει αλλάξει. Θα έχει μεταβληθεί η ορμή.»

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί ο A3 έχοντας καταλάβει λάθος την ερ. 8 επιμένει ότι:

«Νομίζω ότι εννοεί κάποιο άλλο τροχιακό ίσως, ότι μπορεί να διεγερθεί και να πάει σε κάποιο άλλο τροχιακό. Αυτό δεν είναι αδύνατο, μπορεί να γίνει διέγερση.»



Όταν όμως συνειδητοποιεί τι ακριβώς ρωτούσε η ερώτηση αυτή, δέχεται τη σωστή απάντηση:

- «Άρα υπάρχει μια μικρή πιθανότητα. Είχα καταλάβει διαφορετικά την ερώτηση.»

Γενικά όμως τα τροχιακά θεωρούνται ως:

«χώροι με συγκεκριμένο σχήμα και προσανατολισμό, μέσα στους οποίους μπορεί να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο οπουδήποτε.»

Στην ατομική συνέντευξη για το ατομικό μοντέλο, ο Α3 αν και το σχέδιο του στην ερ. 1 παραπέμπει στο πλανητικό μοντέλο, δεν αναφέρεται σε αυτό λέγοντας:

«εδώ έχω σχεδιάσει τον πυρήνα και το τροχιακό 1s».

Το σχεδίασε σαν σφαίρα βέβαια, με οριακή καμπύλη. Αυτό που παραπέμπει στο πλανητικό μοντέλο είναι το γεγονός ότι στην οριακή αυτή καμπύλη τοποθέτησε και το ηλεκτρόνιο, δίνοντας την εντύπωση ότι πρόκειται για τροχιά. Μετά από σύντομη συζήτηση, δέχεται ότι δεν είναι δυνατό να δει κανείς το ηλεκτρόνιο σε συγκεκριμένη θέση και ότι η πιο σωστή απεικόνιση είναι αυτή του ηλεκτρονιακού νέφους.

Συνοψίζοντας, κατά τη διάρκεια της συζήτησης ο Α3 φάνηκε να έχει μια ξεκάθαρη θέση για την αρχή της αβεβαιότητας στην οποία ήταν σταθερός. Ξεκαθάρισε κάποιες ασάφειες που υπήρχαν στην έννοια του τροχιακού, υιοθετώντας πλήρως την πιθανολογική προσέγγιση. Θεωρεί το τροχιακό ως χώρο και διευκρινίστηκε ότι αποδέχεται το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου, στο οποίο κατάλαβε ότι δεν μπορεί να σημειώνει το ηλεκτρόνιο σε συγκεκριμένη θέση.

Ο φοιτητής Α4, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια μέτρια επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων όπου συγκεντρώνει το 43% της βαθμολογίας. Συγκεντρώνει όμως το 100% στις ερωτήσεις γνώσεως, και μόλις το 11% στις ερωτήσεις κρίσεως, όπου απαντά σε μια μόνο ερώτηση. Χαμηλό ποσοστό (17%) συγκεντρώνει όπως είναι φυσικό και στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις. Πρόκειται, όπως φαίνεται από τα πιο πάνω, για ένα φοιτητή προσανατολισμένο στην αποστήθιση και στην αλγοριθμική μάθηση.

Μέσα από τις απαντήσεις του στις ερωτήσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας, δεν έχει όμως κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών και εμμένει στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, ο Α4 εμμένει στη θέση του και η αναφορά στον μακρόκοσμο δεν επηρεάζει την άποψή του:

«Εγώ πιστεύω ότι και να είχαμε τα κατάλληλα όργανα οπωσδήποτε πάλι θα γινόταν σφάλματα.»

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, ο Α4 δέχεται ότι το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρίσκεται και έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό, όμως πολύ κοντά σε αυτόν:

«... συμφωνώ περίπου με αυτό που είπε ότι το τροχιακό είναι ο χώρος στον οποίο υπάρχει πιθανότητα κυρίως να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο, άρα όντως μπορεί να βρίσκεται είτε στην επιφάνεια μιας τέτοιας σφαίρας είτε σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια.»

Δεν έχει δηλαδή ξεκάθαρα κατανοήσει την πιθανολογική φύση του τροχιακού. Την ίδια στάση επιδεικνύει και στη συνέχεια, θεωρώντας ότι οι κουκίδες στο δεύτερο σχήμα έπρεπε να είναι πιο αραιές, όμως μέσα στα όρια των δύο λοβών, και παρά το γεγονός ότι πιέζεται να δεχθεί κουκίδες και πιο μακριά δε δέχεται παρά μόνο ελάχιστες στην εξωτερική πλευρά των ορίων όπως αυτά φαίνονται στο σχήμα.

Σε ό,τι αφορά το ατομικό μοντέλο ο Α4, που είχε σχεδιάσει το ατομικό μοντέλο του Bohr, δέχεται ότι δεν έπρεπε να σχεδιάσει την τροχιά:

«Δε θα ζωγράφιζα την τροχιά του ηλεκτρονίου.»

Δεν καταλήγει όμως στο ηλεκτρονιακό νέφος.

Συνοψίζοντας, ο Α4 παρέμεινε σταθερός κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στη θέση του για την αρχή της αβεβαιότητας, υιοθέτησε, αν και όχι ξεκάθαρα, μια πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και, αν και κατάλαβε πως το ατομικό πρότυπο του Bohr δεν ήταν σωστό, δεν κατέληξε τελικά στο κβαντομηχανικό μοντέλο, αλλά αρκέστηκε σε μια στιγμιαία «φωτογραφία» του ατόμου.

Ο φοιτητής Α8, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια μέτρια επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει μόνο το 70% στις ερωτήσεις γνώσεως, και μόλις 33% στις ερωτήσεις κρίσεως,



ποσοστό ιδιαίτερα χαμηλό. Το ίδιο χαμηλό ποσοστό (33%) συγκεντρώνει και στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις.

- Μέσα από τις απαντήσεις του στις ερωτήσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας, δεν έχει όμως κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών και εμμένει στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη διάρκεια της συζήτησης φαίνεται να αποδέχεται το κβαντομηχανικό μοντέλο, όμως επιμένει να ζωγραφίζει γύρω από τον πυρήνα γραμμές που θυμίζουν τροχιές:

«Γενικά θα έβαζα εδώ πέρα πυκνότερες γραμμές γύρω-γύρω και εδώ πέρα θα αραιώναν».

Θεωρεί ότι ο υβριδισμός είναι:

«... μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου από το ένα, από τη μία υποστιβάδα στην άλλη.».

Σε ότι αφορά την αρχή της αβεβαιότητας επιμένει στην άποψή του που τώρα ενισχύεται από νέες γνώσεις που έμαθε στο πανεπιστήμιο:

«... για να υπολογίσουμε καλύτερα τη θέση του ηλεκτρονίου χρησιμοποιούμε μικρότερο μήκος κύματος, οπότε αυξάνεται η ορμή του φωτονίου, το οποίο στέλνουμε για να το εντοπίσουμε, οπότε υπάρχει μεγαλύτερη σύγκρουση οπότε αλλάζει η ορμή του.».

Παρατηρείται κάποια σύγχυση στην έννοια του τροχιακού, έτσι ενώ ένα ηλεκτρόνιο που ανήκει στο 1s τροχιακό μπορεί να βρίσκεται ακόμη και στο άπειρο, όταν σχεδιάσουμε μια σφαίρα και την ορίσουμε ως 1s τροχιακό, τότε το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να βρίσκεται έξω από αυτή. Το 1s μπορεί να είναι και στο άπειρο:

«... αν δεν υπήρχαν άλλα ηλεκτρόνια, άλλα γειτονικά άτομα τα οποία ασκούν δυνάμεις... »

και τα οποία προφανώς το περιορίζουν στη σφαίρα που σχεδιάζουμε.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο Α8 έχει κατανοήσει και αποδεχθεί την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας, έχει όμως δυσκολίες με τις έννοιες των τροχιακών και το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου, ευρισκόμενος σε μια ενδιάμεση κατάσταση όπου συνδυάζει στα νοητικά του σχήματα τις νέες πιθανολογικές ιδέες με τα προηγούμενα αιτιοκρατικά πρότυπα και ιδέες.

Ε. Αιτιοκρατική-Ενδιάμεση-Πιθανολογική προσέγγιση.

Δύο φοιτήτριες αντιμετώπισαν αιτιοκρατικά το ένα από τα τρία θέματα, πιθανολογικά το δεύτερο, ενώ στο τρίτο η τοποθέτησή τους ήταν ενδιάμεση. Οι φοιτήτριες αυτές είναι οι Κ3 και Κ. Οι αρχικές τους θέσεις καθώς και η εξέλιξη των θέσεων αυτών κατά τη συνέντευξη αναλύονται στη συνέχεια.

Η φοιτήτρια Κ3, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 64% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 80%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 56%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τρεις από τις έξι ερωτήσεις.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει εντελώς την πιθανολογική φύση των τροχιακών, μια και απαντά σωστά μόνο στη μία από τις δύο ερωτήσεις. Εμμένει επίσης στο ατομικό μοντέλο του Bohr. Φαίνεται όμως να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας.

Σε ό,τι αφορά το ατομικό μοντέλο, η Κ3 είχε ζωγραφίσει τρεις διακεκομμένες τροχιές γύρω από τον πυρήνα που σαφώς παραπέμπουν σε στοιβάδες όπως και η ίδια τελικά παραδέχεται:

« ... Είναι αυτό που έχουμε μάθει από την πρώτη γυμνασίου [λυκείου] πως γίνεται. »

Αρχικά τις ταυτίζει με τα τροχιακά:

«Είναι τα τροχιακά, ο χώρος που υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. »

Θεωρεί όμως ότι το κβαντομηχανικό μοντέλο αποδίδει καλύτερα το άτομο του υδρογόνου:

«... επειδή είναι ο πυρήνας και γύρω-γύρω είναι η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου, να βρεθεί στο 1s, η οποία δε μηδενίζεται ούτε σε άπειρη απόσταση από τον πυρήνα.»

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, η Κ3 εμμένει στη θέση της, θεωρώντας σωστή επιλογή το α. Η θέση αυτή ισχυροποιείται από νέες γνώσεις στο πανεπιστήμιο.



” Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, επιβεβαιώνεται και ισχυροποιείται η πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών από την Κ3, αφού εύκολα αναγνωρίζει το λάθος της στην ερ. 13 και δέχεται:

«ότι [η πυκνότητα στο σχήμα 1] δε μηδενίζεται πουθενά ενώ εδώ πέρα [στο σχήμα 2] μηδενίζεται»,

οπότε:

«το σχήμα 2 είναι λάθος γιατί μηδενίζει την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου».

Επαναλαμβάνει επίσης τη σωστή απάντηση που είχε δώσει στην ερ. 8.

Συνοψίζοντας η Κ3 παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στη θέση της για την αρχή της αβεβαιότητας, υιοθέτησε ξεκάθαρα μια πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και κατέληξε στο κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Η φοιτήτρια Κ4, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 64% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 60%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 67%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 67% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τέσσερις από τις έξι ερωτήσεις. Πρόκειται για μια φοιτήτρια που δεν είναι προσανατολισμένη στην αποστήθιση γι’ αυτό και η επίδοσή της στις ερωτήσεις γνώσεως δεν είναι και τόσο καλή, σε αντίθεση με τις ερωτήσεις κρίσεως όπου έχει υψηλή σχετικά βαθμολογία.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να μην έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας. Επίσης να μην έχει κατανοήσει εντελώς την πιθανολογική φύση των τροχιακών, μια και απαντά σωστά μόνο στη μία από τις δύο ερωτήσεις. Φαίνεται όμως να έχει υιοθετήσει το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Σε ό,τι αφορά το ατομικό μοντέλο, η Κ4, που έχει ζωγραφίσει το τροχιακό 1s με οριακή καμπύλη, λέει:

«Προσπαθούσα να εξηγήσω ότι το τροχιακό δεν είναι ένας χώρος τον οποίο μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια ...Μέσα στο μεγαλύτερο κύκλο περιλαμβάνεται το s τροχιακό και υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο.»

Επιβεβαιώνει δηλαδή την αποδοχή του κβαντομηχανικού μοντέλου.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, η K4 επιλέγει, μετά τις νέες γνώσεις από το πανεπιστήμιο, το α, διορθώνοντας την αρχική της απάντηση. Η συζήτηση δεν επεκτείνεται.

Στη συζήτηση για τα τροχιακά που ακολουθεί, επιβεβαιώνεται και ισχυροποιείται η πιθανολογική προσέγγιση στις έννοιες των τροχιακών από την K4,, αφού εύκολα αναγνωρίζει ότι:

«Αλλά πιστεύω ότι ... το τροχιακό $1s$ του υδρογόνου εκτείνεται στο άπειρο και όταν χρησιμοποιούμε, όταν περιορίζουμε το τροχιακό σε κάποιο χώρο, προσπαθούμε στο χώρο αυτό να εντάξουμε την μεγαλύτερη πιθανότητα»

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι η K4 έχει κατανοήσει και αποδεχθεί την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας. Σε αυτό βέβαια βοήθησαν και νέες γνώσεις από το πανεπιστήμιο. Υιοθέτησε ξεκάθαρα μια πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού και επιβεβαίωσε ότι αποδέχεται το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου του υδρογόνου.

ΣΤ. Πιθανολογική-Αιτιοκρατική προσέγγιση.

Δύο φοιτήτριες και τέσσερις φοιτητές αντιμετώπισαν αιτιοκρατικά το ένα από τα τρία θέματα, ενώ στα άλλα δύο η τοποθέτησή τους ήταν πιθανολογική. Σημειώνεται ότι η πιθανολογική προσέγγιση έγινε σε διαφορετικά θέματα από κάθε φοιτητή. Οι φοιτήτριες αυτές είναι οι K1 και K10, και οι φοιτητές οι A1, A2, A9 και A10. Οι αρχικές τους θέσεις καθώς και η εξέλιξη των θέσεων αυτών κατά τη συνέντευξη αναλύονται στη συνέχεια.

Η φοιτήτρια K1 όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων, αφού συγκεντρώνει το 64% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 100%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 45%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τρεις από τις έξι ερωτήσεις.

Μέσα από τις απαντήσεις της στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, εμμένει όμως στο ατομικό μοντέλο του Bohr.



Η συζήτηση για το ατομικό μοντέλο σε αυτήν τη συνέντευξη έγινε ατομικά στο τέλος διότι και οι τέσσερις απαντήσεις ήταν ίδιες και στηρίζονταν στο πλανητικό μοντέλο.

- Κατά τη συζήτηση της αρχής της αβεβαιότητας η K1 είναι σίγουρη για την ορθότητα του α που επέλεξε και λέει:

«Τα όργανα εγώ δεν τα γνωρίζω, απλώς θεωρώ ότι σήμερα με την τεχνολογία σίγουρα υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαραίτητες μετρήσεις».

Η θέση αυτή όμως σίγουρα υποκρύπτει μια σύνδεση με εμπειρίες του μακρόκοσμου.

Από τη συζήτηση που ακολουθεί για τα τροχιακά, η K1 επιβεβαιώνει τη σαφή πιθανολογική προσέγγιση που έχει για τις έννοιες αυτές, επιμένοντας σε όσα είχε γράψει στο γραπτό ερωτηματολόγιο:

«...ρωτάει αν μπορεί να βρεθεί σε ένα χώρο έξω από το 1s. Δεν εννοεί κάποιο άλλο τροχιακό, εννοεί τον υπόλοιπο χώρο που δεν ορίζεται από κάποιο τροχιακό, [και εγώ απαντώ] ναι.»

Γενικά όμως τα τροχιακά για αυτήν:

«Είναι χώροι όπου υπάρχει πιθανότητα γύρω στο 99% να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο μέσα.»

Στην ατομική συνέντευξη για το ατομικό μοντέλο, η K1 με την έναρξη της συζήτησης λέει ότι:

«Εγώ το σχήμα αυτό το έκανα επειδή είναι ένα σχήμα το οποίο το συναντάμε πολύ συχνά σε βιβλία.»

ενώ τώρα θα ζωγράφιζε ένα άλλο σχήμα και αυτό θα ήταν μια κυκλική τροχιά πάλι, στην οποία:

«το ηλεκτρόνιο δεν θα 'τανε ένα κυκλάκι, το οποίο συμβολίζει ένα σώμα, αλλά θα 'τανε κάποιο νέφος, κάποια συχνότητα. Το οποίο θα μετακινείται γύρω-γύρω από το τροχιακό».

Έχουμε δηλαδή μια προσπάθεια συνδυασμού του πλανητικού μοντέλου με το κβαντομηχανικό, όπου το ηλεκτρόνιο, σαν ένα σύνολο κουκίδων, κινείται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεκριμένη όμως τροχιά. Παρατηρείται επίσης ταύτιση των όρων τροχιά και τροχιακό. Η συζήτηση συνεχίζεται για να καταλήξει τελικά σε μια διευρυμένη, πιο απλωμένη, τροχιά, που πάλι συνδυάζει τα δύο μοντέλα.

Συνοψίζοντας, η K1 παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στις θέσεις της τόσο για την αρχή της αβεβαιότητας, που όμως είναι επηρεασμένες από ιδέες του

μακρόκοσμου, όσο και στην έννοια του τροχιακού. Στην ατομική συνέντευξη – συζήτηση που ακολούθησε δεν κατέληξε στο κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσπάθησε να συνδυάσει τα δύο μοντέλα.

Η φοιτήτρια K10, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια μέτρια επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει μόνο το 40% στις ερωτήσεις γνώσεως, ποσοστό ιδιαίτερα χαμηλό, και το 50% στις ερωτήσεις κρίσεως. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 75% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις της στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να έχει κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών και να έχει υιοθετήσει το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου ενώ δεν απαντά στην ερώτηση για την αρχή της αβεβαιότητας.

Στις θέσεις αυτές επιδεικνύει συνέπεια και κατά τη διάρκεια της συνέντευξης. Λέει π.χ. για την ερ. 1:

«Όχι γιατί δεν υπάρχουν... [γραμμές γύρω από τον πυρήνα]. Κάποτε μάθαμε ότι υπάρχουν τροχιές, ξέρουμε όμως τώρα, η σύγχρονη χημεία λέει, ότι κινούνται σε χώρο σε τροχιακά.»,

Και για την ερ. 8:

«Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί οπουδήποτε, απλά κοντά στον πυρήνα υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες. Γι' αυτό ίσως δηλώνουμε και το 1s όσο πιο κοντά μπορούμε στον πυρήνα.»

Η K10 δεν είχε απαντήσει στην ερ. 7 για την αβεβαιότητα, κατά τη διάρκεια της συζήτησης δέχεται αρχικά ως σωστή απάντηση την α, στη συνέχεια όμως, μετά από το μακροσκοπικό παράδειγμα του αεροπλάνου θεωρεί ως λογική απάντηση τη β:

«Γιατί δεν είναι λογικό αυτό που είπα, μπορεί να υπάρχουν όργανα και να μην υπάρχει σφάλμα αν είναι τόσο ακριβή τα όργανα.»

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η K10 έχει κατανοήσει και αποδεχθεί τις νέες ιδέες, έχει όμως δυσκολίες με κάποιες από αυτές όπως την αρχή της αβεβαιότητας. Το γεγονός ότι στο γραπτό ερωτηματολόγιο δεν απάντησε στις αλγοριθμικές ερωτήσεις δείχνει ότι μάλλον δεν είναι προσανατολισμένη στην αλγοριθμική μάθηση και την απομνημόνευση.



Ο φοιτητής A1, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια πολύ καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων, αφού συγκεντρώνει το 75% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 90%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 67%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας.

Μέσα από τις απαντήσεις του στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας, καθώς και την πιθανολογική φύση των τροχιακών. Εμμένει όμως στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Γενικά η συμμετοχή του A1 στη συζήτηση, τόσο για την αβεβαιότητα όσο και για την έννοια του τροχιακού, είναι μικρή και κυρίως περιορίζεται στο να επιβεβαιώσει τις σωστές απόψεις του για τα δύο θέματα. Ειδικά για τα τροχιακά έχει και αυτός την άποψη ότι το τροχιακό είναι ένας χώρος, λέει σχετικά:

«Το τροχιακό είναι ο χώρος μέσα στον οποίο υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου».

Σε ό,τι αφορά το ατομικό μοντέλο, με την έναρξη της συζήτησης δηλώνει ότι:

«... στην πραγματικότητα δεν είναι έτσι.»

όπως το ζωγράφισε δηλαδή και ότι:

«... ένα ηλεκτρονιακό νέφος, ένα τροχιακό θα 'κανα, όπως αυτό στο σχήμα 1.»

όποτε η συζήτηση τερματίζεται.

Συνοψίζοντας, ο A1 επανέλαβε κατά τη διάρκεια της συνέντευξης τις σωστές θέσεις του τόσο για την αρχή της αβεβαιότητας όσο και για την έννοια του τροχιακού και υιοθέτησε, επηρεασμένος από τη συζήτηση των άλλων ερωτήσεων, χωρίς άλλη συζήτηση, το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Ο φοιτητής A2, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια πολύ καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 71% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 60%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 78%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 67% της βαθμολογίας. Όπως και η φοιτήτρια K8 έτσι και αυτός φαίνεται να μην είναι προσανατολισμένος στην αποστήθιση, γι'

αυτό και η επίδοση του στις ερωτήσεις γνώσεως δεν είναι και τόσο καλή, σε αντίθεση με τις ερωτήσεις κρίσεως όπου έχει την υψηλότερη βαθμολογία.

Μέσα από τις απαντήσεις του στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, φαίνεται να εμμένει όμως στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη συζήτηση για την αρχή της αβεβαιότητας, ο Α2, που είχε επιλέξει την απάντηση α, εξηγεί ότι:

«Όταν λέμε όμως διαδικασία δεν εννοούμε μόνο τα όργανα. Μπορούμε να εννοούμε και τη μαθηματική πορεία που θα ακολουθήσουμε...»

Από αυτή τη μαθηματική πορεία θεωρεί ότι προέρχεται η αβεβαιότητα:

«Από την εξίσωση την οποία χρησιμοποιούμε για να βρούμε κάποιο από τα δύο. όταν με μεγάλη ακρίβεια προσδιορίζουμε το ένα, εξαλείφεται η ακρίβεια στο άλλο.»

Ο πιθανολογικός τρόπος προσέγγισης των τροχιακών από τον Α2 φαίνεται από τη θέση που παίρνει κατά τη συζήτηση των σχετικών εννοιών:

«Το τροχιακό είναι ο χώρος στον οποίο υπάρχει πιθανότητα νομίζω 95 ή 99% να βρεθεί το ηλεκτρόνιο...»

Αξίζει να σημειωθεί ο διαχωρισμός που κάνει στις έννοιες τροχιακό και ηλεκτρονιακό νέφος δηλώνοντας ότι το ηλεκτρονιακό νέφος σε αντιδιαστολή με το τροχιακό είναι:

«όλες οι πιθανές θέσεις τις οποίες μπορεί να λάβει το ηλεκτρόνιο.»

Με βάση αυτή την παρανόηση ο Α2 απαντά και στην ερ. 13 όπου το σχήμα 1 είναι ηλεκτρονιακό νέφος στο οποίο δεν καθορίζονται όρια, ενώ το σχήμα 2 τροχιακό που έχει όρια:

«... το σχήμα το 1 δείχνει ηλεκτρονιακό νέφος ενώ το σχήμα 2 δείχνει τροχιακό».

Σε ότι αφορά το ατομικό μοντέλο, ο Α2 είχε σχεδιάσει από την αρχή ένα στιγμιότυπο, μια «φωτογραφία» του ατόμου, δεν έχει στο μυαλό του το πλανητικό μοντέλο αλλά το κβαντομηχανικό. Δυσκολεύεται όμως να δεχθεί το ηλεκτρονιακό νέφος ως τρόπο απεικόνισης του ατόμου:

«Τι θα 'βλεπα; Ε. ένα ηλεκτρονιακό νέφος. μάλλον όχι δε θα 'βλεπα ένα ηλεκτρονιακό νέφος, θα έβλεπα το ηλεκτρόνιο σε διάφορα σημεία να...»

Καταλήγει δηλαδή στο ηλεκτρονιακό νέφος αλλά δεν το δέχεται.



Συνοψίζοντας, ο Α2 παρέμεινε σταθερός κατά τη διάρκεια της συνέντευξης στη θέση του για την αρχή της αβεβαιότητας και διατήρησε την πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού. Σε ό,τι αφορά το ατομικό πρότυπο, απορρίπτει το ατομικό πρότυπο του Bohr, δέχεται το άτομο όπως το περιγράφει η κβαντομηχανική, δε δέχεται όμως το ηλεκτρονιακό νέφος ως οπτικοποίηση αυτού του μοντέλου.

Ο φοιτητής Α9, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πιο πάνω πίνακα 13.1, έχει μια πολύ καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 71% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 100%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 56%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τρεις από τις έξι ερωτήσεις.

Μέσα από τις απαντήσεις του στις ερωτήσεις του γραπτού ερωτηματολογίου φαίνεται να έχει υιοθετήσει το κβαντομηχανικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου και να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας, δεν έχει όμως κατανοήσει την πιθανολογική φύση των τροχιακών.

Κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, ο Α9 δε λαμβάνει μέρος στη συζήτηση για το άτομο του υδρογόνου, η οποία προσανατολίζεται στους άλλους δύο φοιτητές που είχαν δώσει λανθασμένη απάντηση. Ο Α9 απλά διαβάζει την απάντησή του. Κατά τη συζήτηση της αρχής της αβεβαιότητας, ο Α9 είναι σίγουρος για την ορθότητα του α και λέει:

«επέλεξα το α απορρίπτοντας το β γιατί λέω έχει προχωρήσει η τεχνολογία, μπορούμε να μετρήσουμε, και η αρχή του Heisenberg λέει ότι είναι αδύνατη, δηλαδή με οποιαδήποτε μέθοδο είναι αδύνατος ο ταυτόχρονος προσδιορισμός θέσης και ορμής.»

Η θέση αυτή όμως ίσως υποκρύπτει μια σύνδεση με εμπειρίες του μακρόκοσμου.

Η έννοια του τροχιακού δεν είναι ξεκάθαρη στα νοητικά σχήματα του Α9, παρατηρείται δηλαδή κάποια σύγχυση, αποτέλεσμα της οποίας ήταν και οι λανθασμένες απαντήσεις στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Αρχικά ο Α9 λέει:

«Δεν είναι δυνατό γιατί ως τροχιακό ορίζεται ο χώρος που μπορεί να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, άρα έξω απ' το τροχιακό δεν μπορεί να βρεθεί»,

όπως επίσης και ότι:

«το 1s είναι μια σφαίρα μικρή και το 2s είναι μια σφαίρα μεγαλύτερη και το 2s εμπεριέχει το 1s, άρα στο 2s η πιθανότητα θα 'ναι μεγαλύτερη, γιατί καταλαμβάνει μεγαλύτερο χώρο».

θέσεις από τις οποίες προκύπτει μία σαφής αίσθηση χώρου για το τροχιακό, όπως επίσης και μια παρανόηση της έννοιας της λέξης «μπορεί» στην πρώτη απάντηση: «μπορεί, άρα έξω δεν μπορεί» αντί του σωστού «μπορεί, δηλαδή ίσως, άρα μπορεί και να μη βρίσκεται εκεί αλλά κάπου αλλού». Με το τέλος της συζήτησης αντιλαμβάνεται το λάθος του και δηλώνει ότι:

«Εξαρτάται πως θα το ορίσουμε το τροχιακό. Άμα το ορίσουμε να έχει ένα ορισμένο μέγεθος, κάπου να σταματάει, τότε υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα...».

Έχοντας κατανοήσει την έννοια του τροχιακού, βρίσκει εύκολα ότι το σχήμα 2 της ερώτησης 13 είναι λάθος

«... το σχήμα μάς δείχνει ότι επειδή κάπου σταματάει απότομα, ότι δεν υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί έξω από κει.»

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο Α9 έχει κατανοήσει την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας ίσως όμως να επηρεάζεται ακόμη με όρους μακρόκοσμου. Έχει επίσης κατανοήσει και αποδεχθεί το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου του υδρογόνου. Οι παρανοήσεις που είχε για τις έννοιες των τροχιακών φαίνεται ότι από τη συζήτηση ξεπεράστηκαν.

Ο φοιτητής Α10, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα στο γραπτό ερωτηματολόγιο που φαίνονται στον πίνακα 13.1, έχει μια καλή επίδοση στο σύνολο των ερωτήσεων αφού συγκεντρώνει το 64% της συνολικής βαθμολογίας. Στις ερωτήσεις γνώσεως συγκεντρώνει το 100%, και στις ερωτήσεις κρίσεως το 45%. Στις ερωτήσεις που επελέγησαν για τις προφορικές συνεντεύξεις συγκεντρώνει το 50% της βαθμολογίας, απαντά δηλαδή σωστά στις τρεις από τις έξι ερωτήσεις.

Μέσα από τις απαντήσεις του στο γραπτό ερωτηματολόγιο φαίνεται να έχει κατανοήσει την αρχή της αβεβαιότητας όπως και την πιθανολογική φύση των τροχιακών, εμμένει όμως στο ατομικό μοντέλο του Bohr.

Κατά τη διάρκεια της συνέντευξης ο Α10 δηλώνει ότι σκέφτηκε το ηλεκτρονιακό νέφος, αλλά προτίμησε το πλανητικό μοντέλο διότι:

«απλά ήθελα να δώσω μια στατική ας πούμε μορφή, να δείξω και το ηλεκτρόνιο και τη στροφή».



αποδέχεται όμως ότι το κβαντομηχανικό μοντέλο:

«... είναι γενικά πιο σωστό».

- Κατά τη συζήτηση της αρχής της αβεβαιότητας, ο Α10 δεν είναι σίγουρος για την ορθότητα του α , δεν είναι ευχαριστημένος από την απάντησή του και λέει:

«... δηλαδή αν μπορούσα να δικαιολογήσω στην πρώτη, να έχω και την απάντησή μου ότι είναι και μικρά, δηλαδή από την άποψη ότι δεν μπορούμε να ... δεν μπορούν τα όργανα να το μετρήσουν, θα είχα κάνει συνδυασμό... ».

Σημειώνεται ότι η αναφορά στον μακρόκοσμο που γίνεται μάλλον και σε αυτή την περίπτωση δυσκολεύει τα πράγματα αφού ο Α10 λέει στο τέλος:

«... εγώ θεωρώ ότι και στο μικρόκοσμο και στο μακρόκοσμο ότι είναι το α , δηλαδή απλά είναι σχετικά, δηλαδή μπορεί αργότερα να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε ακόμα πιο πολύ και τη θέση και την ορμή, δηλαδή να προσεγγίσουμε τις ικανότητες που έχουμε στο μακρόκοσμο»,

ταυτίζει δηλαδή την αιτία των σφαλμάτων στο μακρόκοσμο και στο μικρόκοσμο και ουσιαστικά την αποδίδει σε τεχνικές αδυναμίες.

Από τη συζήτηση που ακολουθεί για τα τροχιακά επιβεβαιώνεται η θέση ότι ο Α10 έχει μια σαφή πιθανολογική προσέγγιση και δεν ταυτίζει το κάθε τροχιακό με συγκεκριμένο χώρο:

«Όταν λέμε χώρος τροχιακού $α$ ς πούμε είναι κάτι πολύ μεγάλο, το χώρο που καταλαμβάνει το $1s$ τροχιακό. Κάποιο μέρος του χώρου αυτού καταλαμβάνει και το $2s$ τροχιακό και πιο ευρύτερα ή και το p τροχιακό».

Και στη συνέχεια:

«... Πάρα πολύ μακριά από τον πυρήνα. Δηλαδή είναι ακόμα $1s$ τροχιακό, το $2s$, η διαφορά από το $1s$, είναι ότι σε κείνο το σημείο που είναι πολύ αραιό, είναι λίγο πιο πυκνό το $2s$ τροχιακό.»

Ο αιτιοκρατικός όμως τρόπος σκέψης του φαίνεται από το σχόλιο που κάνει για τα μοριακά τροχιακά και τη δυνατότητα αφαίρεσης ατομικών τροχιακών όπου δηλώνει:

«Το σκεπτικό δηλαδή είναι ότι πάντα έρχονται κοντά, και ενώ $α$ ς πούμε ο κανόνας θα έλεγε ότι έπρεπε να γίνει δεσμός με το αντίθετο, δηλαδή την πρόσθεση των τροχιακών, δεν μπορώ να καταλάβω πώς δε θα γίνει αυτό το πράγμα, δηλαδή θα γίνει αφαίρεση»

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι ο Α10 δεν έχει κατανοήσει την ιδέα της αρχής της αβεβαιότητας και επηρεάζεται ακόμη με όρους μακρόκοσμου. Έχει κατανοήσει και αποδεχθεί το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου του υδρογόνου που θεωρεί γενικά πιο σωστό και έχει μια ξεκάθαρη πιθανολογική προσέγγιση στην έννοια του τροχιακού.

Ζ. Συγκεντρωτική παρουσίαση αποτελεσμάτων.

Στον πίνακα 13.2 που ακολουθεί παρατίθενται συγκεντρωτικά οι αρχικές και οι τελικές τοποθετήσεις των πρωτοετών φοιτητών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις. Στον πίνακα χρησιμοποιούνται τα εξής σύμβολα:

- i) Για την αρχή της αβεβαιότητας: α και β οι αντίστοιχες επιλογές στην ερώτηση 7.
- ii) Για τη φύση των τροχιακών: Π η πιθανολογική προσέγγιση, D η αιτιοκρατική προσέγγιση και E ενδιάμεση προσέγγιση.
- iii) Για το ατομικό μοντέλο: Β το πλανητικό μοντέλο, Q το κβαντομηχανικό μοντέλο και E ενδιάμεσο μοντέλο.

Πίνακας 13.2: Αρχικές και τελικές τοποθετήσεις πρωτοετών φοιτητών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις.

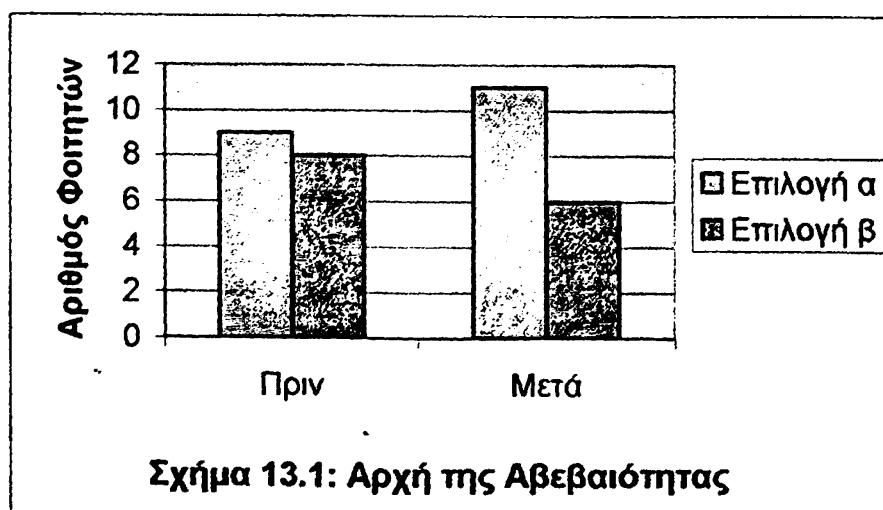
Φοιτητής	Αρχή Αβεβαιότητας		Φύση τροχιακών		Ατομικό μοντέλο	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
A1	α	α	Π	Π	Β	Q
A2	α	α	Π	Π	Β	Q
A3	α	α	D	Π	Β	Q
A4	α	α	D	Π	Β	E
A8	α	α	D	E	Β	E
A9	α	α	D	Π	Q	Q
A10	α	β	Π	Π	Β	Q
K1	α	α	Π	Π	Β	E
K2	β	β	D	Π	Β	Q

Φοιτητής	Αρχή Αβεβαιότητας		Φύση τροχιακών		Ατομικό μοντέλο	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
K3	α	α	Ε	Π	Β	Q
K4	β	α	Ε	Π	Q	Q
K6	β	α	Ε	Π	Q	Q
K7	β	β	Ε	Π	Β	Ε
K8	β	β	Π	Π	Β	Ε
K9	β	β	Δ	Ε	Q	Ε
K10	β	β	Π	Π	Q	Q
K11	β	α	Δ	Π	Β	Q

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στις απόψεις των φοιτητών κατά τις ομαδικές συζητήσεις, όπως προκύπτουν από τον πίνακα 13.2.

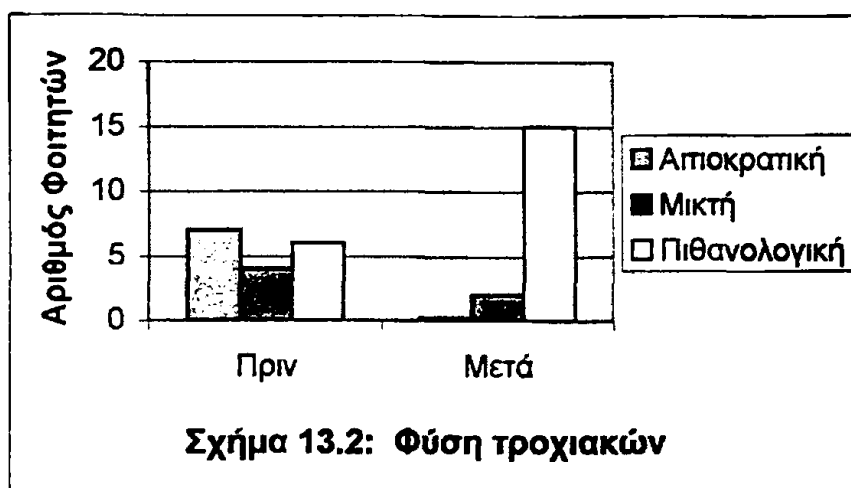
Πίνακας 13.3: Η αρχή της αβεβαιότητας

Επιλογή α		Επιλογή β	
Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
9	11	8	6



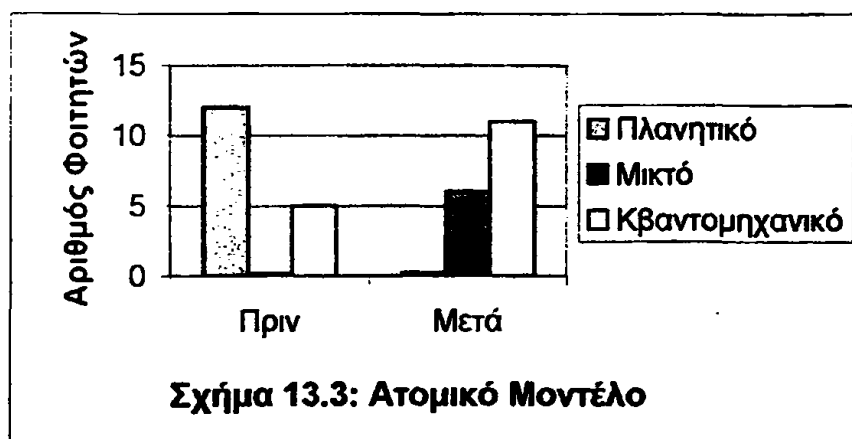
Πίνακας 13. 4: Η φύση των τροχιακών

Αιτιοκρατική Προσέγγιση		Ενδιάμεση προσέγγιση		Πιθανολογική προσέγγιση	
Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
7	-	4	2	6	15



Πίνακας 13.5: Το ατομικό μοντέλο

Πλανητικό		Ενδιάμεσο		Κβαντομηχανικό	
Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
12	-	-	6	5	11



Οι μεταβολές που παρατηρούνται στον πίνακα 13.2 ελέγχθηκαν για να διαπιστωθεί αν ήταν στατιστικά σημαντικές. Για το στατιστικό έλεγχο των μεταβολών, οι φοιτητές

βαθμολογήθηκαν με 2 μονάδες για την πιθανολογική προσέγγιση των σχετικών εννοιών, με 0 μονάδες για την αιτιοκρατική και με 1 μονάδα για μια ενδιάμεση τοποθέτηση. Έτσι προέκυψε ο πίνακας 13.6.

Πίνακας 13.6: Βαθμολογία αρχικών και τελικών τοποθετήσεων πρωτοετών φοιτητών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις.

Φοιτητής	Αρχή Αβεβαιότητας		Φύση τροχιακών		Ατομικό μοντέλο	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
A1	2	2	2	2	0	2
A2	2	2	2	2	0	2
A3	2	2	0	2	0	2
A4	2	2	0	2	0	1
A8	2	2	0	1	0	1
A9	2	2	0	2	2	2
A10	2	0	2	2	0	2
K1	2	2	2	2	0	1
K2	0	0	0	2	0	2
K3	2	2	1	2	0	2
K4	0	2	1	2	2	2
K6	0	2	1	2	2	2
K7	0	0	1	2	0	1
K8	0	0	2	2	0	1
K9	0	0	0	1	2	1
K10	0	0	2	2	2	2
K11	0	2	0	2	0	2

Όπως προκύπτει από τα αντίστοιχα τεστ ANOVA, οι μεταβολές στις τοποθετήσεις των φοιτητών είναι στατιστικά σημαντικές για τις έννοιες των τροχιακών και το ατομικό

μοντέλο, δεν είναι όμως στατιστικά σημαντικές για την αρχή της αβεβαιότητας. Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχετικά αποτελέσματα στους πίνακες 13.7, 13.8 και 13.9.

Πίνακας 13.7: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις για την αρχή της αβεβαιότητας.

Αρχή Αβεβαιότητας

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,471	1	,471	,464	,501
Within Groups	32,471	32	1,015		
Total	32,941	33			

Πίνακας 13.8: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις για τη φύση των τροχιακών.

Φύση Τροχιακών

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7,529	1	7,529	16,384	,000
Within Groups	14,706	32	,460		
Total	22,235	33			

Πίνακας 13.9: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις για το ατομικό μοντέλο.

Ατομικό Μοντέλο

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,529	1	9,529	16,941	,000
Within Groups	18,000	32	,562		
Total	27,529	33			

Επειδή από τη μελέτη του πίνακα 13.2 διαπιστώνεται αρχικά μια διαφοροποίηση στις επιδόσεις μεταξύ αγοριών και κοριτσιών πριν από τις συνεντεύξεις, εξετάσαμε αν η διαφοροποίηση αυτή είναι στατιστικά σημαντική. Θα πρέπει βέβαια να επισημάνουμε ότι στο σύνολο των φοιτητών δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών. Τα αποτελέσματα του σχετικού τεστ ANOVA φαίνονται στον πίνακα 13.10



Πίνακας 13.10: Στατιστικός έλεγχος των αρχικών διαφορών στις επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Αρχή Αβεβαιότητας, απόψεις πριν από τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	10,541	1	10,541	24,706	,000
	Within Groups	6,400	15	,427		
	Total	16,941	16			
Φύση Τροχιακών, απόψεις πριν από τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	,084	1	,084	,098	,759
	Within Groups	12,857	15	,857		
	Total	12,941	16			
Ατομικό Μοντέλο, απόψεις πριν από τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	1,089	1	1,089	1,254	,280
	Within Groups	13,029	15	,869		
	Total	14,118	16			

Όπως φαίνεται στον πίνακα 13.10, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο στον τρόπο με τον οποίο οι φοιτητές και οι φοιτήτριες αντιμετωπίζουν την αρχή της αβεβαιότητας πριν από τις συνεντεύξεις. Το γεγονός αυτό είναι τυχαίο δεδομένου ότι, όπως έχει αναφερθεί, στο σύνολο των φοιτητών δεν υπάρχει τέτοια διαφορά. Μετά τις συνεντεύξεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 13.11, δεν υπάρχει καμία στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα σε αγόρια και κορίτσια.

Πίνακας 13.11: Στατιστικός έλεγχος των τελικών διαφορών στις επιδόσεις αγοριών και κοριτσιών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Αρχή Αβεβαιότητας, απόψεις μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	2,101	1	2,101	2,347	,146
	Within Groups	13,429	15	,895		
	Total	15,529	16			
Φύση Τροχιακών, απόψεις μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	,008	1	,008	,065	,803
	Within Groups	1,757	15	,117		
	Total	1,765	16			
Ατομικό Μοντέλο, απόψεις μετά τις ομαδικές συνεντεύξεις	Between Groups	,054	1	,054	,211	,653
	Within Groups	3,829	15	,255		
	Total	3,882	16			

Ολοκληρώνοντας αυτό το κεφάλαιο αξίζει να σημειωθεί ότι στις ατομικές συνεντεύξεις της πρώτης φάσης, όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 9, δεν παρατηρήθηκαν αξιολογες μεταβολές στις απόψεις των φοιτητών που έλαβαν μέρος σε αυτές. Στη συνέχεια παρατίθενται, για τις ατομικές συνεντεύξεις, οι πίνακες 13.12 και 13.13 όπου φαίνονται οι αρχικές και τελικές τοποθετήσεις των φοιτητών που έλαβαν μέρος σε αυτές, καθώς και η σχετική βαθμολογία, σύμφωνα με το σχήμα που έχει χρησιμοποιηθεί στις ομαδικές συνεντεύξεις. Παρατίθενται επίσης στους πίνακες 13.14, 13.15 και 13.16 τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου που έγινε στις μεταβολές που παρατηρήθηκαν.

Πίνακας 13.12: Αρχικές και τελικές τοποθετήσεις πρωτοετών φοιτητών που έλαβαν μέρος στις ατομικές συνεντεύξεις.

Συνέντευξη, φοιτητής	Αρχή Αβεβαιότητας		Φύση τροχιακών		Ατομικό μοντέλο	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
Ατομική 1, A5	-	β	Π	Π	B	E
Ατομική 2, K5	α	α	D	E	B	B
Ατομική 3, A6	α	β	E	Π	B	B
Ατομική 4, A7	α	α	E	Δ	B	E
Ατομική 5, A11	α	α	D	D	B	B
Ατομική 6, A12	α	α	E	D	B	B

Πίνακας 13.13: Βαθμολογία αρχικών και τελικών τοποθετήσεων πρωτοετών φοιτητών που έλαβαν μέρος στις ομαδικές συνεντεύξεις.

Συνέντευξη, φοιτητής	Αρχή Αβεβαιότητας		Φύση τροχιακών		Ατομικό μοντέλο	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
Ατομική 1, A5	0	2	2	2	0	1
Ατομική 2, K5	2	2	0	1	0	0
Ατομική 3, A6	2	0	1	2	0	0
Ατομική 4, A7	2	2	1	0	0	1
Ατομική 5, A11	2	2	0	0	0	0
Ατομική 6, A12	2	2	1	0	0	0

Πίνακας 13.14: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ατομικές συνεντεύξεις για την αρχή της αβεβαιότητας.

Αρχή Αβεβαιότητας

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	1	,000	,000	1,000
Within Groups	6,667	10	,667		
Total	6,667	11			

Πίνακας 13.15: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ατομικές συνεντεύξεις για τη φύση των τροχιακών.

Φύση Τροχιακών

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	1	,000	,000	1,000
Within Groups	7,667	10	,767		
Total	7,667	11			

Πίνακας 13.16: Στατιστικός έλεγχος των μεταβολών των απόψεων των πρωτοετών φοιτητών μετά τις ατομικές συνεντεύξεις για το ατομικό μοντέλο.

Ατομικό Μοντέλο					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,333	1	,333	2,500	,145
Within Groups	1,333	10	,133		
Total	1,667	11			

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του τεστ ANOVA, οι όποιες μεταβολές παρατηρούνται μετά τις ατομικές συνεντεύξεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την άποψη που διατυπώθηκε στο κεφαλαίο 12, σύμφωνα με την οποία σημαντικό ρόλο στην αλλαγή στάσης των φοιτητών έπαιξε το γεγονός ότι σε κάθε ομάδα υπήρχε και η σωστή απάντηση την οποία έβλεπαν όλοι, κάτι το οποίο φυσικά δεν υπήρχε στις ατομικές συνεντεύξεις. Η θετική αυτή αλληλεπίδραση είναι ένα από τα πλεονεκτήματα της ομαδικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Σε αυτήν τη διατριβή μελετήθηκαν οι ιδέες, των μαθητών κυρίως αλλά και νέων φοιτητών δευτερευόντως, για την ατομική δομή καθώς και τον τρόπο που αυτοί αντιλαμβάνονται τις σχετικές κβαντομηχανικές έννοιες. Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων στα γραπτά ερωτηματολόγια όσο και των συνεντεύξεων προκύπτουν αβίαστα τα πιο κάτω συμπεράσματα

A. Παρουσίαση συμπερασμάτων από τα γραπτά ερωτηματολόγια

Απὸ τα αποτελέσματα της έρευνας όπως αυτά έχουν παρουσιασθεί αναλυτικά στα κεφάλαια 5 έως 7 μπορούν να εξαχθούν τα πιο κάτω συμπεράσματα.

1. Ένα μεγάλο ποσοστό των πρωτοετών φοιτητών (72%), όπως και ένα σημαντικό ποσοστό δευτεροετών φοιτητών (30%), εμμένει στο πλανητικό ατομικό πρότυπο του Bohr.
2. Οι φοιτητές σε μεγάλο ποσοστό γνωρίζουν και εφαρμόζουν σωστά το σχετικό αλγόριθμο για την κατάταξη των υποστιβάδων σύμφωνα με την ενέργειά τους, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα στην ερ. 2. Όμως δε γνωρίζουν ή πάντως δεν κατανοούν τη θεωρία από την οποία προέρχεται η σειρά που προβλέπει ο αλγόριθμος αυτός. Έτσι δυσκολεύονται να απαντήσουν στην ερ. 3.
3. Τόσο οι πρωτοετείς όσο και οι δευτεροετείς φοιτητές έχουν αναπτύξει μια σειρά από παρανοήσεις, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:
 - i) Οι μη κατειλημμένες στιβάδες στο υδρογόνο είναι εκφυλισμένες
 - ii) Ο υβριδισμός θεωρείται ως φαινόμενο για την περιγραφή του οποίου χρησιμοποιούνται ανθρωπομορφικές εκφράσεις. Σε πολλές απαντήσεις ο υβριδισμός ταυτίζεται με τη διεγερμένη μορφή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$.
 - iii) Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό μόνο αν είναι διεγερμένο.



- iv) Τα τροχιακά έχουν κάποιο καθορισμένο σχήμα στο χώρο και το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να βρεθεί έξω από αυτό.
 - v) Υδρογονοειδή άτομα είναι εκείνα που στην εξωτερική τους στοιβάδα έχουν ένα ηλεκτρόνιο, παρανόηση που προέρχεται από το βιβλίο της Φυσικής Γενικής Παιδείας της Γ' λυκείου, όπου λανθασμένα εκφράζεται αυτή η άποψη. (Γεωργακάκος κ.ά., 2000).
 - vi) Το ηλεκτρονιακό νέφος στο 1s δεν είναι και τόσο καθορισμένο, ενώ στο 2p είναι. Στο 1s, το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί και μακριά από τον πυρήνα, όχι όμως στο 2p. Στην παρανόηση αυτή συνέβαλε προφανώς η λανθασμένη απεικόνιση του σχολικού βιβλίου (Μαυρομούστακος κ.ά., 1999) του ηλεκτρονιακού νέφους για το τροχιακό 2p στην οποία υπάρχουν σαφή όρια, (ερ. 13), σε συνδυασμό με την αυθεντία του βιβλίου που «δεν κάνει ποτέ λάθος».
 - vii) Αφαίρεση τροχιακών σημαίνει αφαίρεση χώρων και είναι ένα φαινόμενο. --
4. Πολλοί φοιτητές ταυτίζουν τα σχήματα των τροχιακών και το χώρο που αυτά περικλείουν με τα ίδια τα τροχιακά. Ακόμη και αν φραστικά ορίζουν τα σχήματα αυτά ως το χώρο που υπάρχει πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο, φαίνεται να μη συνειδητοποιούν την έννοια της πιθανότητας και ουσιαστικά να αποκλείουν την εύρεση του ηλεκτρονίου έξω από το χώρο αυτό.
 5. Οι κβαντικοί αριθμοί μαθαίνονται από τους φοιτητές εντελώς μηχανικά, με αποτέλεσμα μετά από κάποιο διάστημα να μη θυμούνται τι σημαίνει ο καθένας. Υπήρχε γενικά η τάση να αποδίδονται σε ένα κβαντικό αριθμό χαρακτηριστικά άλλου.
 6. Πολλοί φοιτητές δε γνωρίζουν γιατί η εξίσωση Schrödinger λύνεται προσεγγιστικά για όλα τα άτομα εκτός από το υδρογόνο. Έτσι δε συνειδητοποιούν και την προσεγγιστική φύση των τροχιακών στα άλλα άτομα.
 7. Πολλοί φοιτητές θεωρούν αδύνατη την αφαίρεση τροχιακών. Μεταξύ αυτών και δευτεροετείς φοιτητές που είχαν διδαχθεί το σχετικό αντικείμενο και οι οποίοι δεν το κατανόησαν όμως, με αποτέλεσμα οι απαντήσεις τους να μη διαφέρουν από τις απαντήσεις των πρωτοετών φοιτητών που δε διδάχθηκαν το θέμα αυτό.
 8. Υπάρχει μια σαφής διαφορά στην επίδοση των φοιτητών στις ερωτήσεις κρίσεως και στις ερωτήσεις γνώσεως στις οποίες η μέση επίδοση είναι πολύ πιο καλή. Το γεγονός



αυτό επιβεβαιώνει την επιφανειακή, αλγοριθμική και απομνημονευτική, προσέγγιση που γίνεται στην ύλη αυτού του κεφαλαίου.

9. Ανάμεσα στις ερωτήσεις γνώσεως υπήρχε καλύτερη επίδοση στις ερωτήσεις εφαρμογής αλγορίθμων, αντικείμενο στο οποίο εξασκούνται συστηματικά οι μαθητές κατά τη διδασκαλία του σχετικού κεφαλαίου.
10. Διαπιστώθηκε η ύπαρξη θετικής, μέτριας σχέσης ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως-νοηματικής κατανόησης και στα συνολικά μόρια που πέτυχαν οι φοιτητές στις πανελλαδικές εξετάσεις για την εισαγωγή τους στο πανεπιστήμιο, σε αντίθεση με τις ερωτήσεις γνώσεως όπου η αντίστοιχη σχέση είναι αδύνατη. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια ένδειξη για το ότι η νοηματική μάθηση σχετίζεται ισχυρότερα με τα μόρια εισαγωγής και άρα μαθητές με κλίση στη νοηματική μάθηση αναμένεται να έχουν καλύτερες επιδόσεις στις εξετάσεις εισαγωγής.
11. Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση ανάμεσα στη βαθμολογία στις ερωτήσεις κρίσεως-νοηματικής κατανόησης και στο βαθμό στο μάθημα της χημείας στις πανελλήνιες εξετάσεις εισαγωγής στο πανεπιστήμιο. Τα γεγονότα αυτά υποδεικνύει ενδεχομένως την απουσία από τις πανελλήνιες εξετάσεις στη χημεία ερωτήσεων με απαιτήσεις νοηματικής κατανόησης-κρίσεως.

B. Παρουσίαση συμπερασμάτων από τις συνεντεύξεις

Από τις συνεντεύξεις όπως αυτές έχουν παρουσιασθεί αναλυτικά στα κεφάλαια 9 έως 13 μπορούν να εξαχθούν τα πιο κάτω συμπεράσματα.

1. Το πλανητικό ατομικό πρότυπο του Bohr είναι το κυρίαρχο ατομικό μοντέλο για ένα μεγάλο ποσοστό των πρωτοετών φοιτητών. Το γεγονός ότι το μοντέλο αυτό το είχαν κατ' επανάληψη διδαχθεί μέχρι και τη Β' λυκείου, η απλότητα του μοντέλου και η επιφανειακή προσέγγιση της ύλης στη Γ' λυκείου δεν επέτρεψαν να γίνει η απαραίτητη εννοιολογική αλλαγή και υιοθέτηση του κβαντομηχανικού μοντέλου. Ακόμη και όταν η απάντηση στην ερ. 1 γίνεται με βάση το κβαντομηχανικό μοντέλο, μέσα από τη συζήτηση στην ίδια ή και σε άλλες ερωτήσεις φαίνεται ότι οι φοιτητές εμμένουν σε έννοιες από το πλανητικό μοντέλο όπως π.χ. οι τροχιές. Προσπάθεια συνδυασμού των δύο μοντέλων οδηγεί σε πεπλατυσμένες απλωμένες τροχιές.

2. Στο πλανητικό ατομικό πρότυπο εμμένει και ένα σημαντικό ποσοστό δευτεροετών φοιτητών. Ακόμα και όταν η συζήτηση καταλήγει στο κβαντομηχανικό μοντέλο, οι απόψεις δεν είναι ξεκάθαρες και έχουν στοιχεία από το πλανητικό μοντέλο. Είναι χαρακτηριστική η περίπτωση φοιτήτριας που υπό την πίεση των συναδέλφων της εγκαταλείπει το κβαντομηχανικό και υιοθετεί το πλανητικό μοντέλο.
3. Εύκολα ή δύσκολα όλοι οι φοιτητές που έλαβαν μέρος στις συνεντεύξεις διαπιστώνουν ότι η δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ είναι η θεμελιώδης δομή του άνθρακα και ότι σε αυτή τη δομή υπάρχουν δύο ασύζευκτα ηλεκτρόνια, γεγονός που δε συμφωνεί με τους τέσσερις ισοδύναμους δεσμούς που υπάρχουν στο μεθάνιο. Όπου γίνεται προσπάθεια να εξηγηθεί γιατί ο άνθρακας σχηματίζει τέσσερις δεσμούς και όχι δύο, γίνεται αναφορά στη διεγερμένη δομή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ που στις περισσότερες συνεντεύξεις ταυτίζεται με τον υβριδισμό, ο οποίος θεωρείται ένα φαινόμενο, μια διεργασία, που αναφέρεται στα τροχιακά ή ακόμα και στα ηλεκτρόνια.
4. Δεν έχει κατανοηθεί η θεμελιώδης φύση της αβεβαιότητας για την οποία μιλά η αρχή της αβεβαιότητας. Τόσο οι πρωτοετείς φοιτητές όσο και οι δευτεροετείς κατανοούν την αβεβαιότητα με όρους του μακρόκοσμου, ανεξάρτητα από πια απάντηση επιλέγουν. Η χρησιμοποίηση αναλογιών από το μακρόκοσμο (π.χ. αναλογία αεροπλάνου) επιτείνει μάλλον αυτήν τη σύγχυση παρά βοηθά στην κατανόηση της αρχής της αβεβαιότητας.
5. Παρατηρείται, κυρίως στους δευτεροετείς φοιτητές, σύγχυση ανάμεσα στα ατομικά και τα μοριακά τροχιακά. Έτσι ατομικά τροχιακά θεωρούνται μοριακά και μοριακά τροχιακά θεωρούνται ατομικά.
6. Τόσο οι πρωτοετείς όσο και οι δευτεροετείς φοιτητές έχουν αναπτύξει μια σειρά από παρανοήσεις, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:
 - i) Υπάρχουν τροχιές σε κάθε απόσταση από τον πυρήνα.
 - ii) Οι κουκίδες στο ηλεκτρονιακό νέφος αναπαριστούν ηλεκτρόνια.
 - iii) Το ατομικό μοντέλο του Bohr ισχύει για το άτομο του υδρογόνου.
 - iv) Ο υβριδισμός θεωρείται ως φαινόμενο, ως μια διεργασία που αναφέρεται στα τροχιακά ή ακόμα και στα ηλεκτρόνια και ταυτίζεται με τη διεγερμένη μορφή $2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$.



- v) Το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί έξω από το χώρο που ορίζεται ως $1s$ τροχιακό μόνο αν είναι διεγερμένο.
 - vi) Τα τροχιακά έχουν κάποιο καθορισμένο σχήμα στο χώρο που καθορίζεται από όλες τις δυνατές θέσεις του ηλεκτρονίου. Το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να βρεθεί έξω από αυτόν το χώρο.
 - vii) Τα τροχιακά έχουν όρια όχι όμως και τα ηλεκτρονιακά νέφη.
 - viii) Για όλα τα τροχιακά, ατομικά και μοριακά, η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δεν είναι σε κανένα σημείο του χώρου μηδέν.
 - ix) Υδρογονοειδή άτομα είναι εκείνα που στην εξωτερική τους στιβάδα έχουν ένα ηλεκτρόνιο.
 - x) Οι μη κατειλημμένες στιβάδες στο υδρογόνο είναι εκφυλισμένες.
 - xi) Αφαίρεση τροχιακών σημαίνει αφαίρεση χώρων και είναι ένα φαινόμενο και όχι μια μαθηματική διεργασία..
7. Στους κβαντικούς αριθμούς αναφέρθηκαν μόνο οι δευτεροετείς φοιτητές που συζήτησαν όλες τις ερωτήσεις. Από τις συζητήσεις και τις απαντήσεις στις οποίες κατέληξαν, επιβεβαιώθηκε η διαπίστωση ότι οι κβαντικοί αριθμοί μαθαίνονται από τους φοιτητές εντελώς μηχανικά, με αποτέλεσμα μετά από κάποιο διάστημα να μη θυμούνται τι σημαίνει ο καθένας.
8. Το γεγονός ότι η εξίσωση Schrödinger λύνεται προσεγγιστικά για όλα τα άτομα εκτός από το υδρογόνο αποδίδεται στα περισσότερα του ενός ηλεκτρόνια, χωρίς όμως να γίνεται πάντα λόγος για τις αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων. Δε φαίνεται επίσης να γίνεται κατανοητό ότι άμεση συνέπεια της μη ακριβούς λύσης είναι η προσεγγιστική φύση των τροχιακών στα άλλα άτομα.
9. Παρατηρείται δυσκολία στην κατανόηση και αποδοχή της αφαίρεσης τροχιακών τόσο μεταξύ των πρωτοετών όσο και μεταξύ των δευτεροετών φοιτητών που είχαν διδαχθεί το σχετικό αντικείμενο.
10. Η παρουσία στις ομάδες συζήτησης φοιτητών με διαφορετικές προσεγγίσεις στις έννοιες που μελετήθηκαν ήταν χρήσιμη και κατά κανόνα οδηγούσε στην υιοθέτηση της πιθανολογικής προσέγγισης.

Γ. Λόγοι που προκαλούν-συμβάλλουν στις λανθασμένες αντιλήψεις.

Από την αναλυτική παρουσίαση των ευρημάτων της έρευνας στα κεφάλαια 5 έως 7 και 9 έως 13 όσο και από τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω διαπιστώθηκε μια επιφανειακή κάλυψη της σχετικής ύλης που εστιαζόταν κυρίως στην εφαρμογή αλγορίθμων και την απομνημόνευση χωρίς οι νέες έννοιες να έχουν ενταχθεί στα νοητικά σχήματα των περισσότερων μαθητών-φοιτητών.

Οι παλιές έννοιες, δηλαδή το ατομικό πρότυπο του Bohr και η αιτιοκρατική προσέγγιση, εξακολουθούν να είναι οι κυρίαρχες, σε μερικές περιπτώσεις να συνυπάρχουν και σε ελάχιστες περιπτώσεις έχουν αντικατασταθεί από τις νέες έννοιες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε δύο παράγοντες: αφ' ενός στην ισχυρή σύνδεση των προηγούμενων εννοιών στα νοητικά σχήματα των φοιτητών, δηλαδή στη σχολική εμπειρία των φοιτητών από τις προηγούμενες τάξεις, και αφ' ετέρου στην έλλειψη στρατηγικής εννοιολογικής αλλαγής (Κόκκοτας, 1997, Ψύλλος, Κουμαράς & Καριώτογλου, 1993, Posner κ.ά., 1982, Shiland, 1997).

Η ισχυρή σύνδεση των προηγούμενων εννοιών στα νοητικά σχήματα των φοιτητών μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι από μικρή ηλικία διδάχθηκαν κατ' επανάληψη τις έννοιες αυτές. Ήδη από την ΣΤ τάξη του δημοτικού σχολείου έμαθαν ότι:

«Τα ηλεκτρόνια κινούνται πάντοτε με αυστηρή διάταξη πάνω σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα.» (Αλεξόπουλος κ.ά., 1996).

Για να συνεχίσουν στη χημεία Β' γυμνασίου:

«Τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται συνέχεια γύρω από τον πυρήνα και διαγράφουν διάφορες τροχιές. Τα ηλεκτρόνια εκείνα που έχουν την ίδια (ή περίπου την ίδια) ακτίνα τροχιάς λέμε ότι ανήκουν στην ίδια ηλεκτρονική στιβάδα.» (Φράσσαρης & Δρούκα-Λιαπάτη, 1989).

Κάτι που επαναλαμβάνεται και στη φυσική Γ' γυμνασίου:

«Τα ηλεκτρόνια εκτελούν δύο συγχρόνως κινήσεις. Μία γύρω από τον πυρήνα (περιφορά) και μία γύρω από τον άξονά τους (στροβιλισμός), όπως η γη κινείται γύρω από τον ήλιο και τον άξονά της. Οι τροχιές των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα είναι ελλειπτικές, αλλά δεχόμαστε για λόγους απλότητας ότι είναι κυκλικές. Οι ακτίνες των τροχιών αυτών δεν είναι τυχαίες, αλλά έχουν ορισμένες τιμές που είναι χαρακτηριστικές για κάθε είδος ατόμου.» (Ζενάκος, Λεκάτης & Σχοινάς, 1996)



Συνεχίζοντας, στη χημεία Α' λυκείου μελέτησαν αναλυτικά το ατομικό πρότυπο του Bohr, στο σχετικό κεφάλαιο γίνεται βέβαια και μια σύντομη αναφορά στο τροχιακό η οποία μάλλον περνά απαρατήρητη (Μαυρόπουλος κ.α., 1990). Όμως και στην Γ' Λυκείου στη Φυσική γενικής παιδείας, παρουσιάζεται το ατομικό πρότυπο του Bohr, εξάγονται σχέσεις, λύνονται ασκήσεις, βρίσκονται επιτρεπόμενες ακτίνες τροχιάς και γενικά εμπεδώνεται στο μαθητή η άποψη για την ορθότητα και ισχύ του ατομικού αυτού προτύπου. Στο τέλος βέβαια της ενότητας αυτής του κεφαλαίου «Ατομικά Φαινόμενα», έκτασης 11 σελίδων, και σε έκταση 6 γραμμών, γίνεται αναφορά στα όρια του προτύπου του Bohr καθώς και στην κβαντομηχανική που:

«... περιγράφει με επιτυχία τα φαινόμενα που αναφέρονται στα σωματίδια του μικρόκοσμου και στο φως.» (Γεωργακάκος κ.ά., 2000).

Ο δεύτερος παράγοντας είναι η έλλειψη στρατηγικής εννοιολογικής αλλαγής. Έννοιες τόσο καλά ριζωμένες στα νοητικά σχήματα των μαθητών δεν είναι εύκολο να αντικατασταθούν από άλλες, αντίθετα αντιστέκονται σθεναρά σε αλλαγές. Η αντικατάσταση και αναδιοργάνωση του εννοιολογικού πλαισίου απαιτεί σύγκρουση του μαθητή με τις υπάρχουσες έννοιες για να είναι η νέα έννοια κατανοητή, πιστευτή και γόνιμη (Posner κ.ά., 1982).

Μια στρατηγική εννοιολογικής αλλαγής πρέπει κατ' αρχή να προκαλέσει στο μαθητή δυσaréσκεια, να εκτεθεί δηλαδή ο μαθητής σε φαινόμενα τα οποία οι υπάρχουσες εννοιολογικές δομές του δεν μπορούν να ερμηνεύσουν. Θα πρέπει όμως ο μαθητής να γνωρίσει τα φαινόμενα αυτά και να κατανοήσει ότι πράγματι δεν μπορεί να τα ερμηνεύσει με τις υπάρχουσες εννοιολογικές δομές του.

Κάτι τέτοιο δε γίνεται στα σχολικά εγχειρίδια. Σε τρία από αυτά γίνεται μια μικρή αναφορά στην αδυναμία του ατομικού μοντέλου του Bohr να εξηγήσει και να ερμηνεύσει:

«... τη χημική συμπεριφορά των ατόμων» (Τσίπης κ.ά., 2000),

«... την ενεργειακή κατάσταση ατόμων με πολλά ηλεκτρόνια...»

(Μαυρομούστακος κ.ά., 1999)

«... ούτε τα φάσματα εκπομπής πολυπλοκότερων του υδρογόνου ατόμων ούτε το χημικό δεσμό» (Λιοδάκης κ.ά., 2000),

και στο τέταρτο δεν γίνεται καμία απολύτως αναφορά στις προηγούμενες θεωρίες (Μανουσάκης κ.ά., 2000).

Είναι προφανές ότι οι μικρές αυτές αναφορές στην αδυναμία του ατομικού μοντέλου του Bohr έκτασης τριών ή τεσσάρων γραμμών δεν είναι αρκετές για να προκαλέσουν στους μαθητές την απαιτούμενη για την εννοιολογική αλλαγή δυσαρέσκεια, όταν μάλιστα έχουν αφ' ενός διδαχθεί σε προηγούμενες τάξεις για το χημικό δεσμό με βάση το ατομικό μοντέλο του Bohr και αφ' ετέρου δε γνωρίζουν τίποτε για τα φάσματα εκπομπής των ατόμων.

Ένα επίσης αρνητικό γεγονός στην όλη προσπάθεια είναι το γεγονός της διδασκαλίας του ατομικού προτύπου του Bohr στη Φυσική γενικής παιδείας της Γ' λυκείου λίγο ως πολύ παράλληλα με τις κβαντομηχανικές έννοιες, γεγονός που ενισχύει μάλλον παρά αποδυναμώνει το συγκεκριμένο πρότυπο.

Η ασυμφωνία του ατομικού μοντέλου του Bohr με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell (Χατζηλιάδης, 1998) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την πρόκληση δυσαρέσκειας και στους μαθητές της Γ' λυκείου, όμως αυτοί διδάσκονται, περιληπτικά θα έλεγα, το σχετικό αντικείμενο ταυτόχρονα περίπου με τις έννοιες που μελετούμε. Η θεωρία του Maxwell αποτελεί μέρος του πρώτου κεφαλαίου της Φυσικής γενικής παιδείας της Γ' λυκείου ενώ οι σύγχρονες απόψεις για την ατομική δομή το πρώτο κεφάλαιο της Χημείας Γ' λυκείου θετικής κατεύθυνσης.

Δ. Σύγκριση των ευρημάτων της έρευνας αυτής με τα ευρήματα άλλων ερευνών.

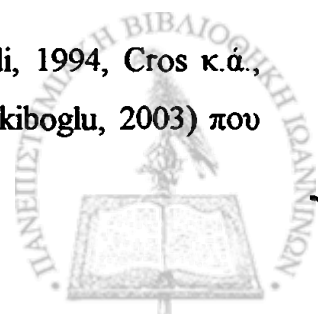
Στο κεφάλαιο 2 έχουν παρουσιασθεί τα ευρήματα άλλων ερευνών, που έγιναν διεθνώς, σχετικά με την κατανόηση των κβαντομηχανικών εννοιών από μαθητές και νέους φοιτητές. Συγκρίνοντας τα ευρήματα των ερευνών εκείνων με αυτά της δικής μας έρευνας, διαπιστώσαμε τα εξής:

Υπάρχει μια σειρά θεμάτων όπου οι δικές μας διαπιστώσεις συμφωνούν με τις διαπιστώσεις ερευνών που έγιναν σε άλλες χώρες. Έτσι διαπιστώσαμε:

α) Δυσκολίες στην κατανόηση των κβαντομηχανικών εννοιών και σύγχυση ανάμεσα στους διάφορους όρους (Cervellati & Perugini, 1981, Harrison & Treagust 2000, Taber, 1997, 2002, Sanchez Gomez & Martin, 2003, Nakiboglu, 2003).

β) Έλλειψη στρατηγικής εννοιολογικής αλλαγής στον τρόπο που είναι γραμμένα τα βιβλία και δομημένη η διδακτέα ύλη (Shiland, 1997)

γ) Εμμονή στο πλανητικό ατομικό μοντέλο του Bohr (Mashhadi, 1994, Cros κ.ά., 1986, Petri & Niedderer, 1998, 2001, Fischer, 1999a, Olsen, 2001, Nakiboglu, 2003) που



παρέμενε ακόμη και μετά από την παρακολούθηση πανεπιστημιακών μαθημάτων (Cros, Chastrette & Fayol, 1988).

Αντίθετα από τις πιο πάνω κοινές διαπιστώσεις δε διαπιστώθηκαν δυσκολίες στην επίλυση αλγοριθμικών ασκήσεων, όπως π.χ. εύρεσης της ηλεκτρονιακής δομής, σε αντίθεση με άλλες έρευνες όπου διαπιστώθηκαν τέτοιες δυσκολίες (MacKinnon, 1999, Ardac, 2002). Είναι χαρακτηριστικό ότι για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εύρεσης της ηλεκτρονιακής δομής έχουν γίνει αρκετές έρευνες και έχουν προταθεί αρκετά σχήματα διδασκαλίας στις ΗΠΑ (Garofalo, 1997, Mabrouk, 2003).

Ε. Σκέψεις για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

Υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης της κατάστασης αυτής. Η πρώτη προσέγγιση συνίσταται στην αποδοχή της εικόνας που έχουν οι μαθητές-φοιτητές, μιας εικόνας όμως που απέχει πολύ από την επιστημονική, κβαντομηχανική άποψη. Η δεύτερη συνίσταται στη προσπάθεια βελτίωσης της εικόνας, στην προσπάθεια εννοιολογικής αλλαγής των μαθητών-φοιτητών, ώστε οι ιδέες τους να πλησιάσουν τις επιστημονικές-κβαντομηχανικές ιδέες.

Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, η εικόνα που έχουν οι φοιτητές, και αποτελεί μια επέκταση στο χώρο της τροχιάς του Bohr με την ίδια αιτιοκρατική θεώρηση, θεωρείται ικανοποιητική, είναι δηλαδή ένα καλό επεξηγηματικό εργαλείο στην ανόργανη και την οργανική χημεία. Σε αυτήν την περίπτωση όμως θα πρέπει να μη δημιουργείται η ψευδαίσθηση στους μαθητές-φοιτητές ότι οι έννοιες τροχιακό, ηλεκτρονιακή δομή κλπ, αιτιοκρατικά ιδωμένες αναφέρονται στο κβαντομηχανικό μοντέλο. Ο Scerri (2000b) θεωρεί ότι ίσως σε αυτήν την περίπτωση θα έπρεπε να μιλάμε για «τροχιακά των χημικών» και ότι με αυτόν τον τρόπο η χημεία αποκτά μια αυτονομία έναντι της κβαντομηχανικής, δημιουργώντας τη δική της ανεξάρτητη φιλοσοφία. Στα πλαίσια αυτής της φιλοσοφίας εντάσσεται και ένα άτυπο σύνολο δομικών ιδεών και ημιεμπειρικών κανόνων που έχει ονομασθεί ως «Folk Molecular Theory» (FMT). Οι κανόνες αυτοί απαντούν σε μια σειρά προβλημάτων μοριακής δομής, χρησιμοποιώντας όρους της κβαντομηχανικής χωρίς όμως οι όροι αυτοί να έχουν το περιεχόμενο που η κβαντομηχανική τους δίνει (Sanchez Gomez & Martin, 2003).

Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, στην προσπάθεια βελτίωσης της εικόνας, στην προσπάθεια εννοιολογικής αλλαγής των μαθητών-φοιτητών, ώστε οι ιδέες τους να

πλησιάσουν τις επιστημονικές-κβαντομηχανικές ιδέες, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας θα ήταν χρήσιμα για την αποτελεσματικότερη διδασκαλία. Μπορούν δηλαδή να αποτελέσουν ένα βοηθητικό εργαλείο για την καλύτερη αντιμετώπιση των εννοιολογικών δυσκολιών από τους διδάσκοντες. Σ' αυτό θα βοηθήσει και η προσεκτικότερη συγγραφή των σχετικών κεφαλαίων στα σχολικά βιβλία, που παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόκληση παρανοήσεων, αλλά και μπορεί να στηρίξει σημαντικά την προσπάθεια για εννοιολογική αλλαγή.

Υπάρχει βέβαια πάντα το ερώτημα αν όλα αυτά θα φτάσουν στους διδάσκοντες. Δυστυχώς η έρευνα δείχνει ότι αυτό δεν είναι εύκολο (Kempa, Costa & Marques, 2000). Ίσως η προσπάθεια να πρέπει να αρχίσει από τα πανεπιστήμια, όπου οι φοιτητές, μελλοντικοί δάσκαλοι, παίρνουν μια επιφανειακή μόνο γνώση της κβαντομηχανικής, τους όρους της οποίας εντάσσουν στην FMT αλλοιώνοντας τη σημασία τους (Tsaparlis 1997b, Sanchez Gomez & Martin, 2003).

Η σημασία της γνώσης αλλά και της ευαισθητοποίησης των διδασκόντων στα θέματα που διαπραγματεύεται η διατριβή αυτή γίνεται φανερή μέσα από την εξής προσωπική εμπειρία. Αυτή τη σχολική χρονιά (2003-2004) δίδαξα, στο 1^ο Ενιαίο Λύκειο Ιωαννίνων, την ύλη αυτήν σε 22 μαθητές Γ' Λυκείου θετικής κατεύθυνσης. Μετά την ολοκλήρωση των μαθημάτων και σε ένα προγραμματισμένο πρόχειρο διαγώνισμα συμπεριέλαβα και τις ερ. 2, 3, 4 και 6 από το ερωτηματολόγιο της έρευνας αυτής, καθώς και την ερώτηση: «Πώς προκύπτουν και τι είναι τα ατομικά τροχιακά;». Τα αποτελέσματα, συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα των πρωτοετών φοιτητών των τριών πανεπιστημιακών τμημάτων της έρευνας αυτής, ήταν θετικά. Στη συνέχεια παρατίθενται στους πίνακες 14.2, 14.3, 14.4 και 14.5 τα σχετικά τεστ TUKEY. Υπενθυμίζεται ότι στους πίνακες των αποτελεσμάτων του τεστ TUKEY χρησιμοποιούνται, για τεχνικούς λόγους, αριθμοί για τον συμβολισμό των τμημάτων, όπως φαίνεται στον πίνακα 14.1.



Πίνακας 14.1: Αριθμητικός συμβολισμός τμημάτων.

Τμήμα	Αριθμός
Χημείας (Πρωτοετείς)	1
Βιολογικών εφαρμογών	2
Επιστήμης Υλικών	3
Μαθητές 2003	4

Πίνακας 14.2: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για την ερώτηση 2

Αριθμοί 1-3 πρωτοετείς, 4 μαθητές	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	43	1,35	
2	46	1,52	1,52
3	36	1,56	1,56
4	22		2,00
Sig.		,728	,082

Πίνακας 14.3: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για την ερώτηση 3

Αριθμοί 1-3 πρωτοετείς, 4 μαθητές	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
3	36	,06		
1	43	,09		
2	46		,52	
4	22			1,00
Sig.		,996	1,000	1,000

Πίνακας 14.4: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για την ερώτηση 4

Αριθμοί 1-3 πρωτοετείς, 4 μαθητές	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
3	36	1,17	
1	43	1,47	1,47
2	46	1,52	1,52
4	22		1,82
Sig.		,194	,198

Πίνακας 14.5: Τα αποτελέσματα του τεστ Tukey για την ερώτηση 6

Αριθμοί 1-3 πρωτοετείς, 4 μαθητές	N	Subset for alpha = .05
		1
3	36	,89
1	43	1,35
4	22	1,36
2	46	1,39
Sig.		,141

Είναι φανερό από τους πίνακες αυτούς ότι οι μαθητές της Γ' Λυκείου έχουν επίδοση στατιστικά όμοια με τους καλύτερους φοιτητές (ερ. 2, 4 και 6), ενώ για την πιο απαιτητική ερ. 3 η επίδοσή τους είναι στατιστικά καλύτερη. Σημειώνεται ότι και στην ερώτηση «Πώς προκύπτουν και τι είναι τα ατομικά τροχιακά;», που δεν υπήρχε στο ερωτηματολόγιο της έρευνας, η επίδοσή τους ήταν ικανοποιητική. Στην ερώτηση αυτή, 9 μαθητές (41%) αναφέρθηκαν στην μαθηματική ερμηνεία των τροχιακών, 8 (36%) τα όρισαν ως χώρους, ενώ οι υπόλοιποι 5 έδωσαν λανθασμένη απάντηση.

Αν αυτή, η δεύτερη προσέγγιση είναι η τελική εκπαιδευτική επιλογή, τότε θα πρέπει να εξετασθεί και το ενδεχόμενο το ατομικό πρότυπο του Bohr να μην έχει πια τόσο περιοπτη θέση στη διδασκαλία της χημείας. Η αντικατάσταση βέβαια του προτύπου του Bohr απαιτεί την επεξεργασία μιας εναλλακτικής πρότασης, ενός εναλλακτικού τρόπου εισαγωγής των σχετικών εννοιών από τα πρώτα μαθήματα χημείας. Υπενθυμίζεται ότι στο κεφάλαιο 2 αυτής της εργασίας έχουν αναφερθεί μερικές εναλλακτικές προτάσεις από τη βιβλιογραφία.

Σε αυτόν τον εναλλακτικό τρόπο εισαγωγής των κβαντομηχανικών εννοιών σίγουρα έχει θέση και μια, υποτυπώδης έστω, μαθηματική επένδυση που, όπως έχει αναφερθεί στο κεφ. 2, θεωρείται από αρκετούς επιστήμονες ως αναγκαία προϋπόθεση για την κατανόηση των σχετικών εννοιών (Pauling and Wilson, 1935, Coulson 1974, Ruis 1988, Τσαπαρλής, 1991b, Pospiech 2000, Tsaparlis 1997b, Tsaparlis & Papaphotis 2002).

Φυσικά η επεξεργασία μιας τέτοιας πρότασης θα μπορούσε να είναι αντικείμενο ευρείας συζήτησης ανάμεσα σε ειδικούς χημικούς, σε δασκάλους χημείας και σε συγγραφείς βιβλίων (Gillespie, Moog & Spencer, 1998) και οπωσδήποτε ξεφεύγει από τους στόχους αυτής της διατριβής. Ενδεικτικά μόνο αναφέρω ότι η εικόνα των ηλεκτρονίων που



παρουσιάζονται στην Στ' τάξη του δημοτικού σχολείου να «...κινούνται πάντοτε με αυστηρή διάταξη πάνω σε τροχιές γύρω από τον πυρήνα» θα μπορούσε να αντικατασταθεί με την εικόνα «των εντόμων που κινούνται γύρω από το φως».

Καταρχήν να σημειωθεί ότι η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Είναι φανερό ότι η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή. Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή.

Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή. Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή.

Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή. Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή.

Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή. Η διδασκαλία της Γλώσσας στην Ελληνική Γλώσσα είναι μια διαδικασία που αφορά την ανάπτυξη της γλωσσικής ικανότητας του μαθητή, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία και την κοινωνική συμμετοχή.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Ελληνόγλωσση

- Αθανασίου, Α. (2000). "Μέθοδοι και τεχνικές έρευνας στις επιστήμες της Αγωγής", Έκδοση Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
- Αλεξόπουλος, Β., Θεριανός, Ο., Κώνστας, Κ. & Φλωράκος, Γ. (1996). "Ερευνώ το φυσικό κόσμο, Φυσικά ΣΤ τάξης, Πρώτο μέρος", Έκδοση Ι, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Βοσνιάδου, Σ. (1994). "Η εννοιολογική αλλαγή στην παιδική ηλικία: Παραδείγματα από το χώρο της Αστρονομίας", άρθρο στο "Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου: Γνωστική, Επιστημολογική, και Διδακτική Προσέγγιση", 233 – 261, Gutenberg, Αθήνα.
- Γεωργακάκος, Π., Σκαλωμένος, Α., Σφαρνάς, Ν. & Χριστακόπουλος, Ι. (2000). "Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' τάξης Ενιαίου Λυκείου", Έκδοση Β, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Γιαννούλης, Ν. (1980). "Εισαγωγή στη Γενική Διδακτική", 2^η έκδοση, Αθήνα.
- Ζαχαροπούλου, Χ. (1998). "Στατιστική, μέθοδοι-εφαρμογές." τόμος Β, εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
- Ζενάκος, Α., Λεκάτης, Ν. & Σχοινάς, Α. (1996). "Φυσική Γ' γυμνασίου", Έκδοση Γ, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Ιωαννίδης, Χ. & Βοσνιάδου, Σ. (1994). "Νοητικές αναπαραστάσεις των μαθητών για την έννοια της δύναμης.", άρθρο στο "Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου: Γνωστική, Επιστημολογική, και Διδακτική Προσέγγιση" 263 – 310, Gutenberg, Αθήνα.
- Κασσέτας, Α. (2001). "Η επιστήμη Χημεία, οι δύο έννοιες και οι δύο "κόσμοι"". 11^ο Επιμορφωτικό σεμινάριο Χημείας, Αθήνα 2001.
- Κατάκης, Δ. (1976). "Μαθήματα Ανοργάνου Χημείας", τόμος Α." Αθήναι.
- Κατσιλλής, Ι. (1997). "Περιγραφική στατιστική εφαρμοσμένη στις κοινωνικές επιστήμες και την εκπαίδευση." Gutenberg, Αθήνα.
- Κόκκοτας, Π. (1997). "Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών" Αθήνα.
- Κολιάδης, Ε. (1997). "Θεωρίες μάθησης και εκπαιδευτική πράξη", τόμος Γ': "Γνωστικές θεωρίες", Αθήνα.



- Κουλαϊδής, Β. (1994). "Όροι και όρια: Φαινομενολογία, αναπαραστάσεις και εννοιολογική αλλαγή" άρθρο στο "Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου: Γνωστική, Επιστημολογική, και Διδακτική Προσέγγιση" 41 – 70, Gutenberg, Αθήνα.
- Λιοδάκης, Σ., Γάκης, Δ., Θεοδωρόπουλος, Δ. & Θεοδωρόπουλος, Π. (2000). "Χημεία θετικής κατεύθυνσης Γ' ενιαίου λυκείου." ΟΕΔΒ.
- Μανουσάκης, Γ., Κεφαλλονίτης, Ι., Χρηστίδης, Β. & Χηινιάδης, Δ. (2000). "Χημεία θετικής κατεύθυνσης Γ' ενιαίου λυκείου." Εκδόσεις Πατάκη.
- Μαυρομούστακος, Θ., Κολοκούρης, Α., Παπακωνσταντίνου, Κ., Σινιγάλιας, Π. Ι., & Λάμπας, Κ. (1999). "Χημεία θετικής κατεύθυνσης Γ' ενιαίου λυκείου." ΟΕΔΒ.
- Μαυρόπουλος, Μ., Καπετάνου – Ζαμπετάκη, Ε., Γανωτόπουλος, Τ. & Προβής Ν. (1992). "Χημεία Α' Ε.Π.Λ." Έκδοση Η, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Παπαφώτης, Γ. (2001). "Οι κβαντοχημικές έννοιες στη χημεία τρίτης λυκείου θετικής κατεύθυνσης", Διατριβή μεταπτυχιακής ειδίκευσης, Ιωάννινα.
- Παπαφώτης, Γ. & Τσαπαρλής Γ. (2003). "Παρανοήσεις μαθητών Γ' Λυκείου στις έννοιες της κβαντικής χημείας." Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της ΕΔΙΦΕ με θέμα "Η Διδασκαλία των φυσικών Επιστημών στην Κοινωνία της Πληροφορίας" Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα.
- Πετρουλάκης, Ν. (1981). "Προγράμματα – Εκπαιδευτικοί στόχοι – Μεθοδολογία", εκδ Φελέκη Αθήνα.
- Πολυδωρόπουλος, Κ. Ν. (1971). "Στοιχειώδης κβαντική χημεία. Μέρος Α" Αθήναι.
- Πολυδωρόπουλος, Κ. Ν. (1983). "Στοιχειώδης κβαντική χημεία. Μέρος Β" Ιωάννινα.
- Στεφανή, Χ. (2001). "Το κβαντομηχανικό μοντέλο του ατόμου: Οι εναλλακτικές ιδέες και μια πρόταση διδακτικής προσέγγισης στο Λύκειο." Διατριβή μεταπτυχιακής ειδίκευσης στη χημεία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τριλιανός, Θ. (2000). "Μεθοδολογία της σύγχρονης διδασκαλίας", τόμος Α' 2^η έκδοση, Αθήνα.
- Τσαπαρλής, Γ. (1986) "Κβαντική Χημεία." 3^η Έκδοση, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
- Τσαπαρλής, Γ. (1991a) "Θέματα διδακτικής φυσικής και χημείας στη μέση εκπαίδευση" 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα.
- Τσαπαρλής, Γ. (1991b). "Πρέπει να διδάσκονται στο λύκειο οι σύγχρονες απόψεις για τη μοριακή δομή;" Χημικά Χρονικά, Γεν. Έκδοση, 53(2), 42.

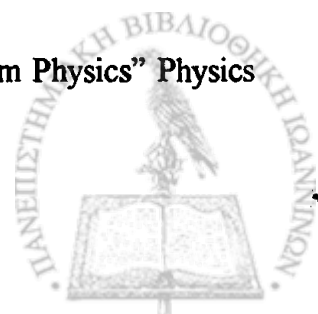


- Τσαπαρλής, Γ. (2000). "Διδακτική φυσικών επιστημών και διδακτική της χημείας. Θέματα σε μεταπτυχιακό επίπεδο." Ιωάννινα.
- Τσίπης, Κ. Α. (1996). "Εισαγωγή στην κβαντική χημεία," , τόμος 1, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Τσίπης, Κ. Α., Βάρβογλης, Α., Γιούρη-Τσοχατζή, Κ., Δερπάνης, Δ., Παλαμιτζόγλου, Π. & Παπαγεωργίου, Γ. (2000). "Χημεία θετικής κατεύθυνσης Γ' ενιαίου λυκείου. " Εκδόσεις Ζήτη.
- Φράσσαρης, Θ. & Δρούκα – Λιαπάτη, Π. (1989). "Χημεία Β' γυμνασίου", Έκδοση Θ, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Χατζηλιάδης, Ν. Δ. (1998). "Αρχές Χημείας", Μακεδονικές Εκδόσεις.
- Ψύλλος, Δ., Κουμαράς, Π. & Καριώτογλου, Π. (1993). "Εποικοδόμηση της Γνώσης στην Τάξη με Συνέρευνα Δασκάλου και Μαθητή" Σύγχρονη Εκπαίδευση, 70, 34 – 42.

Β. Ξενόγλωσση

- Alexopoulou, E. & Driver, R. (1996). "Small-Group Discussion in Physics: Peer Interaction Modes in Pairs and Fours" Journal of Research in Science Teaching, 33(10), 1099-1114.
- Anderson, T. N. (1984). "An introduction to multivariate statistical analysis." (2nd edition) New York: Willy, 1984.
- Anderson, C. W. (1992). "Strategic teaching in science." In M. K. Pearsall (Ed.). Relevant research (Vol. 2). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Ardac, D. (2002). "Solving Quantum Number Problems: An Examination of Novice Performance in Terms of Conceptual Base Requirements" Journal of Chemical Education, 79, 510-513.
- Basolo, F. & Parry, R. W. (1980). "An approach to teaching systematic inorganic reaction chemistry in beginning chemistry courses." Journal of Chemical Education, 57, 772-777.
- Bent, H. A. (1984). "Should orbitals be X-rated in beginning chemistry courses." Journal of Chemical Education, 61, 421-423.

- Bliss, J. (1994). "Η σημασία του Piaget για την έρευνα σχετικά με τις αντιλήψεις των παιδιών" Άρθρο στο βιβλίο "Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου", Εισαγωγή – Επιμέλεια Β. Κουλαϊδής, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα 1994.
- Bliss, J. (1995). "Piaget and after: the case of learning science", *Studies in Science Education*, 25, 139 – 172.
- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. & Leach, J. (2002a). " 'Electronium': a quantum atomic teaching model" *Physics Education*, 37(3) 197-203.
- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. & Leach, J. (2002b). "The quantum atomic model 'Electronium': a successful teaching tool" *Physics Education*, 37(3) 204-210.
- Cervellati, R. & Perugini, D. (1981). "The understanding of the atomic orbital concept by Italian high school students." *Journal of Chemical Education*, 58, 568-569.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2001). "Learners' Mental Models of Chemical Bonding" *Research in Science Education*, 31, 357-382.
- Coll, R.K. & Taylor, N. (2002). "Mental models in chemistry: Senior chemistry students mental models of chemical bonding." *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 175 - 184. [http://www.uoi.gr/conf_sem/cerapie]
- Coulson, C. A. (1974). "Mathematics in modern chemistry." *Chemistry in Britain*, 10, 16 – 18.
- Cros, D., Amouroux, R., Chastrette, M., Fayol, M., Leber, J. & Maurin, M. (1986). "Conceptions of first year university students of the constitution of matter and the notions of acids and bases." *European Journal of Science Education*, 8, 305-313.
- Cros, D., Chastrette, M. & Fayol, M. (1988). "Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry." *International Journal of Science Education*, 10 (3), 331-336.
- Cuppari, A., Rinaudo, G., Robbutti, O. & Violino, P. (1997). "Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum" *Physics Education*, 32, 302 - 308.
- De Landsheere, G. (1996). "Η εμπειρική έρευνα στην εκπαίδευση", (Μετάφραση Δίπλας, Γ) Εκδόσεις: τυπωθήτω, Αθήνα
- Dobson, K., Lawrence, I. & Britton, P. (2000). "The A and B of quantum Physics" *Physics Education*, 35(6), 400 - 405.



- Driver, R. & Easley, J. (1978). "Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students." *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Edmiston, C. (1992). "The nature of the chemical bond – Once more" *Journal of Chemical Education*, 69, 600.
- Emerson, K. (1999). "The quantum mechanical explanation of the periodic system." *Journal of Chemical Education*, 76, 1189.
- Ernest, P. (1994). "Varieties of Constructivism: Their Metaphors, Epistemologies and Pedagogical Implications", *Hiroshima Journal of Mathematics Education*, 2, 1 – 14.
- Euler, M., Hanselmann, M., Muller, A. & Zollman, D. (1999). "Students' Views of Models and Concepts in Modern Physics" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Fisher, H. (1999a). "Introduction to Quantum Physics – Development and Evaluation of a New Course" University of Joensuu, Department of Physics, Research in Physics Education, Joensuu 1999, 34 – 51
- Fisher, H. (1999b). "Introduction to Quantum Mechanics – Development and Evaluation of a New Course." Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Fletcher, P. & Johnston, I. (1999). "Quantum Mechanics: Exploring Conceptual Change" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Garofalo, A. (1997). "Housing electrons: Relating quantum numbers, energy levels and electron configurations." *Journal of Chemical Education*, 74, 709-710.
- Gilbert, J., Osborne, R. & Fensham, P. (1982). "Children's Science and its Consequences for Teaching." *Science Education*, 66.
- Gilbert, J. K. & Swift, D. J. (1985). "Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs." *Science Education*, 69, 681-696.



- Gillespie, R. J. (1991). "What is wrong with the general chemistry course?" *Journal of Chemical Education*, 68, 192-194.
- Gillespie, R. J. (1997). "The great ideas of chemistry." *Journal of Chemical Education*, 74, 862-865.
- Gillespie, R. J., Moog, R. S. & Spencer, J. N. (1996a). "Demystifying introductory chemistry. Part 1. Electron configurations from experiment". *Journal of Chemical Education*, 73, 617-622.
- Gillespie R. J., Moog R. S. & Spencer, J. N. (1996b). "Demystifying introductory chemistry. Part 2. Bonding and molecular geometry without orbitals-the electron domain model." *Journal of Chemical Education*, 73, 622-627.
- Gillespie, R. J., Moog, R. S. & Spencer, J. N. (1998). "Deducing the shell model from ionization energies and the use of models in introductory chemistry." *Journal of Chemical Education*, 75, 539-540.
- Glaserfeld, E. (1989a). "Η γνώση, η δόμηση της γνώσης και η διδασκαλία" μετάφραση άρθρου από το περιοδικό *Synthese*, 80, 121 – 140, 1989. στο Τσαπαρλής Γ. "Διδακτική φυσικών επιστημών και διδακτική της χημείας. Θέματα σε μεταπτυχιακό επίπεδο." Ιωάννινα 2000, μετάφραση: Ε. Γερόπουλος, Γ Τσαπαρλής.
- Glaserfeld, E. (1989b). "Constructivism in education" στο T Husen & N. Postlethwaite (Eds) *International encyclopedia of education* (supplementary vol, 162 – 163), Oxford: Pergamon.
- Gold, M. (1988). "Chemical education: An obsession with content." *Journal of Chemical Education*, 65, 780-781.
- Gunstone, R. F. (1994). "The importance of specificscience content in the enhancement of metacognition". Στο Fensham, P. J., Gunstone R. F. & White R. (Eds) "The Content of Science", London: Falmer Press.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). "Learning about atoms, molecules and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry." *Science Education*, 84, 352-381.
- Hasson, R. & Manners, J. (1995). "A CAL package for teaching elementary quantum mechanics" *Physics Education*, 30 (1), 33 – 37.
- Hobson, A. (2002). "Teaching quantum physics" *Physics Education*, 37, 457.



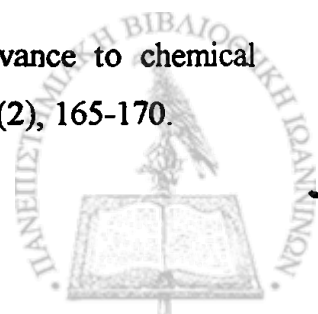
- Holyoak, K. & Thagard, P. (1989). "Analogical mapping by constraint satisfaction." *Cognitive Science*, 13, 295 – 355.
- Hudson, M. (1980). "Why should we teach descriptive chemistry?" *Journal of Chemical Education*, 57, 770-772.
- Humphreys, C. J. (1999). "Electrons seen in orbit." *Nature*, 401, 21-22.
- Hurwitz, C. L., Abegg, G. & Garik, P. (1999). "How Computer Simulations Affect High School Students' Reasoning in Quantum Chemistry" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο:
<http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Ireson, G. (1999). "On the Quantum Thinking of Physics Undergraduates" Paper presented at the second ESERA conference, 1999.
- Ireson, G. (2000). "The quantum understanding of pre-university physics students" *Physics Education*, 35, 15-21.
- Johnston, I. D., Crawford, K. & Fletcher, P. R. (1998). "Student difficulties in learning quantum mechanics" *International Journal of Science Education*, 20 (4), 427-446.
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. & Stayrou, D. (2003). "An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts" *Science Education*, 87, 257 - 280.
- Kaiser, H. F. (1958). *Psychometrika*, 23, 187 – 200.
- Kempa, R., Costa, N. & Marques, L. (2000) "Science teachers' awareness of findings from education research." *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 1(1), 31 - 36.
- Lagorio, M. G. (2000). "Electron densities: Pictorial analogies for apparent ambiguities in probability calculations." *Journal of Chemical Education*, 77, 1444 -1445.
- Loewdin, P. O. (1969). *International Journal of Quantum Chemistry*, 3(Suppl), 331.
- Lawrence, I. (1996). "Quantum physics in school" *Physics Education*, 31, 278 - 287.
- Mabrouk, M. T. (2003). "The periodic table as a Mnemonic Device for Writing Electronic Configurations" *Journal of Chemical Education*, 80, 894 - 898.
- MacKinnon, G. (1999). "Students' Understanding of Orbitals: A Survey" U. S. Department of Education, Educational resources information center, document number: ED 433248.

- Mashhadi, A. (1994). "Advanced level physics students understanding of quantum physics". Paper presented at BERA annual conference. Oxford.
- Melrose, M.P. & Scerri, E.R. (1996). "Why the 4s orbital is occupied before the 3d." *Journal of Chemical Education*, 73, 498-503.
- Michelini, M., Ragazzon, R., Santi, L. & Stefanel, A. (2000). "Proposal for quantum physics in secondary school" *Physics Education*, 35(6), 406 - 410.
- Millar, R. (1989). "Constructive criticisms", *International Journal of Science Education*, 11, 587 - 596.
- Minstrell, J. A. (1992). "Teaching science for understanding." In M. K. Pearsall (Ed.). *Relevant research* (Vol. 2). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Morwick, J. J. (1979). "Should orbitals be taught in high school?" *Journal of Chemical Education*, 56, 262-263.
- Muller, R. & Wiesner, H. (1999). "Students' Conceptions of Quantum Physics" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Nakiboglu, C. (2003). "Instructional misconceptions of Turkish prospective chemistry teachers about atomic orbitals and hybridization" *Chemistry Education Research and Practice*, 4 (2), 171 - 188.
- Needham, R. (1987). "Teaching strategies for developing understanding in science" *Children's Learning in Science Project*, Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, Leeds, UK.
- Niaz, M. (1997). "Can we integrate qualitative and quantitative research in science education?" *Science and Education*, 6, 291- 300.
- Niedderer, H. & Deylitz, S. (1999). "Evaluation of a New Approach in Quantum Atomic Physics in High School" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Niedderer, H. (2003). " 'Electronium'? No, thanks. Answer to the criticisms of J Strnad and J Warren." *Physics Education*, 38(5), 269 - 270.



- Novak, J. (1988). "Learning science and the science learning." *Studies in Science Education*, 15, 77-101.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1978). "Junior high school pupil's understanding of the particulate nature of matter: A interview study." *Science Education*, 62(3), 273 - 281.
- Novick, S., Nussbaum, J. (1981). "Pupil's understanding of the particulate nature of matter: A cross age study." *Science Education*, 65(2), 187 - 196.
- Ogborn, J. (1974). "Introducing quantum physics." *Physics Education*, 9(7), 436 - 443.
- Ogilvie, J. F. (1990). "The nature of the chemical bond – 1990" *Journal of Chemical Education*, 67, 280-289.
- Olsen, V. (2001). "A Study of Norwegian Upper Secondary Physics Specialists' Conception of Atomic Models and wave Particle Duality" Paper presented at the third ESERA conference, Thessaloniki 2001, Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο http://folk.uio.no/rolfvo/Thessaloniki_paper.pdf
- Pauling, L. & Wilson, E. B. Jr. (1935). "Introduction to quantum mechanics with applications to chemistry." New York: McGraw-Hill.
- Pauling, L. (1983). "Throwing the book at elementary chemistry." *The Science Teacher*, 50, 25-29
- Pauling, L. (1992). "The nature of the chemical bond – 1992" *Journal of Chemical Education*, 69, 519 - 521.
- Petri, J. & Niedderer, H. (1998). "A learning pathway in high-school level quantum atomic physics." *International Journal of Science Education*, 20, 1075-1088
- Petri, J. & Niedderer, H. (2001). "Atomic Physics in Upper Secondary School: Layers of Conceptions in Individual Cognitive Structure." *Proceedings of the third ESERA conference, Thessaloniki 2001*, 579 – 581.
- Pilar, F. L. (1981). "Damn the permaganate volcanoes: Full principles ahead!" *Journal of Chemical Education*, 58, 803.
- 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.
- Pospiech, G. (1999). "Teaching the EPR paradox at high school?" *Physics Education*, 34(5), 311 – 316.

- Pospiech, G. (2000). "Uncertainty and complementarity: the heart of quantum physics" *Physics Education*, 35(6), 393 – 399.
- Richman, R. M. (1998). "In defense of quantum numbers." *Journal of Chemical Education*, 75, 536.
- Robblee, K. M., Abegg, G. & Garik, P. (1999) "Using Computer Visualization Software to Teach Quantum Science: The Impact on Pedagogical Content Knowledge" Paper presented at the third ESERA conference, Thessaloniki 2001, Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο:
http://folk.uio.no/rolfvo/Thessaloniki_paper.pdf
- Roth, K. J. (1989). "Science education: It's not enough to "do" or "relate" " *American Educator*, 13, 16-48.
- Ruis, S. P. (1988). "Something's wrong with chemistry textbooks." *Journal of Chemical Education*, 65, 720-721
- Sanchez Gomez, P. J. & Martin, F. (2003). "Quantum vs. "Classical" chemistry in university chemistry education: A case study of the role of history in thinking the curriculum." *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 131-148.
- Scerri, E. R. (1992). "The nature of the chemical bond – Once more" *Journal of Chemical Education*, 69, 602.
- Scerri, E. R. (1994). "Plus ca change". *Chemistry in Britain*, 30, 379-381.
- Scerri, E. R. (1998). "How good is the quantum mechanical explanation of the periodic system?" *Journal of Chemical Education*, 75, 1384-1385.
- Scerri, E. R. (1999). "In defense of quantum numbers." *Journal of Chemical Education*, 76, 608.
- Scerri, E. R. (2000a). "Philosophy of chemistry - A new interdisciplinary field?" *Journal of Chemical Education*, 77, 522-525.
- Scerri, E. R. (2000b). "The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education." *Science & Education*, 9, 405-425.
- Scerri, E. R. (2000c). "Have orbitals really been observed?" *Journal of Chemical Education*, 77, 1492-1494.
- Scerri, E. R. (2001). "The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education" *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 2(2), 165-170.



- Schaffrath, R. E. (1983). "Is "why" more important than "what"?" *Journal of Chemical Education*, 60, 728-729.
- Schayer, M. & Adey, P. (1981). "Towards a science of science teaching", Heinmann Educational Books, London.
- Scott, J. M. W. (1992). "The nature of the chemical bond – Once more" *Journal of Chemical Education*, 69, 600-602.
- Shiland, T. W. (1997). "Quantum Mechanics and Conceptual Change in High School Chemistry Textbooks" *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (5), 535 - 545
- Shusterman, G. P. & Shusterman, A. J. (1997). "Teaching chemistry with electron density models." *Journal of Chemical Education*, 74, 771-776.
- Siegel, S. & Castellan, N. J. (1988). "Non parametric statistics for the behavioral sciences" New York: McGraw-Hill, Inc.
- Simons, J. (1991). "There are no such things as orbitals-Act two. " *Journal of Chemical Education*, 68, 131-132.
- Skelly, K. M. & Hall, D. (1993). "The development and validation of a categorization of sources of misconceptions in chemistry." Paper presented at the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in science and Mathematics (Ithaca, August).
- Solomon, J. (1983). "Learning about energy: How people think in two domains." *European Journal of Science Education*, 5, 49 – 59.
- Strnad, J. (2003). " 'Electronium'? No, thanks" *Physics Education*, 38(5), 268 – 269.
- Summers, M. K. (1976). "The analogue computer as an aid to teaching elementary quantum mechanics." *Physics Education*, 11 (6), 296 – 302.
- Taber, K. S. (1997). "Understanding chemical bonding. The development of A level students' understanding of the concept of chemical bonding." Ph. D. thesis, University of Surrey.
- Taber, K. S. (2000). "Chemistry lessons for universities?: a review of constructivist ideas" *University Chemistry Education*, 4, 26 – 35.
- Taber, K. S. (2001). "Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research." *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 2, 123-158

- Taber, K. S. (2002). "Conceptualizing quanta – illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals" *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 3 (2), 145 – 158.
- Tobin, K. (1993). President's column: Approaches to research. *NARST News*, 35(3), 2.
- Tsaparlis, G. (1997a). "Atomic and molecular structure in chemical education: A critical analysis from various perspectives of science education." *Journal of Chemical Education*, 74, 922 – 925.
- Tsaparlis, G. (1997b). "Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students." *Research in Science Education*, 27, 271-287.
- Tsaparlis, G. & Papaphotis, G. (2002). "Quantum-chemical concepts : Are they suitable for secondary students ?" *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 3(2), 129-144.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). "Mental Models of the Earth: A study of Conceptual Change in Childhood." *Cognitive Psychology*, 24, 535 – 585.
- Warren, J. (1974). "Elementary concepts of quantum theory" *Physics Education*, 9(7), 444 - 448.
- Warren, J. (2003). " 'Electronium'? No, thanks" *Physics Education*, 38(5), 268.
- Wheatley, G. H. (1991). "Constructivist perspectives on science and mathematics learning. " *Science Education*, 75, 113 - 119
- Yeany, R.H. (1992). President's column: The canyon in the commons. *NARST News*, 34(1), 1.
- Zollman, D. & Rebello, N. S. (1999). "Conceptual Understanding of Quantum Mechanics" after Using Hands-on and Visualization Instructional Materials" Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching (NARST) 1999. Το άρθρο βρίσκεται στο διαδίκτυο <http://www.phys.ksw.edu/perg/papers/narst>.
- Zollman, D. & Rebello, N. S. (1998). "Creating a modern physics course: visualization and computation for undergraduate physics majors" <http://www.phys.ksw.edu/perg/vqm/working/mmprogrep.html#ideas>



- Zollman, D., Rebello, N. S. & Hogg, K. (2002). "Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology" American Journal of Physics 70 (3), 252 - 259
- Zuo, J. M., Kim, M., O'Keeffe, M. & Spence, J. C. H. (1999). "Direct observation of d-orbital holes and Cu-Cu bonding in Cu_2O ." Nature, 401, 49-52.
- Zuo, J. M., Kim, M., O'Keeffe, M. & Spence, J. C. H. (2001). "Have orbitals really been observed?" Journal of Chemical Education, 78, 877.

ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για σκοπούς διευκόλυνσης της μελέτης της διατριβής αυτής παρατίθεται στο σημείο αυτό το ερωτηματολόγιο της έρευνας.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΑ ΤΡΟΧΙΑΚΑ

1. Να σχεδιάσετε το άτομο του υδρογόνου όπως φαντάζεστε ότι περίπου είναι στην πραγματικότητα.
2. Να διατάξετε τις υποστιβάδες $3d$, $2p$, $5s$, $4p$, $5f$, $3p$, $4d$, $4s$ και $2s$ κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας για ένα οποιοδήποτε άτομο εκτός του υδρογόνου.
3. Η διάταξη που έγραψες στην προηγούμενη ερώτηση είναι διαφορετική στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου. Ποια είναι η διάταξη τώρα; Ξέρεις για ποιο λόγο διαφοροποιείται το υδρογόνο;
4. Να βρείτε την ηλεκτρονιακή δομή στο άτομο του Cr ($Z = 24$). Πόσα μονήρη (ασύζευκτα) ηλεκτρόνια περιέχονται στο άτομο αυτού του στοιχείου;
5. Είναι σύμφωνη η θεμελιώδης δομή $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$ της στιβάδας σθένους του ατόμου του C με το ότι ο C σχηματίζει τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς π.χ. στο CH_4 , καθώς και με την τετραεδρική διάταξη των δεσμών αυτών όπου οι γωνίες $H\hat{C}H$ είναι 109° ; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.
6. Να διατυπώσετε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.



7. Η αβεβαιότητα που προβλέπει η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg οφείλεται:

- α. Στο γεγονός ότι η ίδια η διαδικασία της μέτρησης εισάγει τα σφάλματα ώστε αυτό που εμείς μετρούμε να μην αντιστοιχεί στις ακριβείς τιμές και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα. *
- β. Στο γεγονός ότι τα σωματίδια τα οποία μελετούμε είναι τόσο μικρά ώστε δεν υπάρχουν όργανα για να κάνουμε τις απαιτούμενες ακριβείς μετρήσεις και έτσι έχουμε την αβεβαιότητα.

Να σημειώσετε τη σωστή πρόταση κυκλώνοντας το α ή το β.

8. Είναι δυνατό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάστασή του έξω από τον χώρο που ορίζεται ως τροχιακό $1s$; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

9. Ποια είναι η φυσική σημασία του καθενός από τους 4 κβαντικούς αριθμούς.

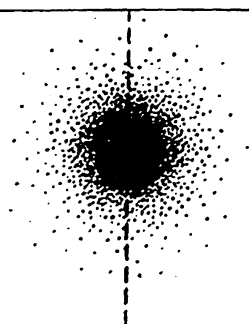
10. Αν μπορούσες να φωτογραφίσεις το ηλεκτρόνιο καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, πώς θα μπορούσες να φτιάξεις την εικόνα του ηλεκτρονιακού νέφους; (ΥΠΟΔΕΙΞΗ 1: Η εικόνα του νέφους είναι σταθερή – ακίνητη. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 2: Η φωτογραφική μηχανή τραβάει ακίνητες φωτογραφίες. ΥΠΟΔΕΙΞΗ 3: Οι φωτογραφίες μπορούν να τυπωθούν τόσο σε χαρτί όσο και σε διαφάνειες.)

11. Η εξίσωση Schrödinger λύεται ακριβώς για το άτομο του υδρογόνου, αλλά προσεγγιστικά για όλα τα άλλα άτομα. Ξέρεις για ποιο λόγο δε λύεται ακριβώς στην περίπτωση των άλλων ατόμων;

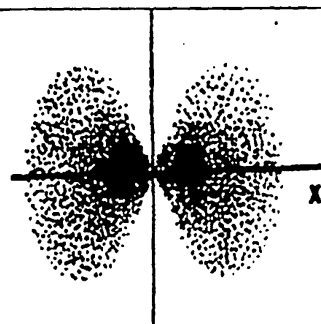
12. Σε ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης αναφέρεται ότι "Το ακριβές μέγεθος των τροχιακών είναι αδύνατο να αποδοθεί, αφού όπως είπαμε η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου δε μηδενίζεται ούτε σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα" Πώς αυτό δείχνεται ή πρέπει να δείχνεται στα σχήματα των τροχιακών;



13. Παρατηρήστε τα σχήματα των τροχιακών στα σχήματα 1 και 2. (Τα σχήματα προέρχονται από ένα σχολικό βιβλίο χημείας της Γ λυκείου θετικής κατεύθυνσης.) Ενώ στο σχήμα 1, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $1s$, υπάρχουν αραιές στιγμές πολύ μακριά από τον πυρήνα, στο σχήμα 2, που παριστάνει ηλεκτρονιακό νέφος τροχιακού $2p$, δεν υπάρχουν. Μήπως υπάρχει κάποιο λάθος στο ένα ή και στα δύο αυτά σχήματα;



Σχήμα 1



Σχήμα 2

14. Ένα μοριακό τροχιακό σχηματίζεται με σύνθεση-επικάλυψη δύο ατομικών τροχιακών. Μαθηματικά η σύνθεση αυτή ισοδυναμεί με πρόσθεση των ατομικών τροχιακών. Θα μπορούσε κατά τη γνώμη σου να γινόταν αφαίρεση των ατομικών τροχιακών και αν ναι τι συνέπειες θα είχε η αφαίρεση αυτή στην ηλεκτρονιακή πυκνότητα στο χώρο μεταξύ των πυρήνων και στο χημικό δεσμό;