

Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης* & Γεώργιος Στύλος **

Γνώσεις σε βασικές έννοιες της Φυσικής των αποφοίτων Λυκείου, οι οποίοι εισέρχονται στο Πανεπιστήμιο

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το ερευνητικό ερώτημα, κατά πόσο οι απόφοιτοι Λυκείου, οι οποίοι επέτυχαν στο Πανεπιστήμιο, μέσω των Πανελλαδικών εξετάσεων, αντιλαμβάνονται ορθά βασικές έννοιες της Φυσικής. Η απάντηση στο ερώτημα δίνεται από τα αποτελέσματα εμπειρικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε νεοεισερχόμενους πρωτοετείς φοιτητές του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων σε Τμήματα όπου η Φυσική αφενός αποτελεί βασικό μάθημα των εξετάσεων τους και αφετέρου θα γνωρίσουν το αντικείμενο της επιστήμης περισσότερο κατά τις πανεπιστημιακές τους σπουδές. Η έρευνα επικεντρώθηκε σε έννοιες και νόμους της Μηχανικής. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι οι φοιτητές έχουν εσφαλμένες γνώσεις πάνω σε αυτές τις έννοιες και δεν διακρίνεται κάποια σημαντική διαφορά των επιδόσεων των φοιτητών ανάλογα ως προς το τμήμα στο οποίο εισήλθαν στο Πανεπιστήμιο. Η έρευνα αναδεικνύει προβληματισμό ως προς τον τρόπο εκπαίδευσης και μάθησης των μαθητών Λυκείου στο γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής.

Λέξεις κλειδιά: Αντιλήψεις εννοιών, Μηχανική, Μαθητές Λυκείου, Φοιτητές.

The knowledge of the basic concepts of Physics, of the Lyceum students that enter in the University

Abstract

The present work deals with the question, how much the graduates of Lyceum, which achieved in the University, via the Pan-Hellenic examinations, understand equitably basic concepts of Physics. The answer in this question is given by the results of an empiric research between the newcomer first year students of University of Ioannina in Departments where the physics is a subject of basic course of their examinations and they learn more about this science during their academic study. The research was focused in concepts and laws of Mechanics. The results of the research show that the students have been mistaken perceptions on these concepts. Also it's clear that there is not certain difference of students' score depending on the department in which they entered in the University. The research gives scepticism about the education and the learning of students of Lyceum in Physics.

Key words: Misconceptions, Mechanics, Lyceum Students, University students.

* Αναπληρωτής Καθηγητής στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

** Υποψήφιος Διδάκτωρ στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά ερωτήματα της Διδακτικής της Φυσικής είναι το τι πραγματικά μαθαίνουν οι μαθητές από την διδασκαλία του γνωστικού αντικείμενου. Το ερώτημα αυτό είναι διαχρονικό, διότι οποιαδήποτε μοντέλο μάθησης και διδασκαλίας της φυσικής, κρίνεται και αξιολογείται από τι μαθαίνουν οι μαθητές. Το ίδιο ερώτημα είναι σίγουρα ενδιαφέρον να διερευνάται και στη Ελλάδα, διότι έτσι είναι δυνατόν να γνωρίζουμε αν οι μαθητές με το ισχύον εκπαιδευτικό σύστημα, μετά την διδασκαλία τους στην φυσική μπορούν να αξιοποιήσουν στην καθημερινή ζωή τους την επιστήμη αυτή.

Το ενδιαφέρον της διερεύνησης για το τι μαθαίνουν οι μαθητές μετά τη διδασκαλία τους στο αντικείμενο της φυσικής, ξεκίνησε από όταν διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές έχουν δημιουργήσει από μικρά παιδιά, δικά τους νοητικά σχήματα και ερμηνείες για διάφορα φυσικά φαινόμενα. Στην πλειοψηφία τους οι ιδέες των μαθητών είναι ασύμβατες με τις επιστημονικές απόψεις. Οι ερμηνείες αυτές και τα νοητικά σχήματα ορίζονται από την Διδακτική της Φυσικής ως εναλλακτικές ιδέες και έχουν αρχίσει να διερευνώνται τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια και μέχρι σήμερα υπάρχει αρκετή γνώση για αυτές (Driver 2000). Οι εναλλακτικές ιδέες σχηματίζονται μέσα από την προσπάθεια των μαθητών να εξηγήσουν αυτά που βλέπουν γύρω τους. Έχει διαπιστωθεί (Σπυροπούλου-Κατσάνη 2002) ότι οι εναλλακτικές ιδέες για έννοιες και φαινόμενα της φυσικής, αποτελούν εμπόδια στην προσπάθεια του εκπαιδευτικού για μετάδοση της επιστημονικής γνώσης.

Υπάρχουν ακόμη στις μέρες μας, πολλοί εκπαιδευτικοί της μέσης εκπαίδευσης, οι οποίοι δεν ασπάζονται τα πορίσματα της Διδακτικής της Φυσικής και συνεχίζουν να διδάσκουν σύμφωνα με τον τρόπο που οι ίδιοι είχαν διδαχθεί (Bigge 1990, Arons 1992). Η παραδοσιακή διδασκαλία της φυσικής δεν «λειτουργεί» στην σχολική αίθουσα για ένα μεγάλο μέρος των μαθητών. Πολλοί από τους μαθητές αντιπαθούν τη φυσική, άλλοι θεωρούν ότι δεν έχει καμία σχέση με τις προσωπικές ζωές τους ή με τους μακροπρόθεσμους στόχους τους και άλλοι αποτυγχάνουν να αποκτήσουν τις δεξιότητες που τους επιτρέπουν να συνεχίσουν σε προχωρημένα επιστημονικά μαθήματα σε άλλες βαθμίδες της εκπαίδευσης. Η παραδοσιακή προσέγγιση στη φυσική σε δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνει διαλέξεις με μικρή αλληλεπίδραση διδάσκοντα-διδασκόμενου, επίλυση ασκήσεων στο τέλος του κάθε κεφαλαίου και κάποιες φορές εργαστήρια όπου οι μαθητές δεν καταλαβαίνουν τι κάνουν. Η πραγματικότητα αυτή οδηγεί στην εκτίμηση της σπουδαιότητας, του να αναπτύσσουν οι μαθητές την λειτουργικότητα και την συνάφεια στην γνώση τους και όχι να μαθαίνουν μεμονωμένα γεγονότα ή να αποστηθίζουν μια συλλογή λύσεων στα προβλήματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, το ερώτημα το οποίο δημιουργείται, είναι αν οι απόφοιτοι Λυκείου του εκπαιδευτικού μας συστήματος, έχουν τις επιστημονικές γνώσεις

σε απλές έννοιες της φυσικής. Πολλές έρευνες της τελευταίας εικοσιπενταετίας σε διεθνές επίπεδο (Viennot 1979, Clemnt 1982, Brown 1989), οι οποίες έχουν γίνει σε μαθητές μέσης εκπαίδευσης, έχουν αποδείξει ότι οι μαθητές εξακολουθούν να έχουν σοβαρές εσφαλμένες γνώσεις για έννοιες και φαινόμενα της φυσικής. Στο ίδιο συμπέρασμα, καταλήγουν ανάλογες σύγχρονες έρευνες, ακόμη και για φοιτητές πανεπιστημίου, τόσο σε διεθνές (Itza-Ortiz 2004), όσο και σε εθνικό επίπεδο (Κώτσης 2002). Οι Bao και Redish (2001) ανέφεραν ότι οι μαθητές δεν είναι σίγουροι υπό ποιες συνθήκες εφαρμόζονται οι νόμοι που έμαθαν στο σχολείο και γι' αυτό τους χρησιμοποιούν είτε γενικευμένα είτε περιορισμένα. Οι Finegold και Gorsky (1991) μελέτησαν τη συνοχή των ιδεών των μαθητών σχετικά με την έννοια της δύναμης. Ανέφεραν ότι μόνο λίγοι μαθητές εφάρμοσαν με συνέπεια τις ιδέες τους για τη δύναμη. Στα ίδια συμπεράσματα σχετικά με την έννοια της δύναμης κατέληξαν και οι Halloun και Hestenes (1985) με μια έρευνα που πραγματοποίησαν με 4000 σπουδαστές κολλεγίου. Οι Dekkers κ.α. (1998) μελέτησαν το βαθμό κατανόησης που είχαν μαθητές για την έννοια της δύναμης στη μηχανική. Συμπέραναν ότι τα νοήματα που δίνουν οι μαθητές στις λέξεις δεν είναι απαραίτητα ίδια με αυτά των επιστημόνων και τόνισαν ότι αυτό αποτελεί ένα εννοιολογικό πρόβλημα. Τα ίδια αποτελέσματα προέκυψαν και από έρευνες με φοιτητές φυσικής στο Ισραήλ οι οποίοι προορίζονταν για καθηγητές φυσικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (Trumper & Gorsky, 2000). Συγκριτικές μελέτες μεταξύ μαθητών της Ταϊλάνδης, της Αυστραλίας και των Η.Π.Α. ενισχύουν τα παραπάνω συμπεράσματα (Emarat & Johnston, 2002).

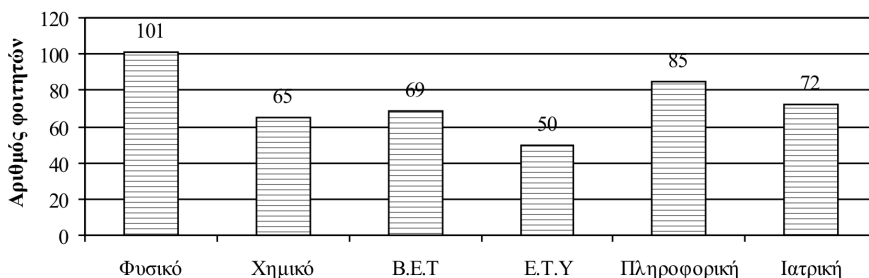
Για να δοθεί απάντηση σε αυτό το ερώτημα έγινε εμπειρική έρευνα σε νεοεισελθόντες φοιτητές έξι Τμημάτων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, όπου διερευνήθηκαν οι γνώσεις τους σε απλές έννοιες και φαινόμενα της νευτώνειας φυσικής. Δεν χρησιμοποιήθηκαν γνωστά σταθμισμένα ερωτηματολόγια, όπως το Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes *et al.* 1992) ή το Force and Motion Concept Evaluation (FMCE) (Thornton and Sokoloff 1998), ή το Mechanics Baseline Test (MBT) (Hestenes and Wells 1992), διότι επιλέχθηκε οι φοιτητές να μην λύνουν προβλήματα φυσικής, είτε με διαγράμματα, είτε με εξισώσεις τα οποία ένας εκπαιδευτικός τα θεωρεί δεδομένα. Επιλέχθηκε να τους υποβληθούν απλές ερωτήσεις για να είναι δυνατόν να αναδειχθούν, αν υπάρχουν, οι εσφαλμένες γνώσεις και να διαπιστωθεί ως ποιο βαθμό υφίστανται.

Η Έρευνα

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα από εμπειρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε νεοεισελθόντες φοιτητές έξι Τμημάτων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα τμήματα τα οποία επιλέχθηκαν για να γίνει η διερεύνηση είναι αυτά για τα οποία οι απόφοιτοι Λυκείου πρέπει να είχαν προετοιμασθεί

και να εξετασθεί στις εισαγωγικές τους εξετάσεις στο Πανεπιστήμιο στο μάθημα της φυσικής.

Ο πληθυσμός της έρευνας είναι 442 πρωτοετείς φοιτητές και ο αριθμός φοιτητών ανά τμήμα είναι (σχήμα 1), 101 φοιτητές Φυσικού, 65 φοιτητές Χημικού, 69 φοιτητές Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών (Β.Ε.Τ), 50 φοιτητές Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών (Ε.Τ.Υ), 85 φοιτητές Πληροφορικής, και 72 φοιτητές της Ιατρικής.



Σχήμα 1. Η κατανομή των φοιτητών ανά τμήμα

Η δειγματοληπτική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η απλή τυχαία δειγματοληψία. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή δεδομένων είναι το ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου και μοιράστηκε στις αρχές του ακαδημαϊκού έτους 2005-2006, λίγο πριν αρχίσει η διδασκαλία τους σε μαθήματα της φυσικής. Από αυτούς το 45,8% ήταν αγόρια και το 54,2% κορίτσια. Το 62,7% προέρχεται από την θετική κατεύθυνση σπουδών του Λυκείου και το υπόλοιπο 37,2% από την τεχνολογική. Στην έρευνα δεν μετείχαν φοιτητές, οι οποίοι προέρχονται από την θεωρητική κατεύθυνση. Μετείχαν μόνο οι απόφοιτοι Λυκείου, οι οποίοι είχαν το μάθημα φυσικής, ως βασική τους επιλογή για να προετοιμασθούν για να εισαχθούν στο πανεπιστήμιο. Οι 26 ερωτήσεις που τέθηκαν στους φοιτητές είναι συνδεδεμένες, ως επί το πλείστον, με απλά φαινόμενα και καταστάσεις της καθημερινής ζωής και δεν τέθηκαν ερωτήσεις με τις οποίες θα γινόταν στείρος έλεγχος των γνώσεων των φοιτητών. Οι ερωτήσεις καλύπτουν έννοιες και φαινόμενα της Μηχανικής, διότι το κομμάτι αυτό της φυσικής διδάσκεται σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης και έχουν πολλές μελέτες την τελευταία εικοσαετία. Η κωδικοποίηση, η στατιστική επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS 13.0.

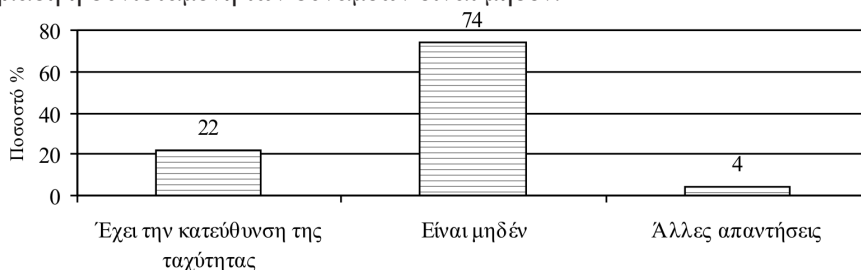
Αποτελέσματα και σχόλια

Στην εργασία αυτή δεν παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα και από τις 26 ερωτήσεις, αλλά έγινε επιλογή μόνο εκείνων για τις οποίες διακρίνεται ότι υπάρχει σε σημαντικό βαθμό εσφαλμένες γνώσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται με τη μορφή ραβδογραμμάτων των απαντήσεων των φοιτητών.

Σκοπός της πρώτης ερώτησης, όπως παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, αποτελούσε η ανίχνευση των γνώσεων των φοιτητών για τον ρόλο των δυνάμεων στην περίπτωση που ένα σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1: «Ένα αυτοκίνητο κινείται σε ευθύγραμμο δρόμο με σταθερή ταχύτητα. Η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα είναι...».

Από τις απαντήσεις των φοιτητών (σχήμα 2) ένα ποσοστό 22% πιστεύει πως έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας και το 74% δίνει την σωστή απάντηση, ότι δηλαδή η συνισταμένη των δυνάμεων είναι μηδέν.



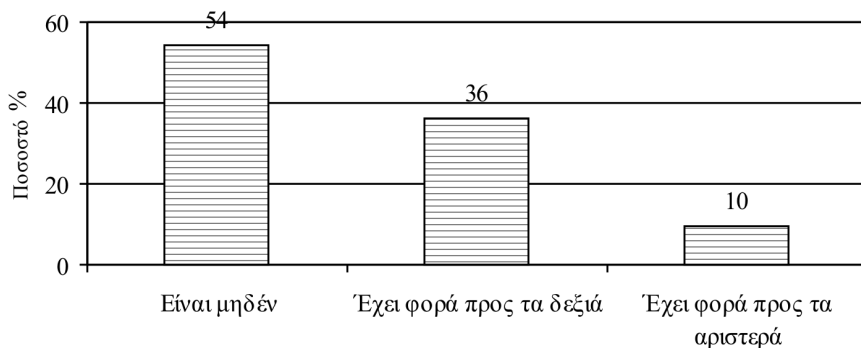
Σχήμα 2. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 1

Από τα δεδομένα διαπιστώθηκε πως και μετά τη διδασκαλία του 1^{ου} Νόμου αρκετοί φοιτητές (ένας στους πέντε) εξακολουθεί να έχει την «Αριστοτελική» αντίληψη για την σταθερή κίνηση ενός σώματος, ότι δηλαδή, είναι αποτέλεσμα μιας σταθερής δύναμης που έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας.

Στην ίδια ενότητα τέθηκε το ακόλουθο ερώτημα:

ΕΡΩΤΗΣΗ 2: «Όταν ένα αυτοκίνητο κινείται με σταθερή ταχύτητα προς τα δεξιά, τότε η συνισταμένη δύναμη σε αυτό...».

Οι απαντήσεις που αποτυπώνονται στο σχήμα 3 φαίνεται ότι το 54% των φοιτητών απαντά επιτυχώς ότι η συνισταμένη των δυνάμεων θα είναι μηδέν, το 36% ότι θα έχει φορά προς τα δεξιά και περιέργως το 10% ότι θα έχει φορά προς τα αριστερά.



Σχήμα 3. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών Ερώτηση 2

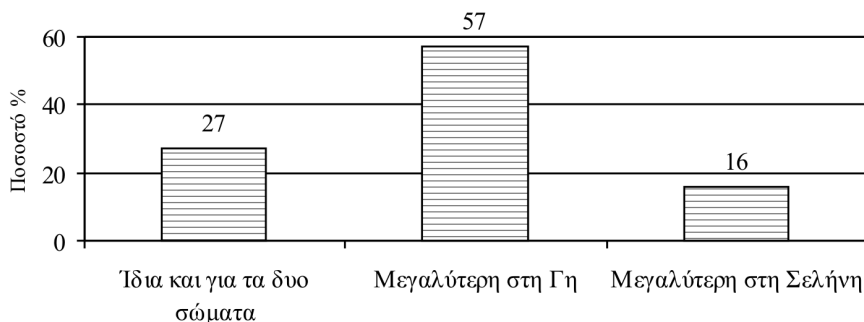
Το πόσο ισχυρές είναι οι εναλλακτικές ιδέες των φοιτητών και πόσο δύσκολα αλλάζουν ακόμα και μετά την διδασκαλία της συγκεκριμένης ενότητας γίνεται πιο εμφανές στο παραπάνω παράδειγμα, όπου, σχεδόν, μόνο ένας στους δύο φοιτητές αντιλαμβάνεται την ουσία τον 1^ο Νόμο του Νεύτωνα. Ενώ, λοιπόν, η πρώτη ερώτηση τους παραπέμπει απευθείας στον 1^ο Νόμο με το ποσοστό των ορθών απαντήσεων να κυμαίνεται στο 74%, στην δεύτερη ερώτηση αποκαλύπτεται η αδυναμία κατανόησής του, με το ποσοστό των ορθών απαντήσεων να πέφτει στο 54%.

Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά που έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία (Viennot 1979, Thornton (1997).

Στη συνέχεια η έρευνα επικεντρώθηκε στην σχέση της μάζας με την ολική δύναμη που δρα σ' ένα σώμα. Οι ερωτήσεις που τέθηκαν είναι:

Η επόμενη ερώτηση στην ίδια ενότητα, έχει ως εξής:

ΕΡΩΤΗΣΗ 3: «Δύο πανομοιότυπα σώματα βρίσκονται πάνω σε λείες οριζόντιες επιφάνειες, το ένα στη Γη και το άλλο στη Σελήνη. Θέλουμε να δώσουμε και στα δυο σώματα την ίδια οριζόντια επιτάχυνση. Η απαιτούμενη δύναμη είναι...».



Σχήμα 4. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 3

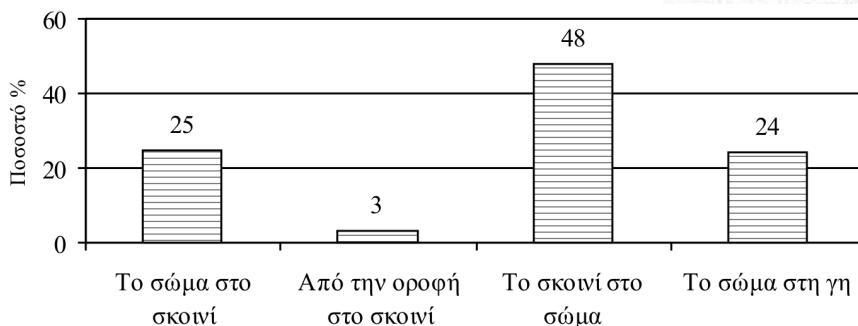
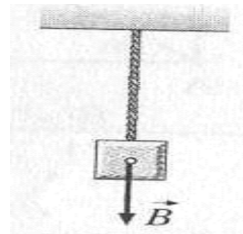
Οι φοιτητές (σχήμα 4) μόνο σε ποσοστό 27% απάντησαν ορθά ότι, η απαιτούμενη δύναμη είναι ίδια και για τα δύο σώματα, ενώ το 57% ότι είναι μεγαλύτερη στη Γη και σε ποσοστό 16% ότι είναι μεγαλύτερη στη Σελήνη. Σε αυτό το ερώτημα μόνο σχεδόν ένας στους τρεις δείχνει να αντιλαμβάνεται σε βάθος την ουσία του 2^{ου} Νόμου και να τον εφαρμόζει με επιτυχία. Προφανώς θεωρούν ότι το σώμα στην επιφάνεια της Γης έχει μεγαλύτερο βάρος σε σχέση με την Σελήνη, μ' αποτέλεσμα και η απαιτούμενη δύναμη, ακόμη και για οριζόντια κίνηση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη στη Γη.

Στη συνέχεια διερευνώνται οι αντιλήψεις για τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα με την ακόλουθη ερώτηση:

ΕΡΩΤΗΣΗ 4: «Η αντίδραση του βάρους του σώματος που φαίνεται στο διπλα-

νό σχήμα είναι η δύναμη που ασκείται από...».

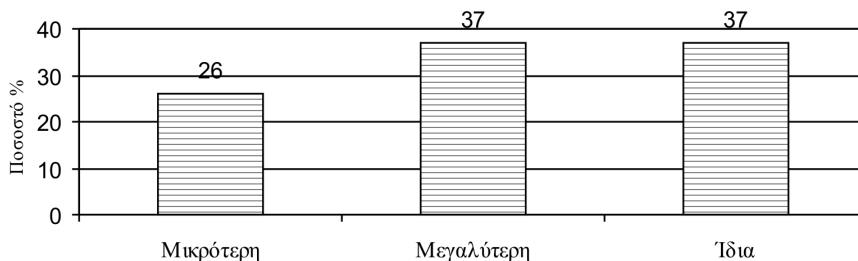
Το 25% των φοιτητών δηλώνει, σχήμα 5, ως αντίδραση του βάρους την δύναμη που ασκείται από το σώμα στο σκοινί, το 3% από την οροφή στο σκοινί και το 48% από το σκοινί στο σώμα. Η σωστή απάντηση, από το σώμα στη γη, δόθηκε μόλις από το 24% των φοιτητών.



Σχήμα 5. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 4

Στην ερώτηση που αφορά το σώμα που κρέμεται, η Γη δεν εμφανίζεται στην εικόνα, με αποτέλεσμα οι φοιτητές να εστιάζουν την προσοχή τους μόνο σε αυτό που τους δίνει η εικόνα και να μην κάνουν τους απαραίτητους νοητικούς συλλογισμούς (Levin et al, 1987) ώστε να εντοπίσουν την αντίδραση του βάρους του σώματος. Η απομνημονευτική διαδικασία μάθησης των νόμων της Φυσικής δεν επιτρέπει στους μαθητές ούτε να εμβαθύνουν αλλά ούτε και να υιοθετήσουν μόνιμα τις νέες γνώσεις, με αποτέλεσμα, μετά από σύντομο χρονικό διάστημα να επιστρέφουν στις αρχικές εναλλακτικές ιδέες τους. Ανάλογα ευρήματα έχουν αναφερθεί και σε διεθνές επίπεδο (Brown 1989). Εξίσου, εντυπωσιακές είναι και οι απαντήσεις που έδωσαν οι πρωτοετείς φοιτητές και στην παρακάτω ερώτηση:

ΕΡΩΤΗΣΗ 5: «Στέκεστε πάνω σε μια ζυγαριά φαρμακείου. Αν τραβάτε προς τα πάνω τα χορδόνια των παπουτσιών σας η ένδειξη της ζυγαριάς σε σχέση με πριν θα είναι...».

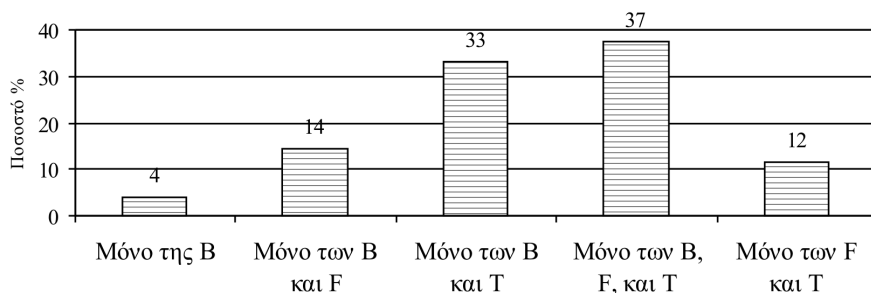


Σχήμα 6. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 5

Από την κατανομή των απαντήσεων που παρουσιάζονται στο σχήμα 6 η ένδειξη της ζυγαριάς θα είναι μικρότερη σε σχέση με πριν απάντησε το 26%, μεγαλύτερη το 3% και την σωστή απάντηση, δηλαδή η ίδια ένδειξη, μόνο το 37%. Παρατηρείται και σε αυτή την ερώτηση από τους πρωτοετείς φοιτητές αδυναμία κατανόησης του 3^{ου} Νόμου σε πιο σύνθετη περίπτωση.

Η επόμενη ερώτηση αναδεικνύει την δυσκολία των φοιτητών να κατανοήσουν την έννοια της δύναμης και έχει ως εξής:

ΕΡΩΤΗΣΗ 6: «Ένα μπαλάκι του γκολφ κινείται στον αέρα. Ένας μαθητής υποστηρίζει ότι τρεις δυνάμεις ασκούνται στην μπάλα: η δύναμη βαρύτητας, B , η δύναμη του κυτπήματος, F και η δύναμη αντίστασης του αέρα, T . Στην πραγματικότητα η δύναμη της μπάλας είναι η συνισταμένη...»



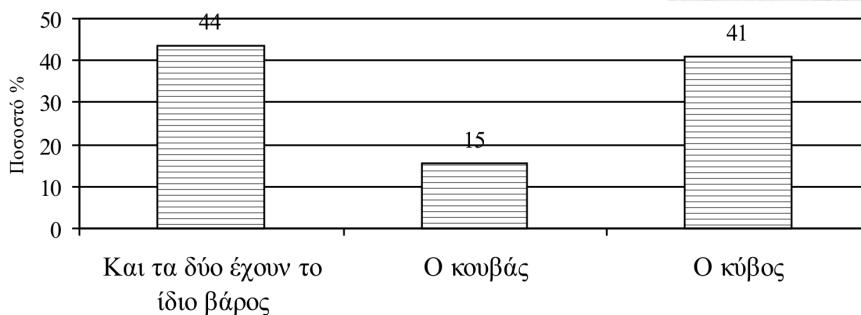
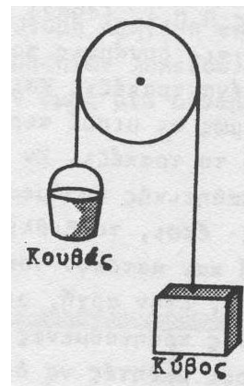
Σχήμα 7. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση 6

Μόνο το 33% των φοιτητών απαντά σωστά θεωρώντας πως συνισταμένη δύναμη είναι αποτέλεσμα των B και T (σχήμα 7). Το 5% των φοιτητών πιστεύει ότι η συνισταμένη δύναμη είναι μόνο της B , ενώ οι υπόλοιποι θεωρούν ότι η συνισταμένη δύναμη περιλαμβάνει με τον έναν ή άλλο τρόπο και την δύναμη F .

Αναδεικνύεται έτσι η εναλλακτική ιδέα που έχουν οι φοιτητές για τη δύναμη και την ιδιότητα που της αποδίδουν, να συνεχίζει δηλαδή να δρα σε ένα σώμα ακόμη και όταν αυτή δεν εφαρμόζεται. Το 70% των φοιτητών, άσχετα με το αν απαντά σωστά ή όχι, περιλαμβάνει την δύναμη του κυτπήματος ως συνιστώσα της συνισταμένης δύναμης. Η άποψη αυτή, ότι δηλαδή ένα κινούμενο αντικείμενο έχει κατ' ανάγκην μια δύναμη κατά την διεύθυνση της κινήσεως και που ονομάζεται «θεωρία ωθήσεως» (Clement, 1982) είναι κοινή και μεταξύ φοιτητών σε πολλές χώρες (Τσαπαρλής, 1991). Το γιατί οι μαθητές και οι φοιτητές θεωρούν απαραίτητη την ύπαρξη δύναμης για την κίνηση οφείλεται στο ότι η καθημερινή εμπειρία, τους παρέχει πλήθος τέτοιων παραδειγμάτων (Espinoza, 2005) Στην συνέχεια ερευνήθηκαν οι γνώσεις των φοιτητών πάνω στις έννοιες της μάζας και του βάρους. Τους τέθηκαν το εξής ερώτημα:

ΕΡΩΤΗΣΗ 7: «Ο κουβάς και ο κύβος στο διπλανό σχήμα, έχουν ίσες μάζες, αλλά αιωρούνται (ισορροπούν) σε διαφορετικά ύψη πάνω από το πάτωμα. Ποιο από τα δύο σώματα έχει μεγαλύτερο βάρος;».

Σύμφωνα με τη Φυσική, η παραπάνω περίπτωση είναι κατάσταση «ασύμμετρης» ισορροπίας, για την οποία η συνισταμένη δύναμη είναι μηδέν.



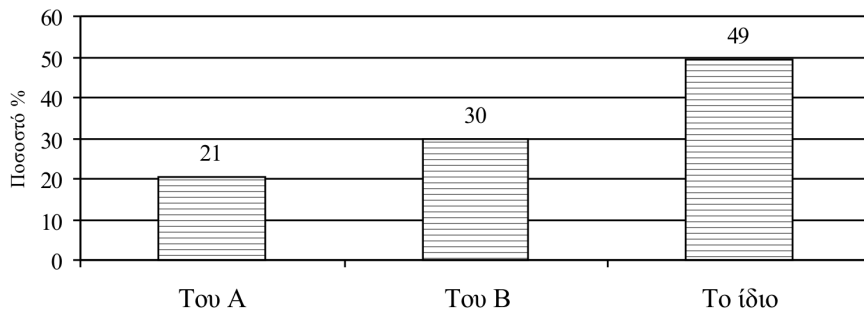
Σχήμα 8. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 7

Οι απαντήσεις των φοιτητών είναι πράγματι απρόσμενες (σχήμα 8). Μόνο το 44% υποστηρίζει σωστά πως τόσο ο κύβος όσο και ο κουβάς θα έχουν το ίδιο βάρος, το 15% ο κουβάς και το 41% ο κύβος. Οι λανθασμένες απαντήσεις κυμαίνονται σε ποσοστό 56%.

Οι φοιτητές θεωρούν ότι ενεργεί συνισταμένη δύναμη διάφορη του μηδενός, ίδιου «προσανατολισμού» με το παρατηρούμενο αποτέλεσμα, η οποία και το δικαιολογεί. «Προσανατολισμός» του αποτελέσματος στην παραπάνω περίπτωση είναι η θέση του σώματος σε υψηλότερο ή χαμηλότερο σημείο σε σχέση με το έδαφος. Φαίνεται, δηλαδή, να αγνοούν την ισορροπία, παρατηρώντας μόνα τα ορατά χαρακτηριστικά (Κουμαράς κ.α. 1994). Ανάλογα ευρήματα έχουν δημοσιευθεί παλαιότερα (Gunstone and White, 1981) σε διεθνές επίπεδο.

Τέλος διερευνήθηκαν οι γνώσεις των φοιτητών στην έννοια του έργου με τις επόμενες ερωτήσεις:

ΕΡΩΤΗΣΗ 8: Δυο παιδιά Α και Β με ίσες μάζες βρίσκονται στην κορυφή μιας τσουλήθρας. Το Α παιδί κατεβαίνει την τσουλήθρα, ενώ το Β παιδί πηδά από αυτήν. Ποιον παιδιού το έργο βάρος είναι μεγαλύτερο:



Σχήμα 9. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 8

Από τις απαντήσεις των φοιτητών, σχήμα 9, το 49% δίνει την σωστή απάντηση, ότι είναι το ίδιο έργο και στις δύο περιπτώσεις, αλλά το 30% θεωρεί ότι το έργο είναι μεγαλύτερο για το παιδί που πηδά από την τσουλήθρα και το 20% θεωρεί ότι το έργο είναι μεγαλύτερο για το παιδί που κατεβαίνει από την τσουλήθρα.

Ανάλογα αποτελέσματα διακρίνονται και στην επόμενη ερώτηση.

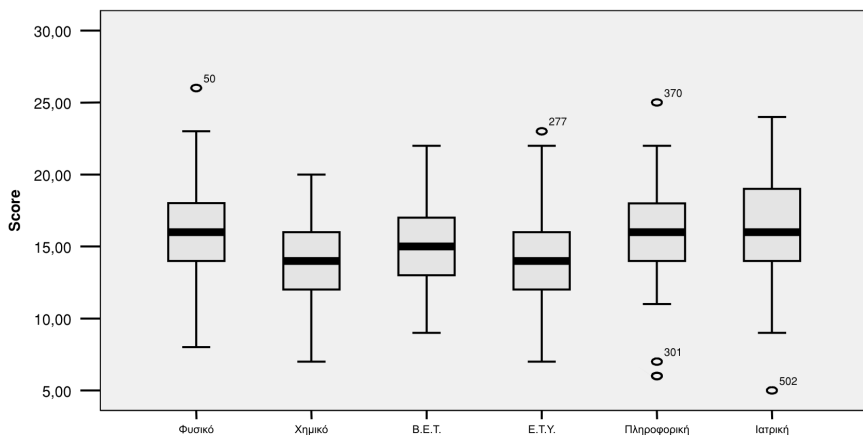
ΕΡΩΤΗΣΗ 9 : Το έργο της δύναμης που παράγεται όταν μεταφέρουμε μια σακούλα με ψώνια σε μια σκάλα είναι:

Από το σχήμα 10 φαίνεται ότι το 63% δηλώνει την σωστή απάντηση, ότι το έργο είναι το ίδιο, ενώ το 31% θεωρεί ότι είναι μεγαλύτερο όταν τρέχουμε και το 6% όταν ανεβαίνουμε την σκάλα αργά.



Σχήμα 10. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην Ερώτηση 9

Από τις απαντήσεις των φοιτητών και στις 26 ερωτήσεις μπορεί να προκύψει το ατομικό σκορ επιτυχίας και για το σύνολο των φοιτητών ανάλογα με το τμήμα εισαγωγής στο πανεπιστήμιο και αυτό αποτυπώνεται συγκεντρωτικά στο σχήμα 11.



Σχήμα 11. Το σκορ των σωστών απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο των αποφοίτων Λυκείου ανά τμήμα που εισήχθησαν.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει ότι ο μέσος όρος σωστών απαντήσεων, στο ερωτηματολόγιο των 26 ερωτήσεων, για τους φοιτητές του κάθε τμήματος είναι αυτός που απεικονίζεται στον πίνακα 1.

Από τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι είναι πολύ μικρές οι διαφορές μεταξύ των εισαχθέντων στα διάφορα πανεπιστημιακά τμήματα. Το γεγονός αυτό δεν αντικατοπτρίζεται από τις αντίστοιχες διαφορές των βαθμών που πήραν οι απόφοιτοι Λυκείου στο μάθημα της Φυσικής στις εισαγωγικές τους εξετάσεις για το Πανεπιστήμιο στα αντίστοιχα τμήματα.

Πίνακας 1

Ο μέσος όρος σωστών απαντήσεων για τους εισαχθέντες φοιτητές κάθε Τμήματος

Πανεπιστημιακό Τμήμα εισαγωγής	Σωστές απαντήσεις (N=26)
Ιατρικής	16,5 ± 3,6
Πληροφορικής	16,0 ± 3,5
Φυσικής	15,6 ± 3,6
Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών	14,9 ± 3,2
Χημείας	14,2 ± 3,2
Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών	14,1 ± 3,7
Συνολικός μέσος όρος	15,3 ± 3,5

Αρκεί να αναφερθεί ότι στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων για την Ιατρική ο βαθμός πρόσβασης την χρονιά της έρευνας ήταν 18,81 και για το Τμήμα Επιστήμης και

Τεχνολογίας των Υλικών 13,95. Οι διαφορές αυτές δεν αποτυπώνονται, όταν διερευνώνται οι γνώσεις των αποφοίτων Λυκείων σε απλές και βασικές έννοιες της νευτώνειας φυσικής.

Πίνακας 2

Ο μέσος όρος σωστών απαντήσεων ανάλογα του ενδιαφέροντος για τη φυσική

Ενδιαφέρον για τη Φυσική	Σωστές απαντήσεις (N=26)
Πολύ	16,0 ± 3,3
Αρκετά	16,0 ± 3,5
Μέτρια	14,6 ± 3,5
Καθόλου	13,7 ± 3,5
Συνολικός μέσος όρος	15,3 ± 3,5

Ανάλογη εικόνα εξάγεται όταν αναλυθούν τα δεδομένα της έρευνας ανάλογα με το ενδιαφέρον που είχαν οι απόφοιτοι Λυκείου για το γνωστικό αντικείμενο της φυσικής, το οποίο δήλωσαν σε αντίστοιχη ερώτηση του ερωτηματολογίου και τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Και σε αυτή τη περίπτωση οι διαφορές είναι πολύ μικρές και εμφανίζεται ή ίδια εικόνα η οποία δημιουργεί προβληματισμό. Συζήτηση για τα δεδομένα των δύο πινάκων γίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι οι απόφοιτοι Λυκείου, οι οποίοι εισήχθησαν στο Πανεπιστήμιο, εξακολουθούν να έχουν εσφαλμένες γνώσεις σε αρκετές βασικές έννοιες της φυσικής, όπως δύναμη, βάρος, έργο κ.λ.π. Γενικά, οι απαντήσεις των φοιτητών στην παρούσα έρευνα, όπως και άλλες παρόμοιες έρευνες εμφανίζουν τα δύο γνώριμα χαρακτηριστικά, που διακρίνονται και στις αντιλήψεις των μαθητών όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης σε έννοιες της Φυσικής. Στηρίζονται αφενός σε δικά τους νοητικά σχήματα που έχουν διαισθητικό ή εμπειρικό χαρακτήρα και αφετέρου σε επιστημονικές γνώσεις που αποκόμισαν από τη διδασκαλία, οι οποίες έχουν αποφέρει σύγχυση αυτών των εμπειριών. Επειδή όμως πρόκειται για αποφοίτους Λυκείου, δηλαδή για άτομα που έχουν περάσει από όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης το χαρακτηριστικό που επικρατεί είναι το δεύτερο, δηλαδή οι αντιλήψεις τους, έχουν διαμορφωθεί στα χρόνια της εκπαίδευσής τους, με γνώσεις από το επιστημονικό μοντέλο (Κώτσης, 2002). Αναδεικνύεται από την έρευνα αυτή, ότι οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών παραμένουν σε μεγάλο βαθμό σε όλη τη διάρκεια της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, χωρίς να γίνεται προσπάθεια, όπου απαιτείται, εννοιολογικής αλλαγής, σύμφωνα με το εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης και διδασκαλίας της φυσικής. Αν αναλογισθεί κανείς, ότι η έρευνα επικεντρώθηκε

μόνο σε μαθητές Λυκείου, οι οποίοι πέρασαν στο πανεπιστήμιο και μόνο σε αυτούς που είχαν ως βασικό μάθημα για τις εισαγωγικές εξετάσεις την φυσική (στην έρευνα δεν υπάρχουν μαθητές της θεωρητικής κατεύθυνσης σπουδών του Λυκείου), τότε η πραγματική εικόνα για το σύνολο των μαθητών Λυκείου είναι πιο απαισιόδοξη. Το συμπέρασμα αυτό δημιουργεί προβληματισμό, τόσο για το τι μαθαίνουν οι μαθητές στη μέση εκπαίδευση στο γνωστικό αντικείμενο της φυσικής, όσο και το πως αξιολογούνται οι γνώσεις τους. Είναι ήδη γνωστό ότι η εκπαίδευση των μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης επικεντρώνεται κυρίως στην αποστήθιση ορισμών και στην τυποποιημένη αλγεβρική εφαρμογή των διαφόρων σχέσεων (τύπων) σε προβλήματα ή ασκήσεις Φυσικής (Τζιμογιάννης 1999).

Πολλοί από τους μαθητές δεν γνωρίζουν τι εννοούν οι εκπαιδευτικοί τους όταν τους διδάσκουν μια έννοια ή ένα νόμο της φυσικής και τι περιμένουν απ' αυτούς. Δυστυχώς το πιο συνηθισμένο μοντέλο μάθησης στις τάξεις είναι το εξής: 1) Αντιγραφή όλων όσων παρουσιάζει ο διδάσκων στον πίνακα, ακόμα και όταν υπάρχουν στο βιβλίο. 2) Απομνημόνευση των σημειώσεων, μαζί με τους τύπους που υπάρχουν στο τέλος του κάθε κεφαλαίου. 3) Επίλυση αρκετών ασκήσεων ώστε να μάθει ο κάθε μαθητής ποιοι τύποι είναι απαραίτητοι για την επίλυση του κάθε προβλήματος. 4) Επιτυχία στις εξετάσεις λόγω της σωστής επιλογής τύπων που απαντούν στα θέματα των εξετάσεων. 5) Διαγραφή όλων των πληροφοριών από τον εγκέφαλο αμέσως μετά το επιτυχές πέρας των εξετάσεων, ώστε να υπάρχει χώρος απομνημόνευσης για το επόμενο μάθημα. Πάρα πολλοί μαθητές έχουν την εντύπωση πως η φυσική είναι ένα σύνολο από απλά γεγονότα και μια λίστα από εξισώσεις, τις οποίες αν απομνημονεύσουν, θα πάρουν άριστα στην τάξη. Ελάχιστοι είναι ικανοί να λύσουν προβλήματα που απαιτούν να σκεφτούν σχετικά με την φυσική, να οικοδομήσουν μια γερή εννοιολογική βάση και να συγκροτήσουν καλά την γνώση. Η κατ' οίκον εργασία έχει μεγάλη αξία στο να βοηθά τους μαθητές να μαθαίνουν φυσική, αλλά η λάθος κατηγορία ασκήσεων μπορεί να στείλει λάθος μήνυμα, επιβεβαιώνοντας την άποψη τους ότι τα «γεγονότα και εξισώσεις» είναι αρκετά. Δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει ο μαθητής απομνημονευτικά τους τρεις νόμους του Νεύτωνα, αλλά να μην μπορεί να βρει ποια είναι η αντίδραση της δύναμης του βάρους ή να συνδέει ακόμη τη δύναμη με την ταχύτητα. Είναι βέβαιο ότι έχει λύσει πολλές ασκήσεις, σε όλη τη διάρκεια της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης του, αλλά το μόνο που έμαθε είναι να χρησιμοποιεί μια τεχνική για να βρίσκει την σωστή εξίσωση. Όλοι μας έχουμε ακούσει πολλές φορές τους μαθητές να λένε «χρησιμοποίησα λάθος τύπο και δεν έλυσα την άσκηση». Σε αυτή τη διαδικασία έχει σίγουρα ευθύνη και ο ίδιος ο εκπαιδευτικός. Αν ο εκπαιδευτικός τους μεταδώσει την εντύπωση ότι η φυσική είναι μόνο τύποι και εξισώσεις, τότε και ο μαθητής αναζητά να βρει μόνο τύπους και εξισώσεις. Αν διδάσκει μόνο με εξισώσεις και τους δώσει

προβλήματα για το σπίτι, οι μαθητές είναι πιθανό να αντιγράψουν τις σωστές λύσεις από τους φίλους τους ή από λυσάρια και να τα απομνημονεύσουν χωρίς να κάνουν προσπάθεια να καταλάβουν ή να βγάλουν κάποιο νόημα από όλα αυτά. Αν όλα τα προβλήματα των εξετάσεών τους μπορούν να λυθούν με την εύρεση της σωστής εξίσωσης, οι μαθητές θα απομνημονεύσουν λίστες από εξισώσεις και παραδείγματα που ταιριάζουν. Αν επιτρέψουμε στους μαθητές να φτιάξουν μια λίστα με εξισώσεις και να την φέρουν στις εξετάσεις και στην συνέχεια εξετασθούν στην εφαρμογή των εξισώσεων, οι μαθητές είναι πιθανό να προκαθορίσουν το νόημα εξ ολοκλήρου και να εξασκηθούν μόνο στους υπολογισμούς των εξισώσεων.

Ο εκπαιδευτικός οφείλει να γνωρίζει τι κάνουν οι μαθητές του και τι πραγματικά έχουν μάθει. Οι μαθητές οφείλουν να γνωρίζουν πότε ανταποκρίνονται στις προσδοκίες που ο εκπαιδευτικός έχει θέσει για αυτούς και πότε και πώς ο ίδιος να τροποποιεί τις δραστηριότητές του όταν η διδασκαλία δεν φέρνει τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Θα πρέπει να εκτιμά την σπουδαιότητα να αναπτύσσουν οι μαθητές την λειτουργικότητα και την συνάφεια στην γνώση τους, και όχι να μαθαίνουν μεμονωμένα γεγονότα ή να απουσιάζουν μια συλλογή λύσεων στα προβλήματα. Συχνά ο μαθητής προτείνει ένα σωστό συμπέρασμα ή μια σωστή εξίσωση, διαδικασία που δεν προέρχεται με τον τρόπο που σκέφτεται ο εκπαιδευτικός. Ακόμη και αν ένας μαθητής κάνει τα ίδια βήματα που κάνει ο εκπαιδευτικός του, δεν υπάρχει καμιά εγγύηση ότι η σκέψη του για την επιλογή αυτών των βημάτων είναι το ίδιο με τον δικό του (Bowden et al. 1992). Υπάρχουν πολλές αναφορές στην διεθνή βιβλιογραφία (Mazur 1992), όπου αναφέρονται περιπτώσεις στις οποίες έμπειροι καθηγητές φυσικής διαπίστωσαν πρόβλημα στην παραδοσιακή μορφή διδασκαλίας, από τον τρόπο σκέψης των μαθητών τους, με αποτέλεσμα να αλλάξουν τον τρόπο της διδασκαλίας τους.

Μέρος του τρόπου με τον οποίο το εκπαιδευτικό σύστημα ξεγελά τον εαυτό του με τις στερεότυπες μεθόδους εξέτασης είναι ότι «ενδιαφέρεται για το τι ξέρουν οι μαθητές». Αν οι μαθητές δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση στις σωστές πληροφορίες σε μια εξέταση, τους δίνονται στοιχεία και υποδείξεις στη διατύπωση ώστε να ενεργοποιηθεί η πρόσβαση. Εφόσον όμως τα βασικά στοιχεία του συστήματος είναι οι διαδικασίες πρόσβασης σε πληροφορίες, δεν εξετάζονται τα πρότυπα συσχέτισης των μαθητών εάν περιορίσουμε το πλαίσιο (σκέψης) και παρέχουμε λεπτομέρειες-υποδείξεις. Ο μαθητής «έχει» τις πληροφορίες, αλλά είναι αδρανείς και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από πολύ περιορισμένες, σχεδόν προ-προγραμματισμένες καταστάσεις. Για να ανακαλύψουμε τι πραγματικά ξέρουν οι μαθητές, πρέπει να ανακαλύψουμε τι γνώσεις κατέχουν και τι πηγές χρησιμοποιούν. Πρέπει να τους δώσουμε την ευκαιρία να εξηγήσουν τι σκέφτονται με λόγια. Πρέπει επίσης να τους βαθμολογούμε μόνο για την συλλογιστική και όχι μερικώς όταν ένας μαθητής προσπαθεί να βρει την

λύση και τυχαία έχει μια σωστή και σχετική εξίσωση ανάμεσα σε ένα πλήθος από άσχετες. Για να ξέρουμε αν οι μαθητές μας έχουν ορθή πρόσβαση στις πληροφορίες σε κατάλληλες περιπτώσεις, πρέπει να τους δίνονται περισσότερα ρεαλιστικά προβλήματα – προβλήματα που σχετίζονται άμεσα με τον δικό τους πραγματικό κόσμο, την εμπειρία και να μην τους παρέχουν τόσες πολλές «υποδείξεις φυσικής» που τους καθορίζουν ένα μονοπάτι πρόσβασης.

Σύμφωνα με το αποδεκτό στις μέρες μας, εποικοδομητικό μοντέλο διδασκαλίας και μάθησης της φυσικής (Σπυροπούλου-Κατσάνη 2002), κάθε μαθητής είναι υπεύθυνος για τη δική του μάθηση και η μάθηση είναι μια συνεχής ενεργητική διαδικασία. Παρόλο όμως, ότι σε μια τάξη υπάρχουν μαθητές με διαφορετικό ενδιαφέρον για τη φυσική, από τα στοιχεία του πίνακα 2, δεν φαίνεται να υπάρχει μια μεγάλη διαφορά στις γνώσεις τους. Δηλαδή είτε ο μαθητής έχει πολύ ενδιαφέρον, είτε δεν έχει καθόλου ενδιαφέρον για τη φυσική, αυτά που μαθαίνει εννοιολογικά για τη φυσική είναι σχεδόν τα ίδια για όλους. Αυτό είναι αναμενόμενο διότι στην πραγματικότητα ο σημερινός μαθητής του Λυκείου δεν μαθαίνει φυσική, αλλά μαθαίνει τεχνικές για να επιλέγει σωστές εξισώσεις για τη φυσική.

Τέλος από τα στοιχεία του πίνακα 1, δημιουργείται το ερώτημα, αν ο τρόπος εξέτασεων των αποφοίτων Λυκείου για την εισαγωγή τους στο πανεπιστήμιο, αποδίδει τις μεγάλες διαφορές βαθμολογίας για τα διάφορα πανεπιστημιακά τμήματα. Ένας μαθητής, ο οποίος έχει επιτύχει τον μέσο όρο σωστών απαντήσεων της παρούσας έρευνας, δηλαδή $15,3 \pm 3,5$, μπορεί να είναι φοιτητής τόσο της Ιατρικής, όσο και του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών. Η απάντηση για το ποιο τμήμα πέρασε εξαρτάται κατά πόσο χρησιμοποιήσε σωστές εξισώσεις στην επίλυση προβλημάτων φυσικής. Η επιτυχής επίλυση αλγεβρικών προβλημάτων ελάχιστα συνδέεται με την καλή κατανόηση των βασικών εννοιών (Mazur 1997 και McDermott and Reddish 1999). Όλοι όσοι εμπλέκονται στη μέση εκπαίδευση γνωρίζουν εκφράσεις των μαθητών του στυλ: «χρησιμοποίησα λάθος τύπο», ή «δεν θυμήθηκα το σωστό τύπο», ή «δεν έγραψα το σωστό συντελεστή στο τύπο» «δεν θυμόμουν αν ο τύπος ήθελε στο τετράγωνο» και άλλες πολλές σχετικές. Αν αυτά τα κριτήρια τιμούν το εκπαιδευτικό μας σύστημα και αν έτσι αξιολογούμε γνώσεις στη φυσική, είναι κάτι που πρέπει να προβληματίσει όλους όσους ασχολούνται με την εκπαίδευση και να φροντίσουν να το αλλάξουν σύντομα.

Είναι γεγονός ότι στη λυκειακή εκπαιδευτική διαδικασία, στην σημερινή ελληνική πραγματικότητα, υφίσταται έλλειψη οποιασδήποτε εκπαιδευτικής - διδακτικής μεθοδολογίας (Καλκάνης 2007), η οποία θα πρέπει να καλυφθεί όσο δυνατόν πιο σύντομα. Πρέπει κάθε εκπαιδευτικός να γνωρίζει ότι δεν είναι αρκετό για τους μαθητές «να ξέρουν» τις σχετικές σωστές εκφράσεις και εξισώσεις της φυσικής. Πρέπει επίσης οι μαθητές να είναι σε θέση να αποκτή-

σουν πρόσβαση σε αυτές, στις κατάλληλες χρονικές στιγμές και πρέπει να έχουν μεθόδους διασταύρωσης και αξιολόγησης για να είναι σίγουροι ότι το αποτέλεσμα που έχουν θυμηθεί είναι πραγματικά σχετικό. Για να εκτιμήσουμε την μαθησιακή διαδικασία, πρέπει να λάβουμε υπόψη και τη εννοιολογική μάθηση και όχι μόνο τις δεξιότητες λύσης προβλημάτων. Πρέπει να θυμόμαστε ότι ο μαθητής μπορεί να έχει γνώσεις τι οποίες είναι δυνατό να χρησιμοποιήσει για να δώσει μια μεμονωμένη απάντηση, αλλά να είναι αδύνατο να τις χρησιμοποιήσει και να τις εφαρμόσει σε ένα ευρύτερο σύνολο ανάλογων συνθηκών. Συνεπώς τα ερεθίσματα μας πρέπει να είναι ποικίλα και διαφορετικά. Για γίνει αυτό, πρέπει οι μαθητές να οικοδομήσουν ένα συνεπές και συνεχές νοητικό μοντέλο στο αντικείμενο της φυσικής. Για να οικοδομήσουν την γνώση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί το εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης και διδασκαλίας της φυσικής από το Γυμνάσιο και συνεχισθεί και στο Λύκειο. Εάν θέλουμε πραγματικά να βοηθήσουμε τους μαθητές μας να οικοδομήσουν ορθά γνώσεις της επιστήμης της φυσικής, το εποικοδομητικό μοντέλο παρέχει αρκετές οδηγίες, οι οποίες θα πρέπει να αρχίσουν να εφαρμόζονται και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Arons, A., (1992), Οδηγός διδασκαλίας της φυσικής, Ελληνική μετάφραση, Εκδόσεις Τροχαλία, Αθήνα
- Bao, L. and Redish, E.F. (2001), Concentration analysis: A quantitative assessment of student states, *PERS of American Journal of Physics*, 69(7), 45-53
- Bigge, M., (1990), Θεωρίες μάθησης για εκπαιδευτικούς, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα
- Bowden, J., Dall'Alba, G., Martin, E., Laurillard, D., Marton, F., Masters, G., Ramsden, P., Stefanou, A. and Walsh, E., (1992), Displacement, velocity, and frames of reference: Phenomenographic studies of students' understanding and some implications for teaching and assessment, *American Journal of Physics*, 60 (3), 262
- Brown, D. (1989), Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law, *Physics Education*, 24, 353
- Clement, J. (1982), Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50 (1), 66-71
- Dekkers, P. J. J. M. and Thijs, G. D. (1998), Making Productive Use of Students' Initial Conceptions in Developing the Concept of Force, *Science Education*, 82(1), 31-51
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., Wood-Robinson, V. (2000), Οικο-Δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών, Εκδόσεις Τυπωθήτω
- Emarat, N. and Johnston, I. (2002), The effectiveness of the Thai traditional teaching in the introductory physics course : A comparison with the US and Australian approaches. CAL-laborate, Vol. 9, <http://science.uniserve.edu.au/pubs/callab> (ανάκτηση 20/5/2005)
- Espinoza, F. (2005), An analysis of the historical development of ideas about motion and its implications for teaching, *Physics Education*, 40(2), 139-146
- Finegold, M. and Gorsky, P. (1991), Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency, *International Journal of Science Education*, 13(1), 97-113
- Halloun A. and Hestenes D. (1985a), The initial knowledge state of students, *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055
- Halloun, I. A. and Hestenes, D. (1985b), Common sense concepts about motion, *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065
- Hestenes, D. and Wells, M., (1992), A Mechanics Baseline Test. The Physics Teacher, 30 (3). 159-166
- Hestenes, D., Wells, M. and Swackhamer, G., (1992), Force Concept Inventory, The Physics Teacher, 30 (3), 141-158

- Gunstone, R. F. and White R., (1981), Understanding of Gravity. Science Education. 65 (3), 291-299.
- Itza-Ortiz, S., Rebello, S. and Zollman, D., (2004), Students' models of Newton's second law in mechanics and electromagnetism, European Journal of Physics 25, 81
- Καλκάνης, Γ., (2007), Από την Πρωτοβάθμια στη Δευτεροβάθμια Εκ-Παίδευση στις – με τις Φυσικές Επιστήμες/ τη Φυσική: από την “Απαιτητικότητα” στην “Έλλειμματικότητα” - Διαπιστώσεις και Προτάσεις επί του πρακτέου, Πρακτικά 10^{ου} Κοινού Συνεδρίου των Ενώσεων Ελλήνων και Κυπρίων Φυσικών, Κέρκυρα, 22
- Κουμαράς, Π., Καριώτογλου, Π., και Ψύλλος Δ., (1994) «Αιτιακοί Συλλογισμοί των Μαθητών: Η Περίπτωση της Μηχανικής», Σύγχρονη Εκπαίδευση, Τ 79, 37
- Κώτσης Κ, Θ, (2002), Κοινά χαρακτηριστικά των αντιλήψεων των φοιτητών ΠΤΔΕ για τις δυνάμεις του βάρους, της τριβής, της άνωσης των υγρών και της αντίστασης του αέρα, Θέματα στην Εκπαίδευση, 3:2-3, 201
- Levin, J.R., Anglin, G.J. and Carney, R.N., (1987), On empirically validating functions of pictures in prose, In D. Willows and H. Houghton (Eds), The Psychology of Illustration, Springer-Verlag, Vol 1: Basic Research, 51-85
- Mazur E., (1992), «Qualitative vs. Quantitative Thinking: Are We Teaching the Right Thin?», Optics and Photonics News (Feb.)
- Mazur E., (1997), Peer Instruction: A User's Manual, Prentice Hall, .
- McDermott L. C. and Redish E. F., (1999), Resource Letter PER-1: Physics Education Research, American Journal of Physics, 67, 755-767.
- Σπυροπούλου-Κατσάνη Δ., (2000), Διδακτικές και παιδαγωγικές προσεγγίσεις στις Φυσικές επιστήμες. Τυπωθήτω, Αθήνα
- Thornton, R.K. (1997), Conceptual Dynamics : Following changing student views of force and motion, in E.F. Redish and J.S. Rigden (eds), Thinking physics for teaching, *Proceedings of ICUPE*, 399, 241, New York, American Institute of Physics
- Thornton, R. K.and Sokoloff, D. R., (1998), Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion concept evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture, American Journal of Physics, 66 (4), 338-351
- Τζιμογιάννης Α. (1999), Διδασκαλία Φυσικής και υπολογιστές. Μια εναλλακτική διδακτική προσέγγιση, Σύγχρονη Εκπαίδευση, 105, 115-122 (1^ο Μέρος) και 106, 111-117 (2^ο Μέρος)
- Trumper, R. and Gorsky, P. (2000), A cross – college age study about physics students' conceptions of force in pre – service training for high school teachers, *Curriculum Matters*, 227

Τσαπαρλής, Γ., (1991), Θέματα Διδακτικής Φυσικής και Χημείας στη Μέση Εκ-
παίδευση, Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα

Viennot, L. (1979), Spontaneous reasoning in elementary dynamics, European
Journal of Science Education. 1 (2), 205-221