

Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 6, Αρ. 1-2 (2013)



Διερεύνηση της συνέπειας εφαρμογής των αντιλήψεων των μαθητών Λυκείου σε έννοιες της μηχανικής

Γιώργος Καράογλου, Κωνσταντίνος Κώτσης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Καράογλου Γ., & Κώτσης Κ. (2013). Διερεύνηση της συνέπειας εφαρμογής των αντιλήψεων των μαθητών Λυκείου σε έννοιες της μηχανικής. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 6(1-2), 37-48. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44531>

Διερεύνηση της συνέπειας εφαρμογής των αντιλήψεων των μαθητών Λυκείου σε έννοιες της μηχανικής

Γιώργος Καραόγλου¹ & Κωνσταντίνος Κώτσης²
gkaraogl@cc.uoi.gr, kkotsis@cc.uoi.gr

¹ Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

² Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη: Η σύγχρονη διδακτική προσέγγιση στοχεύει στη σύγκρουση των μαθητών με τις εναλλακτικές τους ιδέες έτσι ώστε να προκληθεί η ανατροπή τους και να ακολουθήσει αναδόμηση νόμων αρχών και εννοιών με βάση την επιστημονική γνώση. Το παραπάνω εγχείρημα βρίσκει σθεναρή αντίσταση που πηγάζει από την επιμονή των μαθητών να ερμηνεύουν τα φαινόμενα της καθημερινής τους ζωής χρησιμοποιώντας τις εναλλακτικές ιδέες τους και μάλιστα να βρικόουν επαρκή αιτιολόγηση γι' αυτά. Αποτέλεσμα είναι να γίνεται χρήση της επιστημονικής γνώσης, των εναλλακτικών ιδεών τους καθώς και ενός συνδυασμού αυτών ανάλογα με την κατάσταση που περιγράφεται στο πρόβλημα χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους, τους νόμους και τις αρχές που διέπουν τα φαινόμενα. Έτσι η συνέπεια που εμφανίζουν στη χρησιμοποίηση των ιδεών τους είτε πρόκειται για τις ορθές είτε για τις εναλλακτικές είναι μικρή.

Λέξεις κλειδιά: Αντιλήψεις μαθητών, έννοιες μηχανικής, δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Εισαγωγή

Ο ανεπαρκής διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης και οι γλωσσικές δυσκολίες κάνουν πολλές φορές αδύνατη την προσέγγιση της γνώσης από τους μαθητές και επιφέρουν σύγχυση στην επικοινωνία τους με το δάσκαλο (Knight, 2006). Επιπρόσθετα οι μαθητές τροφοδοτούνται στην καθημερινή τους ζωή με εμπειρικούς κανόνες και ιδέες που τους υπαγορεύει η διαίσθηση και η κοινή λογική όπως έγινε με τους μεγάλους επιστήμονες του παρελθόντος ως το δέκατο έβδομο αιώνα. Οι περισσότεροι τις υιοθετούν διότι έχουν χρησιμοποιηθεί, ελεγχθεί, και επιβεβαιωθεί επανειλημμένα στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων και έτσι εδραιώνονται ισχυρά στο νου τους και μεταφέρονται στο σχολείο. Οι ιδέες των μαθητών αναφέρονται συχνά ως *πρόδρομες* ή *εναλλακτικές ιδέες*, ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία επικρατούν οι όροι *common sense concepts* και *common sense knowledge* (Halloun & Hestenes, 1985a), που υποδηλώνουν τη γενική αποδοχή των ιδεών αυτών από τους μαθητές και τη βιωματική τους προέλευση, *preconceptions* (Arons, 1990) και *misconceptions* (Hammer, 1996).

Το ζήτημα της κίνησης των σωμάτων και οι αιτίες αυτής αποτέλεσαν αντικείμενο προβληματισμού και σύγκρουσης ιδεών μεγάλων μορφών της διανόησης και της επιστήμης. Στη κινηματική και τη νευτώνεια δυναμική οι μαθητές εμφανίζουν ισχυρές εναλλακτικές αντιλήψεις καθώς πολλές καταστάσεις της καθημερινής τους δραστηριότητας αποτελούν εφαρμογές τους. Οι ιδέες τους μοιάζουν με τις αντιλήψεις που επικρατούσαν στην επιστήμη τους προηγούμενους αιώνες (Καραόγλου κ.α., 2010). Το γεγονός ότι οι αντιλήψεις αυτές είναι κοινές ανάμεσα στους μαθητές δεν σημαίνει ότι κάθε μαθητής έχει ταυτόχρονα όλες αυτές τις ιδέες ή τις εφαρμόζει απαρέγκλιτα. Οι μαθητές δεν είναι απαραίτητα συνεπείς στην εφαρμογή των αντιλήψεών τους και μπορούν να τις εφαρμόζουν ή όχι ανάλογα με το υπό εξέταση φαινόμενο και ακόμη ανάλογα με τη διατύπωση του προβλήματος. Δεν γνωρίζουν πότε πρέπει να εφαρμόσουν τους νόμους που διδάχθηκαν στο σχολείο και έτσι παρατηρείται

μια σύγχυση που πολλές φορές οδηγεί σε αδιάκριτη εφαρμογή νόμων ή εναλλακτικών ιδεών καθώς και υβριδικών καταστάσεων που προκύπτουν από το συνδυασμό τους (Halloun & Hestenes, 1985b; Thornton, 1997; Itza-Ortiz et al., 2004). Οι Ιωαννίδης & Βοσνιάδου (2002), σε μια μελέτη με διάφορες ηλικιακές ομάδες μαθητών, υποστηρίζουν ότι τα παιδιά ξεκινούν εμφανίζοντας συνέπεια στις αντιλήψεις τους. Όμως η διδακτική παρέμβαση προκαλεί κλυδωνισμούς στις ιδέες τους, με συνέπεια να σχηματίζονται υβριδικές μορφές ή να χρησιμοποιούνται διαφορετικές ιδέες ανάλογα με την κατάσταση που περιγράφεται κάθε φορά. Οι αντιλήψεις των παιδιών διακρίνονται από μικρότερη συνοχή και συνέπεια με την αύξηση της ηλικίας καθώς προσπαθούν να προσεγγίσουν περισσότερη γνώση, και η εννοιολογική αλλαγή είναι μια αργή σταδιακή διαδικασία που συμβαίνει σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα σε άλλες έρευνες με διάφορες ηλικιακές ομάδες μαθητών (Özdemir, & Clark, 2007; diSessa et al., 2004) καταγράφεται αδυναμία στην τήρηση μιας συνεπούς στάσης όσον αφορά την εφαρμογή των ιδεών τους για την έννοια της δύναμης. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται από τους Özdemir & Clark (2007), ακόμη και από μικρές παραλλαγές στο κείμενο ή από τα συμφραζόμενα είναι δυνατό να επηρεαστούν οι απαντήσεις των μαθητών.

Η διαχείριση των προβλημάτων που αναφέρονται σε ζητήματα κινηματικής και νευτώνειας δυναμικής από τους μαθητές των Γενικών Λυκείων καταγράφηκε σε προηγούμενη εργασία μας (Καράογλου κ.α. 2010). Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση της συνέπειας με την οποία εφαρμόζουν οι μαθητές της Α' Λυκείου τις ορθές ή τις εναλλακτικές ιδέες τους στη νευτώνεια μηχανική. Η ολοκλήρωση της προσπάθειας τροποποίησης των αντιλήψεών τους, πάνω στη νευτώνεια δυναμική στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση προσφέρει τη δυνατότητα για τη διερεύνηση της συνοχής που παρουσιάζουν αυτές καθώς και οι νέες ιδέες που συμπίπτουν με τις νευτώνειες. Η έρευνα διενεργείται με τους μαθητές της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας οι οποίοι μετά από μια ποιοτική αντιμετώπιση της νευτώνειας δυναμικής στο Γυμνάσιο έρχονται σε επαφή με την κριτική και ποσοτική αντιμετώπιση των νευτώνειων ιδεών που θεωρούνται θεμέλιο της μηχανικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Εστιάζεται στην απλή εφαρμογή και των τριών νόμων του Newton σε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν όμως στον ίδιο νόμο.

Μεθοδολογία της έρευνας

Στόχος

Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της συνέπειας που εμφανίζουν οι μαθητές στην εφαρμογή των ιδεών τους είτε πρόκειται για τις ορθές είτε για τις εναλλακτικές σε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν όμως στον ίδιο νόμο του Newton.

Το δείγμα

Στο ερωτηματολόγιο απάντησαν 71 μαθητές της Α' τάξης Γενικού Λυκείου. Από αυτούς τα 40 ήταν κορίτσια και τα 31 αγόρια. Συμμετείχαν όλοι οι παρόντες μαθητές ανεξάρτητα από τις επιδόσεις τους στη φυσική. Οι μαθητές είχαν διδαχθεί τις σχετικές έννοιες και νόμους, και ήταν ενήμεροι για τη διεξαγωγή του τεστ καθώς και για τη μορφή του. Η επεξεργασία των ερωτήσεων διήρκεσε μια διδακτική ώρα.

Το ερωτηματολόγιο

Για τη διερεύνηση της συνέπειας στην εφαρμογή των ιδεών από τους μαθητές χρησιμοποιήθηκε ένα τεστ με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που προορίζεται για τη διερεύνηση της εννοιολογικής κατανόησης, το ερωτηματολόγιο Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM) το οποίο δημιουργήθηκε από τον καθηγητή Halloun το

2005. Βάση του ερωτηματολογίου αποτέλεσαν τα γνωστά ερωτηματολόγια κλειστού τύπου: Mechanics Diagnostic Test (MDT) (Halloun, 1984), Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992), και Mechanics Baseline Test (MBT) (Hestenes & Wells, 1992) (Halloun, 2006). Ανάλυση και περιγραφή της δομής του ερωτηματολογίου έγινε σε προηγούμενες έρευνες (Καράογλου κ.α., 2010).

Οι απαιτήσεις της έρευνας μας οδήγησαν στο παραπάνω τυποποιημένο τεστ που εμφανίζει ένα αξιόπιστο στιγμιότυπο των ιδεών των μαθητών στα βασικά θέματα της νευτώνειας μηχανικής. Η κάθε ερώτηση αντιμετωπίζει με σαφήνεια ένα μόνο ζήτημα και θεωρείται προσεγγίσιμη από το μέσο όρο των μαθητών της τάξης. Επιπρόσθετα οι ερωτήσεις πραγματεύονται καταστάσεις όπως η σύνθεση περισσότερων από δύο δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα, η «κατάσταση της αδράνειας» και ο συνυπολογισμός του ταυτόχρονου στον 3ο νόμο του Νεύτωνα που δεν απασχολούν ιδιαίτερα τους μαθητές στη διδακτική διαδικασία.

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας δόθηκαν στους μαθητές οι δέκα από τις ερωτήσεις του τεστ, οι οποίες ελέγχουν την ικανότητά τους να διαχειριστούν διαφορετικές καταστάσεις που ερμηνεύονται με τους τρεις νόμους του Newton καθώς και τον βαθμό στον οποίο έχουν καταφέρει να αναπτύξουν την κριτική γνώση.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με μορφή πινάκων για κάθε ζεύγος ερωτήσεων. Ο πρώτος πίνακας εμφανίζει τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων και των εναλλακτικών ιδεών σε κάθε νόμο του Newton, και ο δεύτερος παρουσιάζει την συνέπεια με την οποία οι μαθητές εφαρμόζουν τις αντιλήψεις τους για να απαντήσουν σε ερωτήσεις που αντιστοιχούν στον ίδιο νόμο.

Πρώτος νόμος του Newton

Η ερώτηση 1 αναφέρεται στις δυνάμεις που είναι υπεύθυνες, ώστε να κινείται με σταθερή ταχύτητα ένα διαστημόπλοιο που έχει τις μηχανές του σβηστές.

Με τις μηχανές του σβηστές ένα διαστημόπλοιο κινείται πλάγια με σταθερή ταχύτητα και σε ευθεία γραμμή ξεκινώντας από το σημείο P (Σχήμα 1).



Σχήμα 1

Ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις είναι υπεύθυνες για την κίνηση του διαστημοπλοίου όπως περιγράφεται παραπάνω πέρα από το σημείο P;

F1: Μια δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης ασκούμενη από μερικούς πλανήτες ή άλλα ουράνια αντικείμενα

F2: Μια δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης που οφείλεται στην αρχική ώθηση του διαστημοπλοίου πριν φτάσει στο P

F3: Μια εσωτερική ώθηση η οποία αναπτύσσεται σταδιακά από το διαστημόπλοιο καθώς αυτό κινείται πέρα από το P

A) F1

B) F2

Γ) F3

Δ) Ένας συνδυασμός από τις παραπάνω δυνάμεις.

Ε) Καμία. Το διαστημόπλοιο μπορεί να κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή χωρίς να οδηγείται από κάποιες εσωτερικές ή εξωτερικές δυνάμεις.

Η ερώτηση 2 αναφέρεται στις δυνάμεις που ενεργούν σε μια μπίλια που κινείται σε ένα κυκλικό ανοιχτό κανάλι στερεωμένο στην οριζόντια επιφάνεια ενός τραπέζιου χωρίς τριβές.

Ποια ή ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις ενεργούν στη μπίλια όταν κινείται κατά μήκος της τροχιάς της εκτός του καναλιού (Σχήμα 2);

F_1 : μια οριζόντια δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης

F_2 : μια κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω δύναμη ασκούμενη από τη Γη

F_3 : μια κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω δύναμη ασκούμενη από το τραπέζι

A) Η F_1

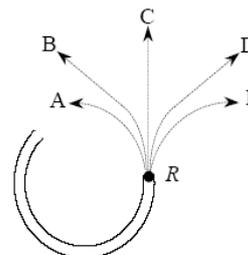
B) Η F_2

Γ) Οι F_1 και F_2

Δ) Οι F_2 και F_3

Ε) Οι F_1, F_2 και F_3

Σχήμα 2



Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις παραπάνω ερωτήσεις σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Newton ($\Sigma F=0$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί απαραίτητη την εφαρμογή μιας συνισταμένης δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Υψηλό είναι το ποσοστό των μαθητών που απαντούν σύμφωνα με την αντίληψη της επίδρασης δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης. Παραπλήσια υψηλά ποσοστά αποδοχής της παραπάνω ιδέας, που υπερβαίνουν το 50%, καταγράφονται από διεθνείς έρευνες, (Driver et al, 2000; Thornton & Sokoloff, 1998; VanHeuvelen, 1991; Halloun & Hestenes, 1985a; Champagne et al, 1980).

Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Μόλις το 7,0% των μαθητών απαντούν χρησιμοποιώντας την νευτώνεια ιδέα ταυτόχρονα και στις δύο ερωτήσεις, ενώ το 39,4% των μαθητών χρησιμοποιούν την εναλλακτική ιδέα και στις δύο ερωτήσεις. Συνολικά το 46,4% απαντά με συνέπεια στις ιδέες και στις δύο ερωτήσεις.

Στην ερώτηση 3 υπεισέρχονται οι αντιστάσεις στην κίνηση, και το βάρος του σώματος που θεωρείται από αρκετούς μαθητές ότι πρέπει να υπερνικηθεί για να υπάρχει κίνηση, οπότε τη διαφοροποιούν από τις δύο προηγούμενες ερωτήσεις.

Πίνακας 1. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 1 και 2

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	28,2	28,2
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	60,6	71,8

Πίνακας 2. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 1 και 2

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	7,0
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	39,4

Πίνακας 3. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 3 και 1

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 3	Ερώτηση 1
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	22,5	28,2
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	77,5	60,6

Πίνακας 4. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 3 και 1

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	8,4
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	42,2

Σπρώχνετε ένα κιβώτιο με σταθερή οριζόντια δύναμη F , με αποτέλεσμα το κιβώτιο να μετακινείται με σταθερή ταχύτητα v_0 πάνω σε οριζόντιο δάπεδο. Θεωρείστε τις ακόλουθες δύο δυνάμεις:

F_1 : Το βάρος του κιβωτίου

F_2 : Η οριζόντια δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση του κιβωτίου

Το μέτρο της δύναμης F που ασκείται στο κιβώτιο είναι:

A) Ίση με ο μέτρο της F_1

B) Μεγαλύτερο από το μέτρο της F_1

Γ) Ίσο με το μέτρο της F_2

Δ) Μεγαλύτερο από το μέτρο της F_2

E) Μεγαλύτερο από το μέτρο της καθεμιάς από τις F_1 ή F_2

Παρακάτω συγκρίνουμε τις απαντήσεις στις ερωτήσεις 3 και 1. Στον Πίνακα 3 φαίνονται τα ποσοστά των απαντήσεων των μαθητών. Ένας στους τέσσερις μαθητές που απαντούν σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα στην ερώτηση 3 υποστηρίζει επιπρόσθετα ότι η τιμή της F πρέπει να είναι μεγαλύτερη και από το βάρος του κιβωτίου.

Στον Πίνακα 4 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις την νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Αυξημένο είναι το ποσοστό των μαθητών (συνολικά 50,6%), σε σχέση με το προηγούμενο ζευγάρι απαντήσεων, που αναγνωρίζουν την ομοιότητα των καταστάσεων και απαντούν με συνέπεια. Παρατηρούμε ότι 8,4% των μαθητών απαντούν σωστά και στις δύο ερωτήσεις χρησιμοποιώντας τη νευτώνεια ιδέα, ενώ το 42,2% απαντούν με βάση την εναλλακτική ιδέα.

Στην ερώτηση 4 ζητείται η σχέση που πρέπει να έχουν τα μέτρα τεσσάρων δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε ένα δίσκο ώστε αυτός να κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Τέσσερις δυνάμεις F_1 , F_2 , F_3 , και F_4 ασκούνται μαζί σε ένα μικρό και λεπτό δίσκο του χόκεϊ (Σχήμα 3). Ο δίσκος κινείται με σταθερή ταχύτητα κατά μήκος μιας ευθείας στην ίδια κατεύθυνση με τη δύναμη F_4 . Τα διανύσματα στο παρακάτω σχήμα αντιπροσωπεύουν τις κατευθύνσεις των τεσσάρων δυνάμεων αλλά όχι το μέγεθος τους. Ποια από τις παρακάτω απαντήσεις αντιπροσωπεύει καλύτερα τη σχέση που έχουν μεταξύ τους τα μέτρα των δυνάμεων;

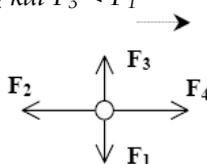
A) $F_4 = F_2$ και $F_3 = F_1$

B) $F_4 = F_2$ και $F_3 > F_1$

Γ) $F_4 > F_2$ και $F_3 > F_1$

Δ) $F_4 > F_2$ και $F_3 = F_1$

E) $F_4 > F_2$ και $F_3 < F_1$



Σχήμα 3

Πίνακας 5. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 3 και 4

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	22,5	26,8
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	77,5	67,6

Πίνακας 6. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 3 και 4

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F=0$)	7,0
Εναλλακτική ιδέα ($\Sigma F \neq 0$)	40,8

Διερευνούμε τη συνέπεια με την οποία απαντούν οι μαθητές στις ερωτήσεις 3 και 4. Στον Πίνακα 5 φαίνονται τα ποσοστά των απαντήσεων των μαθητών που απάντησαν στις παραπάνω ερωτήσεις σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Newton ($\Sigma F=0$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί απαραίτητη την εφαρμογή μιας συνισταμένης δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Στον Πίνακα 6 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Το 7,0% των μαθητών απαντούν χρησιμοποιώντας τη νευτώνεια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις, ενώ το 40,8% χρησιμοποιούν την εναλλακτική ιδέα για να απαντήσουν. Συνολικά αναγνωρίζουν την ομοιότητα και είναι συνεπείς στις ιδέες τους το 47,8% των μαθητών.

Δεύτερος νόμος του Newton

Στην ερώτηση 5 μια σταθερή δύναμη ασκείται από τις μηχανές του διαστημόπλοιου της ερώτησης 1 κάθετα στη διεύθυνση της αρχικής του κίνησης όταν φθάσει στο σημείο Q. Το ζητούμενο είναι ο τρόπος μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας του διαστημόπλοιου.

Η ταχύτητα του διαστημόπλοιου μετά την εφαρμογή μιας σταθερής δύναμης που ασκείται από τις μηχανές του κάθετα στη διεύθυνση της αρχικής του κίνησης (Σχήμα 4).

- A) Μειώνεται συνεχώς
- B) Παραμένει σταθερή
- Γ) Παραμένει σταθερή για λίγο και μειώνεται μετά
- Δ) Αυξάνεται συνεχώς
- Ε) Αυξάνεται για λίγο και μετά παραμένει σταθερή



Σχήμα 4

Πίνακας 7. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 5 και 6

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F \sim a$)	28,2	18,3
Εναλλακτική ιδέα ($F \sim u$)	66,2	66,2

Πίνακας 8. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 5 και 6

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα (ΣF~ a)	8,4
Εναλλακτική ιδέα (F~ u)	38

Η ερώτηση 6 διαπραγματεύεται ένα πρόβλημα παρόμοιο με αυτό της ερώτησης 3:

Σπρώχνετε το ίδιο κιβώτιο στο ίδιο πάτωμα με σταθερή οριζόντια δύναμη η οποία έχει διπλάσιο μέτρο από τη δύναμη F που ασκήσατε στο κιβώτιο στην ερώτηση 3. Το κιβώτιο κινείται:

- A) Με σταθερή ταχύτητα η οποία έχει διπλάσιο μέτρο από την ταχύτητα v_0 του κιβωτίου της προηγούμενης ερώτησης
- B) Με σταθερή ταχύτητα η οποία είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα v_0 του κιβωτίου της προηγούμενης ερώτησης αλλά όχι διπλάσια
- Γ) Για λίγο σταθερή ταχύτητα η οποία είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα v_0 του κιβωτίου της προηγούμενης ερώτησης, και μετά με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα
- Δ) Με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα
- Ε) Για λίγο με ταχύτητα που αυξάνεται, και στη συνέχεια με ταχύτητα σταθερού μέτρου

Στον Πίνακα 7 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 5 και 6 σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton (ΣF~a) και σύμφωνα με την εναλλακτική της αναλογίας δύναμης - ταχύτητας (F~u).

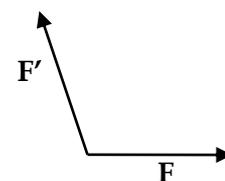
Στην ερώτηση 5 με την εφαρμογή της δύναμης οι περισσότεροι μαθητές υποστηρίζουν μια κατ' αρχή αύξηση της ταχύτητας και μετά σταθεροποίηση της με βάση την αναλογία δύναμης - ταχύτητας. Στην ερώτηση 6 που η δύναμη έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα υποστηρίζουν την επίτευξη σταθερής ταχύτητας ανάλογης με τη δύναμη από την πρώτη στιγμή της εφαρμογής της δύναμης. Η αντίληψη της αναλογίας της δύναμης με την ταχύτητα είναι πολύ ισχυρή και επιτείνεται από τη σύγχυση που επικρατεί μεταξύ των εννοιών της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Εμφανίζεται με συχνότητα που προσεγγίζει τη μία στις δύο απαντήσεις των σπουδαστών σε διεθνείς έρευνες, (Viennot, 1979; Osborne, 1984; Sequeira & Leite, 1991).

Στον Πίνακα 8 φαίνεται το ποσοστό των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Απαντήσεις που συμφωνούν με το δεύτερο νόμο του Newton και στις δύο ερωτήσεις δίνουν το 8,4% των μαθητών ενώ απαντά σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα το 38%. Συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζουν οι μαθητές σε ποσοστό 46,4%.

Στην ερώτηση 7 το ζητούμενο είναι ο τρόπος μεταβολής της ταχύτητας του σώματος.

Ένας λείος μικρός δίσκος του χόκεϊ αρχίζει να κινείται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο πάτωμα χωρίς τριβές με την επίδραση δύο σταθερών δυνάμεων που ασκούνται ταυτόχρονα σε αυτόν (Σχήμα 5). Όταν οι δύο σταθερές δυνάμεις F και F' ασκούνται ταυτόχρονα σε όλη τη διάρκεια της κίνησής του, η ταχύτητα του δίσκου:

- A) Ελαττώνεται συνεχώς
- B) Παραμένει σταθερή
- Γ) Παραμένει σταθερή για λίγο και αυξάνεται μετά
- Δ) Αυξάνεται συνεχώς
- Ε) Αυξάνεται για λίγο και παραμένει σταθερή μετά



Σχήμα 5

Πίνακας 9. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 6 και 7

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 7	Ερώτηση 6
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F \sim a$)	26,8	18,3
Εναλλακτική ιδέα ($F \sim u$)	62	66,2

Πίνακας 10. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 6 και 7

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F \sim a$)	7,0
Εναλλακτική ιδέα ($F \sim u$)	36,6

Πίνακας 11. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 5 και 7

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 7	Ερώτηση 5
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F \sim a$)	26,8	28,2
Εναλλακτική ιδέα ($F \sim u$)	62	66,2

Πίνακας 12. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 5 και 7

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα ($\Sigma F \sim a$)	9,9
Εναλλακτική ιδέα ($F \sim u$)	38

Στον Πίνακα 9 φαίνονται τα ποσοστά των απαντήσεων των μαθητών που είναι σύμφωνες με το 2^ο νόμο του Newton ή με την εναλλακτική ιδέα στις ερωτήσεις 6 και 7.

Στον Πίνακα 10 φαίνεται το ποσοστό των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Το 7,0% των μαθητών απαντούν και στις δύο ερωτήσεις χρησιμοποιώντας το δεύτερο νόμο του Newton ενώ το 36,6% χρησιμοποιούν και στις δύο ερωτήσεις την εναλλακτική ιδέα. Η συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους φτάνει το 43,6%.

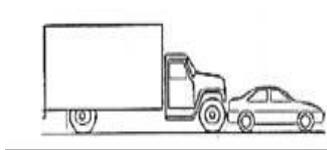
Στον Πίνακα 11 φαίνονται τα ποσοστά των απαντήσεων των μαθητών που είναι σύμφωνες με το 2^ο νόμο του Newton ή με την εναλλακτική ιδέα στις ερωτήσεις 5 και 7.

Στον Πίνακα 12 φαίνεται το ποσοστό των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Το 9,9% των μαθητών απαντούν σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Newton και στις δύο ερωτήσεις ενώ το 38% απαντούν και στις δύο σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα της αναλογίας της δύναμης με την ταχύτητα. Η συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους φθάνει το 47,9%.

Τρίτος νόμος Newton

Το πρόβλημα περιλαμβάνει ένα φορτηγό που σπρώχνει ένα επιβατικό αυτοκίνητο. Η ερώτηση 8 αναφέρεται στη στιγμή που το φορτηγό αρχίζει να σπρώχνει το επιβατικό αυτοκίνητο και διερευνά πότε και ποιο από τα αλληλεπιδρώντα οχήματα ασκεί δύναμη.

Στο Σχήμα 6 το φορτηγό ακουμπάει σε ένα ακινητοποιημένο αυτοκίνητο και αρχίζει να το σπρώχνει.



Σχήμα 6

- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 Γ) Το φορτηγό αρχικά ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο και μετά από λίγη ώρα το αυτοκίνητο αρχίζει να ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 Δ) Το αυτοκίνητο αρχικά ασκεί δύναμη στο φορτηγό και μετά από λίγη ώρα το φορτηγό αρχίζει να ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο
 E) Τα δύο οχήματα ασκούν δυνάμεις το ένα στο άλλο ταυτόχρονα

Στην ερώτηση 9 το φορτηγό αρχίζει να μετακινεί το αυτοκίνητο.

Όταν το φορτηγό αρχίζει να μετακινεί το αυτοκίνητο στον οριζόντιο δρόμο

- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 Γ) Τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα
 Δ) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη
 E) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το αυτοκίνητο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη

Στην ερώτηση 10 το φορτηγό αποκτά μια ταχύτητα, η οποία κατόπιν διατηρείται σταθερή. Καθώς το φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο με αυτή τη σταθερή ταχύτητα:

- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 Γ) Τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα
 Δ) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη
 E) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το αυτοκίνητο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη

Στον Πίνακα 13 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 8 και 9 σύμφωνα με τον 3^ο νόμο του Newton (τα δύο αλληλεπιδρώντα σώματα ασκούν ταυτόχρονα το ένα στο άλλο δυνάμεις με ίσα μέτρα) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που υπαγορεύει το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα να ασκεί δύναμη με μεγαλύτερη τιμή (στις εναλλακτικές ιδέες συμπεριλαμβάνονται και οι απαντήσεις που υποστήριζαν ότι το φορτηγό δεν δέχεται δύναμη από το αυτοκίνητο). Η αρχή της κυριαρχίας επικρατεί στις απαντήσεις των σπουδαστών σε πλήθος διεθνών ερευνών, (Minstrell, 1982; Maloney, 1984; Sabanand & Kess, 1990; Sequeira & Leite, 1991).

Πίνακας 13. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 8 και 9

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9
Νευτώνεια ιδέα	62	33,8
Εναλλακτική ιδέα (Αρχή της κυριαρχίας)	38	63,4

Πίνακας 14. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 8 και 9

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα	19,7
Εναλλακτική ιδέα	22,5

Πίνακας 15. Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 9 και 10

Απάντηση	Ποσοστό (%)	
	Ερώτηση 9	Ερώτηση 10
Νευτώνεια ιδέα	33,8	33,8
Εναλλακτική ιδέα (Αρχή της κυριαρχίας)	63,4	47,9

Πίνακας 16. Μαθητές που χρησιμοποίησαν την ίδια ιδέα στις ερωτήσεις 9 και 10

Απάντηση	Ποσοστό (%)
Νευτώνεια ιδέα	12,6
Εναλλακτική ιδέα	32,4

Στον Πίνακα 14 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Παρατηρούμε το 19,7% των μαθητών να υιοθετεί το ταυτόχρονο της εμφάνισης των δυνάμεων παράλληλα με την ισότητα των μέτρων τους κατά την αλληλεπίδραση των οχημάτων, ενώ το 22,5% δέχεται ότι το πιο ενεργό (το φορτηγό που προκαλεί την κίνηση και έχει τη μεγαλύτερη μάζα) ασκεί πρώτο δύναμη και μάλιστα μεγαλύτερου μέτρου. Συνολικά το 42,2% των μαθητών εφαρμόζει τις ιδέες του με συνέπεια.

Τέλος συγκρίνουμε τις απαντήσεις στις ερωτήσεις 9 και 10 για να διαπιστώσουμε το βαθμό συνέπειας στην εφαρμογή του νόμου δράσης - αντίδρασης ή στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την αλληλεπίδραση σε δύο διαφορετικές καταστάσεις κίνησης των σωμάτων.

Στον Πίνακα 15 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 9 και 10 σύμφωνα με τον 3^ο νόμο του Newton ή σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα.

Στον Πίνακα 16 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα. Το 12,6% των μαθητών απαντούν και στις δύο ερωτήσεις με βάση το νόμο δράσης - αντίδρασης, ενώ το 32,4% με βάση την αρχή της κυριαρχίας. Η συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών φτάνει το 45%.

Συμπεράσματα

Οι μαθητές της Α' Λυκείου έρχονται σε επαφή για πρώτη φορά με ποσοτικά προβλήματα στη φυσική. Ο τρόπος εργασίας και η βαρύτητα της σκέψης, περιστρέφεται γύρω από τη διαδικασία επίλυσης αυτών των προβλημάτων, με αποτέλεσμα συνήθως την αναζήτηση της κατάλληλης μαθηματικής εξίσωσης. Οι αρχές και οι νόμοι αποκτούν δευτερεύουσα και μόνο θεωρητική σημασία. Δεν χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα για την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων παρά μόνο στην τάξη μετά από προτροπή του διδάσκοντα. Οι εναλλακτικές ιδέες επιβεβαιώνονται στην καθημερινότητα τους και είναι θεμελιωμένες ισχυρότερα. Η σύγχυση που επιφέρει η χρήση εννοιών και όρων της φυσικής στην καθημερινή τους ζωή με διαφορετική όμως σημασία είναι εμφανής και επηρεάζει την κρίση τους. Η δύναμη θεωρείται ως κεκτημένο χαρακτηριστικό των σωμάτων που εξαρτάται από

τις διαστάσεις και τη μάζα τους. Είναι απαραίτητη για τη συνέχιση της κίνησης αλλά, συγχέεται με την ώθηση, και δεν αναγνωρίζεται σε όλες τις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των αντικειμένων. Ακόμη και η ισχυρή αντίληψη της αναλογίας της ταχύτητας με τη δύναμη κλονίζεται όταν διαφοροποιηθεί η κατεύθυνση της δύναμης. Οι πιθανές απαντήσεις φαντάζουν ίδιες, οι επιλογές των μαθητών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διατύπωση του προβλήματος, τις καταστάσεις που αναφέρονται σε αυτό και τη μορφή των προτεινόμενων απαντήσεων. Όσο λιγότερο εξοικειωμένοι είναι οι μαθητές με ένα πρόβλημα τόσο περισσότερο τείνουν να επιλέξουν μια απάντηση που εκφράζει εναλλακτική ιδέα και όχι νευτώνεια. Δεν σκέφτονται με βάση τις βαθύτερες φυσικές αρχές και τους νόμους που ενοποιούν τα προβλήματα αλλά κυρίως με τις περιγραφόμενες από το κάθε πρόβλημα καταστάσεις και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που τους οδηγούν σε ποικίλες κατηγοριοποιήσεις. Έτσι οι απαντήσεις τους δεν είναι τυχαίες δεν διακρίνονταν όμως και από συνέπεια.

Οι μαθητές του δείγματος δεν εφαρμόζουν με συνέπεια τις ιδέες τους είτε πρόκειται για τις επιστημονικά ορθές είτε για τις εναλλακτικές. Οι απαντήσεις τους εξαρτώνται από τη διατύπωση του προβλήματος, οπότε παρατηρείται σε διαφορετικές καταστάσεις που αποτελούν όμως εφαρμογές του ίδιου νόμου ή αρχής να μην αντιλαμβάνονται την ομοιότητα και να χρησιμοποιούν στη μια τον κατάλληλο νόμο ή αρχή και στην άλλη την εναλλακτική ιδέα. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι ερωτήσεις 7 και 4 που αποτελούν εφαρμογές του δεύτερου νόμου του Newton, όπου μόνο το 43,6% των μαθητών είναι συνεπείς στην εφαρμογή των ιδεών τους, και οι ερωτήσεις 8 και 9 που αποτελούν εφαρμογές του τρίτου νόμου του Newton, στις οποίες η συνέπεια των μαθητών φθάνει το 42,2%.

Η μορφή των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι περιγράφεται καταλληλότερα από τη θεωρία περί φαινομενολογικών αρχέτυπων στη γνωστική δομή των μαθητών που είναι ανεξάρτητα στοιχεία ασθενώς συνδεδεμένα με πιο σύνθετες νοητικές δομές τα οποία αναγνωρίζονται και χρησιμοποιούνται ανάλογα με το υφιστάμενο πλαίσιο (diSessa, 1993). Τα αποτελέσματα της έρευνας συμφωνούν με τις διαπιστώσεις του Knight (2006) που αναφέρει ότι οι γνώσεις των μαθητών δεν είναι οργανωμένες στη βάση φυσικών αρχών όπως είναι στους καθηγητές φυσικής, αλλά αποτελούνται από ένα πλήθος διακριτών γεγονότων και εξισώσεων που συνδέονται χαλαρά μεταξύ τους. Δεν διακρίνουν για παράδειγμα καταστάσεις που περιγράφονται από τον δεύτερο νόμο του Newton ώστε στη συνέχεια να ανακαλέσουν την κατάλληλη εξίσωση, αλλά αντιλαμβάνονται προβλήματα: κίνησης σωμάτων σε οριζόντιο ή κεκλιμένο επίπεδο, εφαρμογής δυνάμεων με φορείς παράλληλους στο επίπεδο κίνησης ή που σχηματίζουν τυχαία γωνία με αυτό, πτώσης σωμάτων κ.λπ., μη μπορώντας να αναγνωρίσουν τις ομοιότητες που συνδέουν τις παραπάνω καταστάσεις. Συνέπεια των παραπάνω είναι να μην αναπτύσσουν λειτουργική κατανόηση των νόμων και των αρχών της φυσικής, να μη μπορούν εφαρμόσουν με συνέπεια τις γνώσεις τους και να επιχειρηματολογήσουν για προβλήματα ή καταστάσεις που αντιστοιχούν στον ίδιο νόμο ή αρχή (Knight, 2006).

Αιτία της ασυνέπειας στις απαντήσεις των μαθητών φαίνεται να είναι η σύγχυση των προσωπικών τους αντιλήψεων με την επιστημονική γνώση που διδάσκονται στο σχολείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εκφράζουν ένα «υβριδικό μίγμα» εναλλακτικών και επιστημονικών ιδεών. Βασικές έννοιες όπως η ταχύτητα η επιτάχυνση και η δύναμη στις οποίες στηρίζεται η κινηματική και η νευτώνεια μηχανική προσεγγίζονται επιφανειακά χωρίς να δίνεται η βαρύτητα του φυσικού τους περιεχομένου. Η διαδικασία αναδιάρθρωσης και αναδιοργάνωσης των νοητικών τους μοντέλων που έχει ως αρχή την πρώτη επαφή με τη δύναμη και τη κίνηση στο Γυμνάσιο συγκροτεί ένα ευμετάβλητο τρόπο αντιμετώπισης των καταστάσεων. Θεωρούμε απαραίτητη την επαναπροσέγγιση και επαναδιαπραγμάτευση εννοιών και νόμων ώστε να γίνεται κατανοητή από το μαθητή η φυσική σημασία τους και οι

μεταξύ τους διαφορές και ομοιότητες που θα του επιτρέπουν τη διαχείριση, την κριτική αντιμετώπιση, και τη σύνδεσή τους σε μια φυσική διεργασία. Η ενεργοποίηση των νοητικών δομών που σχετίζονται με το φυσικό περιεχόμενο των καταστάσεων αναδεικνύει τους φυσικούς νόμους και τις αρχές στην αντιμετώπιση των φαινομένων.

Αναφορές

- Champagne, A., Klopfer L., & Anderson J. (1980). Factors influencing the learning of classic mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1079.
- diSessa A., Gillespie N., & Esterly J. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.
- Halloun I. (2006). Inventories of Basic Conceptions. www.Halloun.net
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985a). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Halloun I., & Hestenes D. (1985b). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316-1325.
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30(3), 159-166.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). Exploring the Changing Meaning of Force: From Coherence to Fragmentation. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 5-61.
- Itza-Ortiz, S., Rebello, S., & Zollman, D. (2004). Students' models of Newton's second law in mechanics and electromagnetism. *European Journal of Physics*, 25, 81-89
- Maloney, D. (1984). Rule-governed approaches to physics - Newton's third law. *Physics Education*, 19(1), 37-42.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the at rest condition of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10-14.
- Osborne, R. (1984). Children's dynamics. *The Physics Teacher*, 22(8), 504-508.
- Özdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351-361
- Sabanand, N., & Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. *The Physics Teacher*, 28(8), 530-533.
- Sequeira, M., & Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75, 45.
- Thornton, R., & Sokoloff, D. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture. *American Journal of Physics*, 66(4), 228-351.
- Thornton, R. (1997). Conceptual dynamics: Following changing student views of force and motion. In E.F. Redish & J.S. Rigden (eds.), *Thinking physics for teaching*, Proceedings of ICUPE, 399, New York, American Institute of Physics
- Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59(10), 891- 897.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal Science Education*, 1(2), 205-221.
- Arons A. (1990). *Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής*. Αθήνα: Εκδόσεις Τροχαλία.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (2000). *Οικο-Δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών*. Αθήνα: ΤΥΠΩΘΗΤΩ.
- Knight, R. (2006). *Πέντε εύκολα μαθήματα-Στρατηγικές για την επιτυχή διδασκαλία της Φυσικής*. Εκδόσεις Δίαυλος.
- Καραόγλου, Γ., Κώτσης, Κ., & Ρίζος, Ι. (2010). Η χρήση του I.B.C.M για την ανάδειξη του τρόπου εφαρμογής των νόμων του Newton στις συλλογιστικές δομές των μαθητών της Α' Λυκείου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στη Εκπαίδευση*, 3(1), 17-30.
- Καραόγλου, Γ., Κώτσης, Κ., & Ρίζος, Ι. (2010). Μελέτη των εναλλακτικών ιδεών στην έννοια της κίνησης, σε μαθητές της Α' Λυκείου, με τη χρήση του I.B.C.M. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στη Εκπαίδευση*, 3(2), 85-95.

Αναφορά στο άρθρο ως: Καραόγλου Γ., & Κώτσης Κ. (2013). Διερεύνηση της συνέπειας εφαρμογής των αντιλήψεων των μαθητών Λυκείου σε έννοιες της μηχανικής. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 6(1-2), 37-48.

<http://earthlab.uoi.gr/thete/index.php/thete>