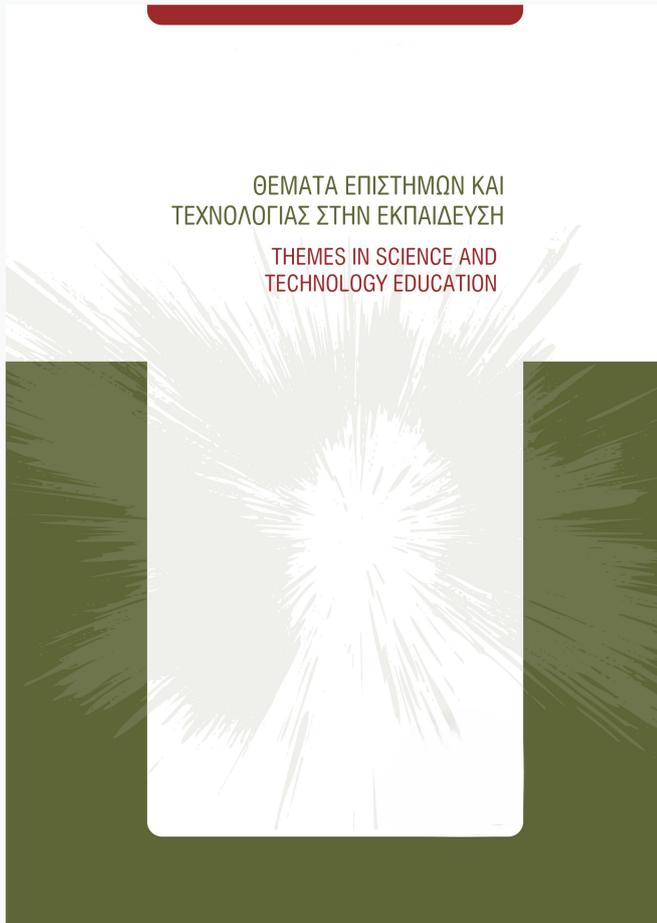


Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 3, Αρ. 1 (2010)



Μελέτη της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου με τη συμβολή του F.C.I.

Κώστας Ναούμ, Ελένη Σταυρίδου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ναούμ Κ., & Σταυρίδου Ε. (2010). Μελέτη της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου με τη συμβολή του F.C.I. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 3(1), 1-16. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44629>

Μελέτη της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου με τη συμβολή του F.C.I.

Κώστας Ναούμ¹, Ελένη Σταυρίδου²
konaoum@hotmail.com, ekstavri@eled.auth.gr

¹ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
²ΠΤΔΕ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη. Στη παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας για την εννοιολογική κατανόηση των εννοιών της κλασσικής μηχανικής και ειδικότερα η επίδρασή της στις διαισθητικές αντιλήψεις ελλήνων/ίδων μαθητών/ριών γυμνασίου και λυκείου που σχετίζονται με τη Νευτώνεια μηχανική. Στην εργασία περιγράφονται τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε με δείγμα 523 μαθητών/ριών σε γυμνάσια/λύκεια της περιοχής του νομού Σερρών. Βασικό στοιχείο στο οποίο στηρίχθηκε η έρευνα ήταν η χρήση του ερωτηματολογίου Force Concept Inventory (FCI) ως εργαλείου για την αξιολόγηση της κατανόησης των εννοιών της κλασσικής μηχανικής από τους/ις μαθητές/ριες που συμμετείχαν στην έρευνα. Η έρευνα έδειξε ότι το μοντέλο διδασκαλίας που εφαρμόζεται στα Ελληνικά σχολεία δε φαίνεται να πετυχαίνει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ η συντριπτική πλειοψηφία των παιδιών διατηρεί τις αντιλήψεις που είχε πριν τη διδασκαλία.

Λέξεις κλειδιά: FCI, κατανόηση εννοιών, διαισθητικές αντιλήψεις, δύναμη, κλασσική μηχανική, διδασκαλία, μάθηση

Εισαγωγή

Κεντρικό ερώτημα που απασχολεί όσους/ες ασχολούνται στο πεδίο της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, είτε ως εκπαιδευτικοί της πράξης, είτε ως ερευνητές/ριες, είτε ως θεωρητικοί, εξακολουθεί να είναι πώς μαθαίνει κάποιος/α Φυσικές Επιστήμες και με ποιο τρόπο θα γίνει πιο αποδοτική η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Όσον αφορά το πρώτο, ευρέως αποδεκτή θεωρείται η άποψη ότι η μάθηση των Φυσικών Επιστημών δε θεωρείται πλέον ως μια διαδικασία συσσώρευσης και αποστήθισης νέων γνώσεων, αλλά ως δημιουργία νέων νοητικών αναπαραστάσεων και οικοδόμηση νέων εννοιών, και ιδιαίτερα ως διαδικασία που οδηγεί είτε σε αλλαγή νοητικών σχημάτων είτε σε τροποποίηση και αντικατάσταση αναπαραστάσεων και αντιλήψεων, των οποίων η προέλευση και η λειτουργία ανάγεται σ' αυτό που ονομάζεται κοινός νους. (Σταυρίδου, 1995).

Στο θέμα των διαισθητικών αντιλήψεων των παιδιών για τις έννοιες της δύναμης και της κίνησης, έχουν γίνει αρκετές έρευνες που κατέληξαν σε συγκεκριμένες διαπιστώσεις. Συγκεκριμένα τα παιδιά φαίνεται να διατηρούν τις παρακάτω διαισθητικές αντιλήψεις.

Στο θέμα της κίνησης οι δυσκολίες παιδιών εστιάζονται στη μη διάκριση μεταξύ θέσης-ταχύτητας, στη μη διάκριση μεταξύ ταχύτητας-επιτάχυνσης και στη μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Trowbridge & McDermott, 1980; Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 2000).

Ευρεία διάδοση έχει και η διαισθητική αντίληψη για το impetus, που τα παιδιά το θεωρούν σαν είδος εσωτερικής δύναμης/ορμής που κάνει τα σώματα να κινούνται. Είναι αυτό το «κάτι» που πρέπει να υπάρχει μέσα σε ένα σώμα, έτσι ώστε αυτό να μπορεί να κινείται. Η

«έννοια» του *impetus*, διαφοροποιείται επί πλέον στα εξής: *impetus* που παρέχεται από κτύπημα, απώλεια/ανάκτηση του αρχικού *impetus*, κατανάλωση του *impetus*, βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του *impetus*, κυκλικό *impetus*. (Viennot, 1979; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Driver et al., 2000; Champagne, Klopfer & Anderson, 1980; Brown, 1989). Μεγάλη σημασία στη δημιουργία των παρανοήσεων σε μαθητές/τριες και διδάσκοντες/ουσες έχουν και οι έννοιες: «έμφυτη δύναμη» (*innate force of matter*), «η δύναμη της αδράνειας» (*force of inertia, force of inactivity*) που εισήχθησαν αρχικά από τον Νεύτωνα. Στο θέμα αυτό βρίσκουμε στα γραπτά του Νεύτωνα: «Η *vis insita*, η έμφυτη δύναμη της ύλης είναι μια αντίδραση με την οποία κάθε σώμα, όσο του είναι δυνατό, συνεχίζει την παρούσα κατάσταση, είτε αυτή είναι ακινησία, είτε μια ομοιόμορφη κίνηση προς τα μπροστά σε ευθεία γραμμή» (Hellingman, 1989).

Στο θέμα της δύναμης εμφανίζεται επίσης και η «έννοια» της ενεργού δύναμης που αναλύεται στις εξής απόψεις: μόνον τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις, κίνηση σημαίνει την άσκηση ενεργής δύναμης, όχι κίνηση σημαίνει όχι δύναμη, η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη δύναμη που εφαρμόζεται, η επιτάχυνση σημαίνει δύναμη που αυξάνεται, η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα και η ενεργή δύναμη εξασθενεί (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Viennot, 1979; Champagne et al., 1980; Clement, 1982; Jimoyiannis & Komis, 2003; Driver et al., 2000). Μια άλλη αντίληψη είναι αυτή που συγχέει την έννοια της δύναμης με την έννοια της ενέργειας (Viennot, 1979, Vosniadou et al., 2001).

Για τα ζεύγη δράσης αντίδρασης έχουν εντοπιστεί οι διαισθητικές αντιλήψεις που θεωρούν ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη και ότι το πιο ενεργό/ενεργητικό σώμα (δράστης) προκαλεί μεγαλύτερη δύναμη. Τα παραπάνω συνθέτουν μια γενικότερη αντίληψη που αναφέρεται στη κυριαρχία του ενός σώματος πάνω στο άλλο (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Terry & Jones, 1986; Maloney, 1984; Clement, 1982; Bao, Hogg & Zollman, 2002). Άλλη αντίληψη είναι αυτή που θεωρεί ότι οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης του γ' νόμου του Νεύτωνα ενεργούν στο ίδιο σώμα έτσι ώστε αυτό να διατηρείται σε ισορροπία, ενώ όταν αυτό κινείται τότε μια από τις δυο δυνάμεις υπερτερεί. (Terry & Jones, 1986; Jimoyiannis & Komis, 2003; Viennot, 1979; Κολοκοτρώνης & Σολομωνίδου, 2002).

Στη σχέση μεταξύ δύναμης - κίνησης έχουν εντοπιστεί οι εξής αντιλήψεις των παιδιών: η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση, ο συμβιβασμός των δυνάμεων καθορίζει την κίνηση, η δύναμη που δρα τελευταία καθορίζει την κίνηση. (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992). Σημαντική έκταση έχει η άποψη για την ύπαρξη της φυγόκεντρης δύναμης, αντίληψη που εμφανίζεται πολύ συχνά και στις απόψεις των εκπαιδευτικών για την κυκλική κίνηση, οι οποίοι θεωρούν ότι η φυγόκεντρη είναι ένα ξεχωριστό είδος δύναμης (Viennot, 1979; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Hellingman, 1989). Μεγάλη διάδοση έχει και η αντίληψη που θεωρεί ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις. Η γενικότερη αντίληψη για την έννοια της αντίστασης κατά την κίνηση ενός σώματος διαφοροποιείται στις επί μέρους αντιλήψεις που θεωρούν ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν και ότι κίνηση υπάρχει όταν η δύναμη υπερνικά την αντίσταση (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Clement, 1982).

Σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών έχουν οι αντιλήψεις που σχετίζονται με τη βαρύτητα και οι οποίες μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους αντιλήψεις που θεωρούν ότι, η πίεση του αέρα βοηθάει τη βαρύτητα, η βαρύτητα είναι μέσα στη μάζα των σωμάτων, τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα, η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων, η βαρύτητα δρα μετά την εξάντληση του *impetus* (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Champagne et al., 1980; Brown, 1989; Driver et al., 2000).

Μέθοδος

Στόχος

Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου καθώς και η εκτίμηση της διδασκαλίας που πραγματοποιήθηκε στα σχολεία (Ναούμ, 2007).

Ειδικότερα επιδιώκεται να μελετηθούν τα μαθησιακά αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν στο σχολείο για βασικές έννοιες και φαινόμενα της Μηχανικής, να διαπιστωθεί η έκταση και η διάρκεια των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών/ριών, καθώς και οι όποιες αλλαγές και βελτιώσεις πραγματοποιούνται στις ιδέες των μαθητών/ριών. Η πρόσφατη αλλαγή των προγραμμάτων σπουδών και των βιβλίων παρέχει ένα επιπλέον κίνητρο για τη μελέτη των μαθησιακών αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται μέσα στο νέο πλαίσιο.

Το ερωτηματολόγιο *Force Concept Inventory (FCI)*

Βασικό εργαλείο της έρευνας αποτέλεσε το ερωτηματολόγιο *Force Concept Inventory*, FCI (Hestenes et al., 1992; Halloun, Hake, Mosca & Hestenes, 1995). Το FCI μέσα από τριάντα ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών ανιχνεύει τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν τα παιδιά για τις Νευτώνειες έννοιες, αξιολογεί τη μάθηση εννοιών, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα μέσα από μια εφαρμογή πριν και μετά τη διδασκαλία να αξιολογηθούν τα μαθησιακά αποτελέσματα καθώς και η διδασκαλία που έχει προηγηθεί.

Οι ερωτήσεις του FCI απαιτούν μια υποχρεωτική επιλογή ανάμεσα σε μια ορθή και σε 4 εναλλακτικές προτεινόμενες απαντήσεις που εκφράζουν τις κοινές εναλλακτικές απόψεις που έχουν τα παιδιά για την έννοια αυτή. Το ενδιαφέρον σημείο είναι ότι οι λανθασμένες απαντήσεις παρέχουν περισσότερες πληροφορίες στον/ην διδάσκοντα/ουσα από ότι οι σωστές, κατά συνέπεια το FCI δεν είναι τόσο ένα τεστ ικανοτήτων, όσο ένα τρόπος διερεύνησης συστημάτων πεποιθήσεων των παιδιών.

Η συνολική επίδοση στο FCI χαρακτηρίζει το επίπεδο κατανόησης των Νευτώνειων εννοιών. Οι δημιουργοί του FCI θεωρούν ότι μια επίδοση ίση με το 60 - 65% της άριστης (18 σωστές απαντήσεις στις 30 ερωτήσεις του FCI), αποτελεί ένα εισαγωγικό κατώφλι που δηλώνει μια ικανοποιητική κατανόηση του Νευτώνειου τρόπου σκέψης, ενώ μια επίδοση πάνω από το 85% της άριστης επίδοσης δηλώνει μια πολύ καλή/άριστη κατοχή του Νευτώνειου τρόπου σκέψης

Οι βασικές κριτικές που έγιναν στο FCI στηρίχθηκαν σε απόψεις που θεωρούν ότι το FCI μετρά αποσπασματικές γνώσεις των παιδιών (Huffman & Heller, 1995) και ότι οι μεταβολές στο φυσικό πλαίσιο των ερωτήσεων μπορεί να επιδράσουν στην επίδοση των παιδιών (Stewart, Griffin, & Stewart, 2007). Όμως η ευρεία χρήση του FCI από πολλούς ερευνητές/ριες και διδάσκοντες/ουσες με τη συμμετοχή χιλιάδων μαθητών/ριών, έχει αποδείξει την αξιοπιστία και την εγκυρότητά του ως εργαλείου κατάλληλου για την ανίχνευση των παρανοήσεων των μαθητών/ριών στη κλασική μηχανική, καθώς και την ικανότητα του να αξιολογεί τη διδασκαλία.

Το FCI χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια, ως μέσο αξιολόγησης της διδασκαλίας, από ερευνητές/ριες που ασχολούνται με την ανάπτυξη μεθόδων διδασκαλίας που επιδιώκουν να προωθήσουν την εννοιολογική κατανόηση της κλασικής μηχανικής μέσα από αλληλεπιδραστικές, συμμετοχικές διδακτικές μεθόδους (Halloun & Hestenes, 1987; Hake, 1998; Savinainen & Scott, 2002; Crouch & Mazur, 2001; Fagen, Crouch & Mazur, 2002). Οι Savinainen and Viiri (2007) θεωρούν ότι το FCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν μέτρο της εννοιολογικής συνοχής (conceptual coherence) που παρουσιάζουν οι ιδέες των μαθητών/ριών στη Νευτώνεια μηχανική και ισχυρίζονται ότι τα ευρήματά τους δικαιώνουν

το όριο του 85% στην επίδοση στο FCI ως το κατώφλι για την άριστη κατανόηση της έννοιας της δύναμης.

Η δομή του FCI βασίζεται στην ανάλυση της έννοιας της δύναμης σε έξι εννοιολογικές διαστάσεις, οι οποίες θεωρούνται εξίσου απαραίτητες (κινηματική, πρώτος, δεύτερος, τρίτος νόμος του Νεύτωνα, αρχή της σύνθεσης/ υπέρθεσης, είδη δυνάμεων).

Ο παρακάτω Πίνακας 1 ταξινομεί τις πιο κοινές παρανοήσεις που διερευνώνται από το Inventory, με βάση τις έξι εννοιολογικές διαστάσεις.

Πίνακας 1. Οι πιο κοινές παρανοήσεις της μηχανικής

<i>0. Κινηματική</i>	
	K1. μη διαχωρισμός ταχύτητας – θέσης K2. μη διαχωρισμός ταχύτητας – επιτάχυνσης K3. μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων
<i>1. Impetus (ύπαρξη εσωτερικής κινούσας δύναμης/ «ορμής»)</i>	
	I1. παροχή impetus από «κτύπημα» I2. απώλεια/ ανάκτηση του αρχικού impetus I3. κατανάλωση/ εξάντληση του impetus I4. βαθμιαία/ καθυστερημένη ενίσχυση του impetus I5. κυκλικό impetus
<i>2. Ενεργή δύναμη</i>	
	EΔ1. μόνο τα ενεργά/ ενεργητικά σώματα ασκούν δυνάμεις EΔ2. κίνηση σημαίνει ενεργή/ ενεργητική δύναμη EΔ3. όχι κίνηση σημαίνει όχι δύναμη EΔ4. η ταχύτητα ανάλογη της δύναμης που ασκείται EΔ5. επιτάχυνση σημαίνει δύναμη που αυξάνεται EΔ6. η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα EΔ7. οι ενεργές/ ενεργητικές δυνάμεις εξαντλούνται
<i>3. Ζεύγη Δράσης/Αντίδρασης</i>	
	ΔΑ1. μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη ΔΑ2. τα περισσότερα ενεργά/ ενεργητικά σώματα ασκούν μεγαλύτερη δύναμη
<i>4. Ακολουθία/Ταξινόμηση των επιδράσεων</i>	
	ΑΕ1. η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση ΑΕ2. ο «συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση ΑΕ3. η δύναμη που ενήργησε τελευταία καθορίζει την κίνηση
<i>5. Άλλες επιδράσεις στην κίνηση</i>	
	ΦΔ. Φυγόκεντρη δύναμη Εμ. Τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις
	<i>Αντίσταση</i> Α1. η μάζα κάνει τα σώματα να σταματάν Α2. όταν η δύναμη υπερνικάει την αντίσταση έχουμε κίνηση Α3. η αντίσταση αντιτίθεται στη δύναμη/ impetus
	<i>Βαρύτητα</i> Β1. η πίεση του αέρα βοηθάει τη βαρύτητα Β2. η βαρύτητα είναι μέσα στα σώματα Β3. τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα Β4. η βαρύτητα αυξάνεται καθώς πέφτουν τα σώματα Β5. η βαρύτητα δρα αφού το impetus εξαντλείται

Στο παράρτημα παρατίθενται τέσσερις ερωτήσεις από τις τριάντα ερωτήσεις που αποτελούν το ερωτηματολόγιο του FCI, στις οποίες φαίνεται το πνεύμα των ερωτήσεων που βασίζεται στις κριτικές ικανότητες των μαθητών/ριών και όχι στην απομνημόνευση.

Δείγμα, διαδικασία

Το FCI το οποίο μεταφράστηκε στα ελληνικά και είναι διαθέσιμο στην ελληνική και σε άλλες γλώσσες (Modeling Instruction Program, 2010), δόθηκε σε 523 μαθητές/ριες γυμνασίων και λυκείων του νομού Σερρών (βολική δειγματοληψία), που είχαν παρακολουθήσει μαθήματα φυσικής με βάση το ισχύον πρόγραμμα σπουδών και με το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό μοντέλο. Τα σχολεία προέρχονταν από την αστική περιοχή της πόλης των Σερρών, καθώς και από τη γύρω ημιαστική/γεωργική περιοχή. Η έρευνα διεξήχθη τον Απρίλιο - Μάιο του 2007. Η επιλογή της συμμετοχής στην έρευνα και μαθητών/ριών από τη β' γυμνασίου, αν και σε αυτή τη τάξη τα παιδιά δεν είχαν διδαχθεί κλασσική μηχανική, έγινε ώστε να υπάρχει μια αρχική βάση αναφοράς για τις αντιλήψεις των μαθητών/ριών (Hake, 1998). Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, εξαρτημένη μεταβλητή αποτέλεσε η επίδοση κάθε μαθητή στο FCI. Άριστα θεωρήθηκαν οι 30 μονάδες (1 μονάδα ανά ερώτηση), ενώ άλλες μεταβλητές που τέθηκαν ήταν η τάξη φοίτησης, το φύλο του παιδιού, η περιοχή του σχολείου. Τέθηκαν επίσης και 30 επιπλέον μεταβλητές που αντιστοιχούσαν στις 30 ερωτήσεις του FCI, όπου η κάθε μια έπαιρνε σαν τιμή την επιλογή του μαθητή/ριας (A, B, C, D, E) για κάθε ερώτηση του τεστ. Με αυτό τρόπο, έγινε προσπάθεια για μια πολλαπλή προσέγγιση στο υλικό της έρευνας, που επέτρεψε την εξαγωγή ευρημάτων από διαφορετικές πλευρές, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια της ποσοτικής διάστασης.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται συνολικά αποτελέσματα από τις απαντήσεις των μαθητών/ριών και στις 30 ερωτήσεις του FCI. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με τρεις τρόπους: (α) με βάση τις σωστές επιλογές των απαντήσεων ανά τάξη φοίτησης και τη διάρκεια των μαθησιακών αποτελεσμάτων, β) με βάση τις λανθασμένες επιλογές (σημαντικότερες διαισθητικές αντιλήψεις) και γ) με βάση τη συνολική επίδοση των παιδιών στη δοκιμασία του FCI.

Ανάλυση με βάση τις σωστές απαντήσεις (νευτώνειες επιλογές)

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης με βάση τις σωστές απαντήσεις φαίνονται συγκεντρωτικά παρακάτω στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Πίνακας ανάλυσης αποτελεσμάτων με βάση τη σωστή επιλογή

Αριθμός ερώτησης	Ποσοστό (%) της σωστής επιλογής				Νευτώνεια έννοια που διαπραγματεύεται η ερώτηση
	β' γυμ.	γ' γυμ.	α' λυκ.	β' λυκ.	
1	12	22	49	29	είδη δυνάμεων / βαρύτητα
2	11	21	30	23	είδη δυνάμεων / βαρύτητα
3	12	19	26	13	είδη δυνάμεων / βαρύτητα
4	15	26	51	39	γ' νόμος / στιγμιαίες δυνάμεις
5	13	8	23	15	είδη δυνάμεων / παθητικές δυνάμεις επαφής, βαρύτητα
6	45	60	53	50	α' νόμος, / χωρίς δυνάμεις / σταθερή κατεύθυνση ταχύτητας
7	22	29	44	40	α' νόμος του Νεύτωνα / χωρίς επίδραση δύναμης/ κατεύθυνση ταχύτητας σταθερή

8	25	22	29	9	α' νόμος του Νεύτωνα / χωρίς δύναμη / κατεύθυνση ταχύτητας σταθερή
9	30	19	22	24	κινηματική / διανυσματική πρόσθεση ταχυτήτων
10	4	18	25	15	α' νόμος Νεύτωνα / χωρίς δύναμη / σταθερό μέτρο ταχύτητας
11	15	15	17	22	είδη δυνάμεων / δυνάμεις επαφής - παθητικές / δύναμη βαρύτητας
12	39	40	43	42	είδη δυνάμεων / βαρύτητα / παραβολική τροχιά
13	13	6	11	15	είδη δυνάμεων / βαρύτητα
14	10	8	20	22	είδη δυνάμεων / βαρύτητα / παραβολική τροχιά
15	14	13	30	14	γ' νόμος Νεύτωνα / δυνάμεις που επιδρούν συνεχώς
16	8	16	31	24	γ' νόμος Νεύτωνα / δυνάμεις που επιδρούν συνεχώς
17	12	20	21	11	αρχή της σύνθεσης / εξουδετέρωση δυνάμεων
18	24	20	23	19	κεντρομόλος δύναμη
19	22	17	18	22	κινηματική / διαχωρισμός ταχύτητας θέσης
20	18	13	16	14	κινηματική / διαχωρισμός ταχύτητας επιτάχυνσης
21	20	20	21	24	κινηματική / σταθερή επιτάχυνση προκαλεί παραβολική τροχιά
22	25	23	32	29	β' νόμος / σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση
23	14	10	12	13	α' νόμος του Νεύτωνα / χωρίς δυνάμεις / σταθερή κατεύθυνση ταχύτητας
24	21	19	39	32	α' νόμος του Νεύτωνα: / χωρίς δυνάμεις / σταθερό μέτρο ταχύτητας
25	15	20	25	23	α' νόμος του Νεύτωνα / δυνάμεις που εξουδετερώνονται
26	9	13	16	17	β' νόμος του Νεύτωνα/σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση
27	24	27	29	37	είδη δυνάμεων/δυνάμεις επαφής / η τριβή αντιτίθεται στη κίνηση
28	13	17	38	33	γ' νόμος του Νεύτωνα / αυθόρμητες-στιγμιαίες (impulsive) δυνάμεις
29	9	29	44	46	είδη δυνάμεων / παθητικές δυνάμεις επαφής, βαρύτητα
30	18	11	18	6	είδη δυνάμεων / βαρύτητα, αντίσταση του αέρα

Από τον Πίνακα 2 φαίνεται ότι με εξαίρεση τις ερωτήσεις 1, 4, 6, 7 και 29, σε καμιά άλλη ερώτηση η σωστή επιλογή δε πλησιάζει το 50% των επιλογών των μαθητών/ριών στην α' λυκείου, που είναι και η τάξη που πετυχαίνει τις καλύτερες επιδόσεις. Στη συντριπτική πλειοψηφία των ερωτήσεων το ποσοστό της σωστής επιλογής δε ξεπερνάει ποτέ το 30% (20 ερωτήσεις). Το στοιχείο αυτό προφανώς δηλώνει ότι στη πλειοψηφία των περιπτώσεων οι εναλλακτικές απαντήσεις κυριάρχησαν συντριπτικά σε σχέση με τις νευτώνειες επιλογές των ερωτήσεων.

Από τη μελέτη του παραπάνω πίνακα είναι φανερό η τάση μείωσης των σωστών απαντήσεων από την α' στη β' λυκείου, καθώς και η τάση αύξησης των σωστών απαντήσεων

από το γυμνάσιο στην α' λυκείου. Αυτό το στοιχείο δηλώνει την ύπαρξη μαθησιακών αποτελεσμάτων από τη διδασκαλία που γίνεται στην α' λυκείου, όμως αυτά τα μαθησιακά αποτελέσματα δε φαίνεται να χαρακτηρίζονται από διάρκεια.

Ανάλυση με βάση τις σημαντικότερες διαισθητικές αντιλήψεις

Στην ανάλυση που ακολουθεί, γίνεται προσπάθεια να μελετηθούν τα αποτελέσματα με βάση τις διαισθητικές αντιλήψεις που εκφράζονται από τις εναλλακτικές επιλογές που υπάρχουν σε κάθε ερώτηση του FCI.

Πίνακας 3. Πίνακας ανάλυσης αποτελεσμάτων με βάση τις λανθασμένες επιλογές

Ερώτηση	Ποσοστό μαθητών % που εκφράζει την αντίληψη				Διαισθητική αντίληψη που ελέγχει η ερώτηση
	β γυμ	γ γυμ	Α λυκ	Β λυκ	
1	71	50	40	60	Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα
2	60	55	44	54	
3	62	50	40	57	Η επιτάχυνση προϋποθέτει μια δύναμη που αυξάνεται
13	33	44	36	38	
19	20	25	23	24	Μη διάκριση ταχύτητας - επιτάχυνσης
19	56	56	57	54	Μη διάκριση θέσης - ταχύτητας
20	43	42	40	39	
9	11	29	17	20	Μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων
4	65	62	39	53	Το σώμα μεγαλύτερης μάζας ασκεί και μεγαλύτερη δύναμη (γ' νόμος)
15	23	16	11	5	
16	18	15	12	8	
28	15	37	27	44	
15	29	39	35	47	Το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί και μεγαλύτερη δύναμη (γ' νόμος)
16	29	33	26	44	
5	77	78	64	62	Κυκλικό impetus (εσωτερική «δύναμη», «ορμή» που είναι μέσα στα σώματα και τα κάνει να κινούνται σε κυκλική τροχιά)
6	37	32	33	39	
7	41	40	40	30	
18	66	68	61	73	
8	26	21	19	25	Βαθμιαία-καθυστερημένη ενίσχυση του impetus (impetus: είδος «δύναμης», «ορμής», υπεύθυνη για την κίνηση των σωμάτων που βρίσκεται μέσα στα σώματα και μπορεί να μεταφέρεται από σώμα σε σώμα, να αυξάνεται, να εξαντλείται ή να εξασθενεί.)
10	47	40	48	57	
21	16	15	9	23	
26	16	11	18	4	
27	10	6	10	3	
11	56	66	57	57	Impetus που προσφέρθηκε στο σώμα από κτύπημα
30	62	76	70	92	
10	30	19	11	10	Εξάντληση του impetus
12	39	43	38	46	
13	73	85	78	77	
24	39	51	39	43	
27	4	18	24	25	
7	11	13	13	9	Απώλεια - ανάκτηση του αρχικού impetus .
8	30	18	24	23	
21	7	17	12	11	
23	63	65	59	65	
14	80	85	70	68	

27	34	57	46	56	τα σώματα να σταματάν
8	17	39	28	42	Η τελευταία δύναμη που ενήργησε καθορίζει την
9	25	25	30	39	κίνηση
21	28	31	32	25	
23	18	23	28	21	
17	46	58	59	67	Η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση
15	25	27	15	25	Μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις
16	38	25	21	18	
17	24	11	10	14	
28	37	23	18	15	
30	6	3	2	0	
22	22	18	20	20	Η ταχύτητα είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη
26	31	27	32	42	δύναμη
22	28	41	29	34	Η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική
26	12	24	15	15	ταχύτητα
25	46	45	44	52	Υπάρχει κίνηση όταν η δύναμη υπερνικά την
					αντίσταση

Στην ανάλυση που ακολουθεί, θεωρήθηκαν σημαντικές εκείνες οι αντιλήψεις που παρέμειναν σε υψηλά ποσοστά σε όλες τις τάξεις, περί του 40%, ενώ το ποσοστό τους αυξήθηκε στη β' λυκείου σε σχέση με την προηγούμενη τάξη.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι σημαντικότερες εναλλακτικές αντιλήψεις των παιδιών εντοπίζονται:

(α) Στο γ' νόμο/αρχή της κυριαρχίας, που αποτελεί ίσως και μια από τις ισχυρότερες διαισθητικές αντιλήψεις (ερωτήσεις 4,15,16,28). Οι παράγοντες στους οποίους, σύμφωνα με τα παιδιά, βασίζεται η κυριαρχία του ενός σώματος πάνω στο άλλο, είναι η μάζα και η 'ενεργότητα' (ταχύτητα, επιτάχυνση), (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Terry & Jones, 1986; Maloney, 1984; Clement, 1982; Bao et al., 2002). Ένα στοιχείο που διαφαίνεται από την παρούσα εργασία, είναι ότι τα παιδιά του δείγματος θεωρούν την ενεργότητα του σώματος ισχυρότερο παράγοντα από ότι την μάζα, όταν εφαρμόζουν την αρχή της κυριαρχίας (ερωτήσεις 15 και 16).

(β) Στο *impetus*, (ερωτήσεις 5,6,7,8,10,11,12,13,18,21,23,24,26,27,30), που κάνει εμφανή την ισχύ αυτής της διαισθητικής αντίληψης, καθώς και την ευρεία διάδοση που έχει (Hestenes et al., 1992). Οι σημαντικότερες προαντιλήψεις σχετικά με το *impetus* που φάνηκε να διατηρούν οι μαθητές/ριες του δείγματος ήταν: η ύπαρξη κυκλικού *impetus*, η βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του *impetus*, η μεταφορά *impetus* σε ένα σώμα με κτύπημα, και ότι το *impetus* αποτελεί μια φυσική ποσότητα που εξαντλείται (Viennot, 1979; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Driver et al., 2000; Champagne et al., 1980; Brown, 1989). Χαρακτηριστική η ερώτηση 30, όπου το ποσοστό των παιδιών που θεωρεί ότι το *impetus* μεταβιβάζεται στο σώμα μετά από ένα κτύπημα φτάνει μέχρι το 90%.

(γ) Στις διάφορες επιδράσεις της δύναμης στη κίνηση των σωμάτων (ερωτήσεις 8,9,14,15,16,17,21,22,25,26,27,28,30), πράγμα που δηλώνει πιθανή ανεπάρκεια στη συνολική διδακτική προσέγγιση της έννοιας της δύναμης, που αποτελεί ίσως και την βασικότερη έννοια της Νευτώνειας μηχανικής. Οι σημαντικότερες διαισθητικές αντιλήψεις εντοπίζονται στις αντιλήψεις που θεωρούν ότι: στην περίπτωση που ενεργούν πολλές δυνάμεις σε ένα σώμα, τότε η κίνηση του σώματος καθορίζεται από τη μεγαλύτερη δύναμη ή από τη δύναμη που ενήργησε τελευταία, ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δύναμη, κίνηση υπάρχει όταν η δύναμη υπερνικά την αντίσταση και ότι η δύναμη προκαλεί

επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992). Αξιοσημείωτο πάντως είναι το γεγονός ότι, σε κάθε περίπτωση που υπήρχε κίνηση τα παιδιά αναζητούσαν μια «δύναμη» που θα τη δικαιολογούσε και θα αποτελούσε την αιτία του φαινομένου της κίνησης. Πράγμα που κάνει εμφανή τη γενικότερη παρανόηση που κρύβεται από κάτω και θεωρεί ότι «η κίνηση προϋποθέτει την ύπαρξη δύναμης» (*motion implies a force*) (Clement, 1982). Πολύ σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών για τη δύναμη φαίνεται να έχει η αντίληψη ότι «η μεγαλύτερη δύναμη που ενεργεί σε ένα σώμα καθορίζει και την κίνησή του» (ερώτηση 17). Σε αυτήν την ερώτηση έχουμε και το φαινόμενο η συγκεκριμένη αντίληψη να ενισχύεται με την πάροδο του χρόνου, πράγμα που πιθανώς να υποκρύπτει και μια πιθανώς αρνητική επίδραση της διδασκαλίας που προηγήθηκε.

(δ) Στην κινηματική, όπου εμφανίζεται σύγχυση των εννοιών ταχύτητα - θέση, ταχύτητα - επιτάχυνση (ερωτήσεις 9, 19 και 20), που πιθανώς οφείλεται στην χαμηλή διαφοροποίηση που έχουν παρουσιάσει οι ιδέες των παιδιών στην βασική έννοια της κίνησης και εξηγείται πιθανώς από την περιορισμένη εργαστηριακή εμπειρία που παρέχεται στα παιδιά στα θέματα αυτά (Hestenes et al., 1992; Trowbridge & McDermott, 1980; Driver et al., 2000).

(ε) Στην έννοια της βαρύτητας (ερωτήσεις 1 και 2), όπου κυριαρχούν οι απόψεις που θεωρούν ότι: τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα και ότι η βαρύτητα αυξάνεται με τη πτώση του σώματος (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes et al., 1992; Champagne et al., 1980; Brown, 1989; Driver et al., 2000).

Με βάση τα στοιχεία που εντοπίστηκαν για τη συμπεριφορά των παρανοήσεων (μέγεθος, διάρκεια στο χρόνο) που διατηρούν τα παιδιά προκύπτουν κάποια συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της εννοιολογικής αλλαγής (Dykstra et al., 1992) που επιδιώκεται από τη διδασκαλία:

Δε φαίνεται να εντοπίστηκαν στοιχεία που να δηλώνουν σημαντική διαφοροποίηση εννοιών, αφού βρέθηκε ότι τα παιδιά διατηρούν αρκετές συγχύσεις γύρω από βασικές έννοιες όπως θέση-ταχύτητα, ταχύτητα-επιτάχυνση, με συνέπεια να μη μπορούν να αντιληφθούν την ανάδειξη των εννοιών της ταχύτητας και επιτάχυνσης από την γενικότερη ιδέα της κίνησης. Επίσης διαπιστώθηκαν αρκετές συγχύσεις μεταξύ εννοιών όπως δύναμη-ενέργεια, δύναμη-ταχύτητα, δύναμη-ορμή, επιτάχυνση βαρύτητας-ταχύτητα πτώσης κ.α. Δεν υπήρξαν στοιχεία που να δηλώνουν διαδικασίες επέκτασης κατηγορίας, π.χ η συντριπτική πλειοψηφία των παιδιών βρέθηκε να μην αντιλαμβάνεται την ισοδυναμία μεταξύ των καταστάσεων ηρεμίας και της σταθερής ταχύτητας για την κλασική μηχανική (α' νόμος Νεύτωνα).

Η διαδικασία της επανακατανόησης/αναδόμησης εννοιών (*reconceptualization*), που είναι η πιο σημαντική και μπορεί να αντιστοιχηθεί με την φάση της ριζικής αναδιοργάνωσης (Vosniadou & Brewer, 1992), δε φάνηκε να εντοπίστηκε σε αξιόλογο βαθμό, αφού τα περισσότερα παιδιά φαίνεται να διατήρησαν τις προαντιλήψεις που διατηρούσαν πριν τη διδασκαλία, π.χ το «δύναμη σημαίνει κίνηση» δεν άλλαξε στο «δύναμη σημαίνει επιτάχυνση», το «η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων» δεν άλλαξε στο «η βαρύτητα παραμένει σταθερή κατά την πτώση των σωμάτων», το «η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση» δεν άλλαξε στο «η συνισταμένη δύναμη καθορίζει την κίνηση» και πολλά άλλα που προκύπτουν από τη μελέτη των σημαντικότερων παρανοήσεων που έχει προηγηθεί στη παρούσα εργασία. Τελικά, μάλλον δεν υπήρξε σημαντική εννοιολογική αλλαγή κάτω από την επίδραση της διδασκαλίας στους/στις μαθητές/ριες στο πεδίο της κλασικής μηχανικής. Η συντριπτική πλειοψηφία των παιδιών έδειξε να μην αντικαθιστά τις διαιθητικές αντιλήψεις που διατηρεί για τις βασικές έννοιες της κλασικής μηχανικής. Φαίνεται ότι κυρίαρχο ρόλο σ' αυτό έπαιξε ο τρόπος διδασκαλίας του συγκεκριμένου γνωστικού αντικείμενου, που καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα σχολικά εγχειρίδια και

τη διδακτική μεθοδολογία. Τα παραπάνω ευρήματα βρίσκονται σε συμφωνία με ευρήματα άλλων σχετικών ερευνών (Αλιμήσης, 2001; Jimoyiannis & Komis, 2003; Hestenes et. al., 1992; Hake, 1998)

Ανάλυση με βάση το βαθμό επίδοσης στο FCI

Επίδραση της φοίτησης

Ο Πίνακας 4 δείχνει την μεταβολή του μέσου όρου της επίδοσης σε σχέση με τη τάξη φοίτησης.

Πίνακας 4. Επίδοση στο FCI σε συνάρτηση με τη τάξη φοίτησης (άριστα το 30)

	Αριθμός παιδιών (N)	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
β' γυμνασίου	98	5,439	2,071	1	11
γ' γυμνασίου	157	6,013	2,447	1	14
α' λυκείου	188	8,628	3,695	1	25
β' λυκείου	79	7,19	3,501	1	21

Από τον Πίνακα 4 φαίνεται μια αύξηση στην επίδοση των παιδιών με την τάξη, αύξηση που ανακόπτεται όμως στη β' λυκείου, όπου παρατηρείται μια μείωση σε σχέση με την προηγούμενη τάξη. Είναι εμφανές ότι μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζεται στο τέλος της α' λυκείου. Πάντως σε κάθε περίπτωση οι τιμές είναι πολύ κάτω από αυτό που θεωρούν οι δημιουργοί του FCI σαν το κατώφλι της κατανόησης στις βασικές έννοιες της μηχανικής και θεωρείται το 60% της άριστης επίδοσης ή αλλιώς οι 18 μονάδες, με άριστα το 30.

Από την ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων προέκυψε, ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιδόσεων των μαθητών/ριών στους εξής συνδυασμούς (α'λυκ - β'λυκ , α'λυκ-β' γυμ, α'λυκ - γ'γυμ, β'λυκ - γ'γυμ, β'λυκ - β'γυμ,). Κατά συνέπεια θεωρούμε ότι η επίδραση της διδασκαλίας είχε κάποια επίδραση στην επίδοση των παιδιών στο λύκειο, ενώ η διδασκαλία της κλασσικής μηχανικής στο γυμνάσιο (γ' γυμνασίου) δεν είχε σημαντική επίδραση στις επιδόσεις των παιδιών. Όσον αφορά στην επίδοση των παιδιών της β' γυμνασίου, το 18% (Μ.Ο. βαθμολογίας 5,44 με άριστα το 30) που πετυχαίνουν, θεωρείται κοντά στο επίπεδο των τυχαίων επιλογών, και λίγο πιο κάτω από την επίδοση των αντίστοιχων παιδιών των ΗΠΑ (26%). Το 20% που πετυχαίνουν οι μαθητές/ριες της γ' γυμνασίου, θεωρείται ανεπαρκές, αφού μετά τη διδασκαλία που προηγήθηκε, η επίδοση τους θεωρείται ότι χαρακτηρίζεται από τυχαίες επιλογές, ενώ η διαφορά του 2% από τη προηγούμενη τάξη δε μπορεί να θεωρηθεί σημαντική βελτίωση. Το 29% (8,63/30) που πετυχαίνουν τα παιδιά της α' λυκείου, δε θεωρείται ικανοποιητικό αν και υπάρχει αισθητή βελτίωση σε σχέση με το γυμνάσιο, αφού είναι πολύ κάτω από το κατώφλι επαρκούς κατανόησης των βασικών εννοιών της νευτώνειας μηχανικής (60%). Πάντως και η επίδοση των παιδιών στις ΗΠΑ μετά από μια παραδοσιακή δασκαλοκεντρική διδασκαλία, βρέθηκε να είναι στο 42%, επίσης σημαντικά πιο κάτω από το κατώφλι επαρκούς κατανόησης. Στη β' λυκείου ο μέσος όρος επίδοσης είναι 24% (7,19/30), στοιχείο που δηλώνει ότι δεν υπάρχει διάρκεια στα σχετικά περιορισμένα μαθησιακά αποτελέσματα που εμφανίζονται στην α' λυκείου. Μόνο τρία παιδιά από τα 79 (3,8% παιδιών) πετυχαίνουν επίδοση από το 15 (50% της άριστης επίδοσης) και πάνω, ενώ μόνο ένα ξεπερνάει το κατώφλι κατανόησης και πετυχαίνει 21 μονάδες στο FCI. Εδώ πρέπει να συνυπολογιστεί και το γεγονός ότι σημαντική μερίδα των παιδιών της β' λυκείου παρακολουθεί Φυσική σαν μάθημα κατεύθυνσης (θετική, τεχνολογική), πράγμα που θα έπρεπε να δώσει κάποιες

επιδόσεις που θα πλησίαζαν το επίπεδο της πολύ ικανοποιητικής/άριστης κατανόησης των εννοιών της κλασσικής μηχανικής (85% της άριστης επίδοσης, 25/30 μονάδες).

Επίδραση του φύλου

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5 προκύπτει ότι η επίδραση του φύλου στην επίδοση της δοκιμασίας του FCI γίνεται εντονότερη υπέρ των αγοριών, όσο προχωρά η τάξη και η διδασκαλία της φυσικής. Με τη βελτίωση στη μέση τιμή της επίδοσης στο FCI φαίνεται να αυξάνονται και οι διαφορές στις επιδόσεις των αγοριών και κοριτσιών. Από την εφαρμογή του T-test ανά τάξη προέκυψε ότι όλες οι διαφορές που παρατηρούνται λόγω του φύλου είναι στατιστικά σημαντικές, εκτός από την περίπτωση της β' λυκείου ($sign.= 0.123 > 0.05$), (Δαφέρμος, 2005).

Πίνακας 5. Επίδραση του φύλου στην επίδοση στο FCI

	Αγόρια μέσος όρος	Κορίτσια μέσος όρος	Διαφορά μέσων όρων
Β' γυμνασίου	6,00 (N=44)	4,96 (N=53)	1,04
Γ' γυμνασίου	6,67 (N=71)	5,51 (N=87)	1,17
Α' λυκείου	9,76 (N=79)	7,81 (N=109)	1,95
Β' λυκείου	7,91 (N=33)	6,67 (N=46)	1,24

Επίδραση της κοινωνικοοικονομικής προέλευσης των μαθητών/ριών

Από τον Πίνακα 6 προκύπτει ότι η επίδραση της κοινωνικοοικονομικής προέλευσης των μαθητών/ριών στις επιδόσεις στη δοκιμασία του FCI αυξάνεται με την τάξη φοίτησης και η διαφορά μεταξύ των μέσων όρων διευρύνεται υπέρ των παιδιών που προέρχονται από αστικό περιβάλλον. Το στοιχείο αυτό φαίνεται να ενισχύει την άποψη ότι το μοντέλο διδασκαλίας που εφαρμόζεται στο σχολείο συντελεί στην διεύρυνση των προϋπαρχουσών κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων μεταξύ των παιδιών, οι οποίες φαίνεται να μην είναι τόσο εμφανείς στη τάξη αφετηρίας της παρούσας έρευνας (β' γυμνασίου), στην οποία τα παιδιά και των δυο ομάδων φαίνεται να έχουν την ίδια επίδοση στη δοκιμασία του FCI.

Από την εφαρμογή του T-test, προκύπτει ότι οι διαφορές που παρατηρούνται στη γ' γυμνασίου και στη β' λυκείου είναι στατιστικά σημαντικές. Στην α' λυκείου η διαφορά θεωρείται οριακά, στατιστικά μη σημαντική ($sign.=0,063 > 0,05$).

Πίνακας 6. Επίδραση της περιοχής προέλευσης του σχολείου

	Αστική	Ημιαστική, γεωργική	Διαφορά μέσων όρων
Β' γυμνασίου	5,45 (N=38)	5,43 (N=60)	0,014
Γ' γυμνασίου	6,32 (N=105)	5,45 (N=53)	0,87
Α' λυκείου	8,92 (N=140)	7,77 (N=48)	1,15
Β' λυκείου	8,45 (N=47)	5,34 (N=32)	3,10

Ευρήματα από την εφαρμογή του FCI στις ΗΠΑ

Η εικόνα όμως που θα σχηματιστεί θα είναι πληρέστερη αν παρατεθούν τα αποτελέσματα με τα ευρήματα εφαρμογών του FCI στις ΗΠΑ από το 1994 έως το 2000 σε πάνω από 20.000 άτομα και 200 γυμνάσια, με υπεύθυνο για τη διεξαγωγή της έρευνας τον Hestenes, (modeling.asu) καθώς και από μια μεγάλη εφαρμογή του FCI από τον Hake που περιέλαβε πάνω από 5.000 άτομα (Hake, 1998). Μερικά από τα ευρήματα είναι τα ακόλουθα:

Πριν διδαχθούν φυσική, οι μαθητές/ριες διατηρούν απλοϊκές απόψεις στο πεδίο της μηχανικής που είναι ασύμβατες με τις Νευτώνειες έννοιες από πολλές απόψεις. Τέτοιες

απόψεις/πεποιθήσεις αποτελούν σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για τις επιδόσεις των παιδιών στο μάθημα της φυσικής, ενώ ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας προκαλεί πολύ μικρές αλλαγές σ' αυτές τις πεποιθήσεις. Το αποτέλεσμα της διδασκαλίας είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από τις ικανότητες του/ης διδάσκοντα/ουσας (γνώσεις, εμπειρία και στυλ διδασκαλίας).

Μαθητές/ριες με επίδοση στο τεστ κάτω από το 60% (κατώφλι επαρκούς κατανόησης), δεν έχουν πετύχει την απαραίτητη κατανόηση των βασικών εννοιών και αρχών της κλασικής μηχανικής και δεν έχουν την ικανότητα να τις χρησιμοποιήσουν στους συλλογισμούς τους καθώς και στην επίλυση προβλημάτων. Η επίδοση που ξεπερνάει το 85% στο FCI θεωρείται ότι χαρακτηρίζει την πολύ ικανοποιητική έως άριστη κατανόηση των Νευτώνειων εννοιών.

Ο μέσος όρος επίδοσης για παιδιά που ξεκινάν την γυμνασιακή φυσική στις ΗΠΑ είναι περίπου 26%, λίγο παραπάνω από το 20% που θεωρείται το επίπεδο τυχαίων απαντήσεων (random guessing). Ο μέσος όρος επίδοσης μετά από παραδοσιακή δασκαλοκεντρική διδασκαλία είναι 42%. Κατά συνέπεια, τα δύο τρίτα των μαθητών/ριών δεν καταφέρνουν να πετύχουν ένα ελάχιστο επίπεδο κατανόησης της κλασικής μηχανικής με τη διδασκαλία που τους έγινε στο γυμνάσιο.

Μετά την παρακολούθηση ειδικών προγραμμάτων από τους/ις καθηγητές/ριες, έτσι ώστε να εφαρμόζουν διδακτικές προσεγγίσεις βασιζόμενες στη μοντελοποίηση και την ενεργό συμμετοχή των παιδιών, η επίδοση των μαθητών/ριών έφτασε το 69%.

Υπάρχει σημαντική επίδραση του φύλου υπέρ των αγοριών, στις περιπτώσεις όπου η διδασκαλία διεξάγεται με τον παραδοσιακό τρόπο.

Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η διδασκαλία της κλασικής μηχανικής στο γυμνάσιο και στο λύκειο, με βάση το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό μοντέλο που βασίζεται σε διαλέξεις και επιδείξεις, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη τις προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών, είχε πολύ περιορισμένα μαθησιακά αποτελέσματα. Όπου αυτά υπήρξαν δεν χαρακτηρίστηκαν από διάρκεια, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξαν και αρνητικές επιδράσεις της διδασκαλίας. Το σύνολο σχεδόν, (98% των παιδιών) των μαθητών/ριών του δείγματος μετά το τέλος των μαθημάτων μηχανικής (α' λυκείου) δεν έχει κατακτήσει τη στοιχειώδη επάρκεια (60% της άριστης επίδοσης στο FCI) όσον αφορά την εννοιολογική κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου της κλασικής μηχανικής. Η παραπάνω ανάγνωση των αποτελεσμάτων, ενισχύει την εικόνα που προέκυψε από τη στατιστική επεξεργασία, όπου φάνηκε να υπάρχει πολύ μικρή επίδραση της διδασκαλίας στην κατανόηση των νευτώνειων εννοιών από τα παιδιά. Μπορεί να υπάρχει μια στατιστικά σημαντική διαφορά, όμως αυτή δεν είναι εκπαιδευτικά/μαθησιακά αξιόλογη. Οι βελτιώσεις που ανιχνεύονται από τάξη σε τάξη, όπου υπάρχουν, είναι πάρα πολύ μικρές. Στην α' λυκείου που έχουμε την καλύτερη επίδοση στο μέσο όρο τάξης, αυτή είναι πολύ κάτω από αυτό που θα αντιστοιχούσε σε ικανοποιητική κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου.

Υπάρχει σχετική επίδραση του φύλου των μαθητών/ριών στην επίδοσή τους στη κλασική μηχανική υπέρ των αγοριών, επίδραση η οποία φαίνεται να γίνεται πιο έντονη σε συνάρτηση με τη τάξη. Υπάρχει επίδραση της κοινωνικοοικονομικής προέλευσης των παιδιών, με τα παιδιά από σχολεία αστικών περιοχών να υπερέρχουν στις επιδόσεις στη δοκιμασία του FCI. Δεν φαίνεται να υπάρχει διάρκεια στα μαθησιακά αποτελέσματα που παρατηρούνται στην α' λυκείου. Τελικά, δεν φαίνεται να υπήρξε σημαντική εννοιολογική αλλαγή κάτω από την επίδραση της παραδοσιακής διδασκαλίας στους/τις μαθητές/ριες στο πεδίο της κλασικής μηχανικής, καθώς η συντηρητική πλειοψηφία των παιδιών έδειξε να

μην τροποποιεί/αντικαθιστά τις διαισθητικές αντιλήψεις που διατηρεί για τις βασικές έννοιες της κλασικής μηχανικής. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν για μια ακόμα φορά την ανεπάρκεια των συμβατικών μεθόδων διδασκαλίας και φέρνουν και πάλι στο προσκήνιο τη συζήτηση για τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται ώστε να δημιουργηθούν τα κατάλληλα μαθησιακά περιβάλλοντα που θα υποστηρίζουν αποτελεσματικά τους/ις μαθητές/ριες στην οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης. Η πρόσφατη αλλαγή στα προγράμματα σπουδών και στα σχολικά εγχειρίδια δε φαίνεται να επιδρά προς τη κατεύθυνση της ενίσχυσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Στο επίπεδο της εκπαιδευτικής πράξης διαπιστώνεται ότι η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών διδάσκει με τις ίδιες μεθόδους τα τελευταία πενήντα χρόνια, ακολουθώντας την παραδοσιακή δασκαλοκεντρική διδασκαλία ("chalk and talk approach"), με την οποία φαίνεται να αισθάνονται περισσότερη «ασφάλεια» οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί (Science Education Now, European Commission). Έτσι εξακολουθεί να είναι ο εκπαιδευτικός και όχι ο μαθητής στο κέντρο των εκπαιδευτικών πρακτικών. Τέσσερις δεκαετίες μετά την εισαγωγή της ιδέας από τον Joseph Schwab ότι οι ΦΕ θα πρέπει να διδάσκονται σαν μια «διερεύνηση στη διερεύνηση» και περίπου εκατό χρόνια μετά την πρόταση του John Dewey για την θεώρηση της διδασκαλίας σαν μια μαθητοκεντρική διαδικασία διερεύνησης, αντιμετωπίζουμε σημαντικές δυσκολίες στην προσπάθεια εφαρμογής τέτοιων πρακτικών μέσα στις σχολικές αίθουσες (Duschl & Osborne, 2002).

Έχει υποστηριχτεί (Hestenes et al., 1992; Hake, 1998; Savinainen et al., 2002; Fagen et al., 2002) ότι ένας τρόπος για την επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης στη κλασική μηχανική είναι η ανάπτυξη διδακτικών μεθόδων που θα βασίζονται στην αλληλεπιδραστική συμμετοχή των μαθητών/ριών στη διάρκεια του μαθήματος και στην ικανοποιητική κατάρτιση των εκπαιδευτικών που διδάσκουν το μάθημα. Αυτή η κατάρτιση αφορά αρκετούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι: η γνώση των εναλλακτικών ιδεών που διατηρούν οι μαθητές/ριες, η αξιοποίηση στοιχείων από την έρευνα στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών και η γνώση συγκεκριμένων διδακτικών τεχνικών. Θετική προοπτική φαίνεται να προσφέρει η ομαδοσυνεργατική μάθηση και οι διδακτικές τεχνικές που βασίζονται σε αυτήν (Σταυρίδου, 2000), καθώς και η κατάλληλη διδακτική αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας (Σολομωνίδου & Κολοκοτρώνης, 2009).

Σημαντική βοήθεια για την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής μπορεί να προσφέρει και η διδασκαλία με τη βοήθεια της μοντελοποίησης. Ήδη από το 1979 η Viennot έχει προτείνει τη χρήση μοντελοποίησης καθημερινών καταστάσεων ως διδακτικό εργαλείο για την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών από τους/τις μαθητές/ριες, καθ' ότι μ' αυτό τον τρόπο μπορούν να επισημανθούν τα σημαντικά χαρακτηριστικά ενός θέματος που η εμπειρία δείχνει ότι μια κλασική περιγραφή δε βοηθάει τα παιδιά να τα αντιληφθούν (Viennot, 1979). Τη χρήση μοντελοποίησης προτείνουν επίσης και οι Halloun & Hestenes (1987), που προτείνουν την εργασία πάνω σε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο με βάση μια κατάσταση-διάταξη στην οποία γίνονται διαδοχικές μοντελοποιήσεις που αναπαριστούν το σχήμα του συστήματος που μελετάται, τη γεωμετρική δομή, τη δομή αλληλεπίδρασης, τις μεταβλητές της κατάστασης και την εξέλιξη στο χρόνο (Hestenes, 1987; Halloun & Hestenes, 1987; Hestenes, Redish, & Rigden, 1996). Οι Savinainen et al. (2004) προτείνουν επίσης χρήση μοντελοποίησης για τη διδασκαλία του γ' νόμου με σκοπό την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής. Την αξία των προσομοιώσεων και της εκπαιδευτικής χρήσης των μοντέλων μέσω λογισμικού προτείνουν και οι Jimogiannis & Komis (2003) απέναντι στην αναποτελεσματικότητα της παραδοσιακής διδασκαλίας, σε έρευνα που είχε σκοπό την διερεύνηση των Ελλήνων μαθητών στο θέμα της δύναμης και της κίνησης. Την σημασία της διδακτικής αξιοποίησης της μοντελοποίησης επισημαίνει και η Σταυρίδου (1995), σημειώνοντας ότι πρέπει να συνδυάζεται με κατάλληλη επιλογή φαινομένων, καταστάσεων

και σωστή μεθόδευση. Η διδασκαλία των ΦΕ δε πρέπει να βασίζεται σε μια σειρά διαδοχικών απλοποιήσεων της επιστημονικής γνώσης. Ειδικά για το δημοτικό και το γυμνάσιο οι Φυσικές Επιστήμες πρέπει να «επινοηθούν» και να ληφθούν υπ' όψη οι αρχικές ιδέες και παραστάσεις των μαθητών/ριών καθώς και οι ιδιαίτερες γνωστικές δυσκολίες που παρουσιάζουν τα θέματα που θα διδαχθούν (Σταυρίδου, 1995).

Αναφορές

- Bao, L., Hogg, K., & Zollman, D. (2002). Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law. *American Journal of Physics*, 70(7), 766-778.
- Champagne, A., Klopfer, L., & Anderson, J. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Clement, J. (1982). Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Crouch, C., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Dykstra, D., Boyle, F., & Monarch, I. (1992). Studying Conceptual Change in Learning Physics. *Science Education* 76(6), 615-652.
- Duschl, R., & Osborne, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38, 39-72
- Fagen, A., Crouch, C., & Mazur, E. (2002). Peer Instruction: Results from a Range of Classrooms. *The Physics Teacher*, 40, 206-209.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1987). Modelling instruction in mechanics. *American Journal of Physics* 55, 455-462.
- Halloun, I., Hake, R., Mosca, E., & Hestenes, D. (1995). *Force Concept Inventory (revised 1995)*. Retrieved 15 March 2010 from <http://modeling.asu.edu/R&E/FCI-Rv95.pdf>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hestenes, D. (1986). Toward a modelling theory of physics instruction, *American Journal of Physics* 55(5), 440-454
- Hestenes, D., Redish, E. F., & Rigden, J. S. (1996). Modeling methodology for physics teachers. In *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education* (pp. 935-958). College Park, MD.
- Huffman, D., & Heller, P. (1995). What does the Force Concept Inventory actually measure? *The Physics Teacher*, 33, 138-143.
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2003). Investigating Greek Students' Ideas about Forces and Motion. *Research in Science Education* 33, 375-392.
- Modeling Instruction Program, Arizona State University (2010). Retrieved March 15, 2010 from <http://modeling.asu.edu/>
- Savinainen, A. & Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37(1), 53-58.
- Savinainen, A., & Viiri, J. (2007). The Force Concept Inventory as a measure of students' conceptual coherence. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(4), 719-740.
- Stewart, J., Griffin, H., & Stewart, G. (2007). Context sensitivity in the force concept inventory, *Physics Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(1), 1-6.
- Vosniadou, S., Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Δαφέρμος, Β. (2005). *Κοινωνική Στατιστική με το SPSS*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζητή.
- Κόκκοτας, Π. (2002). *Διδακτική των φυσικών επιστημών Μέρος 2 Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών*. Αθήνα
- Ναούμ, Κ. (2007). Διερεύνηση της κατανόησης εννοιών της κλασσικής μηχανικής από μαθητές/ριες γυμνασίου και λυκείου: με τη συμβολή του F.C.I. Πτυχιακή εργασία στο Π.Μ.Σ του Π.Τ.Δ.Ε του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Βόλος.
- Σταυρίδου, Ε. (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*, Αθήνα: Σαββάλας.
- Σταυρίδου, Ε. (2000). *Συνεργατική μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες. Μια εφαρμογή στο Δημοτικό Σχολείο*. Βόλος: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
- Σολομωνίδου, Χ., & Κολοκοτρώνης (2009). *Ο υπολογιστής στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Β. Γκιούρδα.

Παράρτημα**A. Δείγμα ερωτήσεων του FCI**

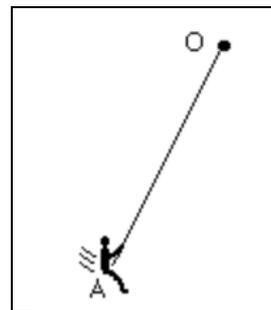
Ερώτηση 18.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα αγόρι να κάνει κούνια κρεμασμένο στην άκρη ενός σκοινιού, ξεκινώντας από ένα σημείο ψηλότερα από το Α. Λάβετε υπόψη τις παρακάτω δυνάμεις:

- 1) Την προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
- 2) Τη δύναμη που ασκείται από το σκοινί με κατεύθυνση από το Α προς το Ο.
- 3) Μια δύναμη κατά τη κατεύθυνση της κίνησης του παιδιού.
- 4) Μια δύναμη με κατεύθυνση από το Ο προς το Α.

Ποιες από τις παραπάνω δυνάμεις ενεργεί (ενεργούν) στο παιδί όταν βρίσκεται στο σημείο Α;

- A. Μόνον η 1.
- B. Οι 1 και 2.
- C. Οι 1 και 3.
- D. Οι 1, 2 και 3.
- E. Οι 1, 3 και 4.



Ερώτηση 13.

Ένα αγόρι πετάει μια ατσαλένια μπάλα προς τα πάνω. Θεωρείστε την κίνηση της μπάλας μόνο μετά τη στιγμή που αυτή φεύγει από τα χέρια του αγοριού, αλλά προτού ακουμπήσει το έδαφος, και υποθέστε ότι οι δυνάμεις που εξασκούνται από τον αέρα είναι αμελητέες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η δύναμη (οι δυνάμεις) που ενεργούν πάνω στη μπάλα είναι:

- (A) μια προς τα κάτω δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα μαζί με μια σταθερά μειούμενη δύναμη προς τα πάνω.
- (B) μια σταθερά μειούμενη δύναμη προς τα πάνω από τη στιγμή που φεύγει από τα χέρια του αγοριού μέχρι τη στιγμή που φτάνει στο υψηλότερο σημείο, κατά την κάθοδο υπάρχει μια σταθερά αυξανόμενη δύναμη προς τα κάτω δύναμη της βαρύτητας καθώς το αντικείμενο πλησιάζει περισσότερο προς τη γη.
- (C) μια περίπου σταθερή δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα μαζί με μια προς τα πάνω δύναμη που σταθερά μειώνεται έως ότου η μπάλα φτάσει στο ψηλότερο σημείο, κατά την κάθοδο υπάρχει μια σταθερή δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα.
- (D) μια περίπου σταθερή δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα.
- (E) τίποτα από τα παραπάνω, η μπάλα επιπλέει στο έδαφος εξαιτίας της φυσικής τάσης των σωμάτων να ηρεμούν στην επιφάνεια της γης.

Ερώτηση 4.

Ένα μεγάλο φορτηγό συγκρούεται μετωπικά με ένα μικρό επιβατικό αυτοκίνητο. Κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης:

- (A) το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο αυτοκίνητο απ' ότι το αυτοκίνητο στο φορτηγό,
- (B) το αυτοκίνητο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στο φορτηγό απ' ότι το φορτηγό στο αυτοκίνητο,
- (C) κανένα όχημα δεν ασκεί δύναμη στο άλλο, το αυτοκίνητο συνθλίβεται απλώς επειδή μπαίνει στην πορεία του φορτηγού,
- (D) το φορτηγό ασκεί μια δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό,
- (E) το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο που είναι ίση με αυτή που ασκεί το αυτοκίνητο στο φορτηγό.

Ερώτηση 25.

Μια γυναίκα ασκεί μια σταθερή οριζόντια δύναμη πάνω σε ένα μεγάλο κιβώτιο. Σαν αποτέλεσμα, το κιβώτιο κινείται κατά μήκος ενός οριζοντίου δαπέδου με σταθερή ταχύτητα "V₀".

Η σταθερή οριζόντια δύναμη που ασκείται από τη γυναίκα:

- A. Έχει την ίδια τιμή με το βάρος του κιβωτίου.
- B. Είναι μεγαλύτερη από το βάρος του κιβωτίου.
- C. Έχει την ίδια τιμή με τη συνολική δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση του κιβωτίου.
- D. Είναι μεγαλύτερη από τη συνολική δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση του κιβωτίου.
- E. Είναι μεγαλύτερη είτε από το βάρος του κιβωτίου, είτε από τη συνολική δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση.

B. Τρόπος επεξεργασίας των απαντήσεων των παιδιών στις ερωτήσεις του FCI

ΕΡΩΤΗΣΗ 4

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι κατά την αλληλεπίδραση δυο σωμάτων (γ' νόμος του Νεύτωνα) οι στιγμιαίες φωτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των σωμάτων έχουν ίσα μέτρα. Επιπλέον στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην αντίληψη ότι το σώμα μεγαλύτερης μάζας ασκεί και μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτικές A, D), ενώ με την εναλλακτική C θέλει να διερευνήσει την ύπαρξη της παρανόησης ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία			1	,6			1	1,3
A	55	56,1	94	59,5	61	32,4	42	53,2
B	6	6,1	11	7,0	7	3,7	1	1,3
C	13	13,3	7	4,4	11	5,9	2	2,5
D	9	9,2	4	2,5	13	6,9	2	2,5
E	15	15,3	41	25,9	96	51,1	31	39,2
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

* Σε γκρι φόντο είναι οι απαντήσεις που αφορούν στις σημαντικότερες διαισθητικές αντιλήψεις

** Σε πιο σκούρο φόντο είναι η σωστή επιλογή

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι υπάρχει εντοπωσιακή επικράτηση στις τάξεις του γυμνασίου, με ποσοστά πάνω από 60%, της εναλλακτικής απάντησης Α, που μαζί με την εναλλακτική D εκφράζουν την παρανόηση «μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη», η εικόνα βελτιώνεται στην α' λυκείου, όπου το ποσοστό μειώνεται στο 39%, ενώ στη β' λυκείου ανέρχεται πάλι σε πολύ υψηλά επίπεδα (55,7%). Η παρανόηση ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική D), δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τις ιδέες των παιδιών όσον αφορά την έννοια της δράσης αντίδρασης.

Για τη σωστή επιλογή Α, βλέπουμε ότι το ποσοστό της αυξάνεται σημαντικά με την επίδραση της διδασκαλίας, ειδικά στην α' λυκείου, ενώ στη β' λυκείου διατηρεί ένα σημαντικό μέρος από τα «κέρδη» της α' λυκείου και παραμένει σημαντικά υψηλότερο από το ποσοστό της γ' γυμνασίου. Υπάρχει πιθανότητα, αυτή η θετική εξέλιξη να οφείλεται στο ότι αντίστοιχες ερωτήσεις υπάρχουν στα σχολικά βιβλία, όπως και στο ότι αυτού του είδους οι ερωτήσεις περικλείουν στοιχεία γνωστικής σύγκρουσης, πράγμα που εγείρει το ενδιαφέρον των μαθητών/ριών και πιθανώς ενισχύει την επίτευξη μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία ενώ από τη μια μεριά κατάφερε να προκαλέσει κάποια αξιολογικά μαθησιακά αποτελέσματα στο θέμα της ισότητας των μέτρων των δυνάμεων αλληλεπίδρασης, από την άλλη όμως δε μπόρεσε να αντιμετωπίσει με ιδιαίτερη επιτυχία την προαντίληψη που εκφράζει την γενικότερη αρχή της κυριαρχίας (Hestenes et al., 1992) κατά την αλληλεπίδραση δυο σωμάτων.

Αναφορά στο άρθρο ως

Ναούμ, Κ., Σταυρίδου, Ε. (2010). Μελέτη της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου με τη συμβολή του F.C.I.. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 3(1), 1-16.
<http://earthlab.uoi.gr/thete/index.php/thete>