

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Επιστημών του Ανθρώπου
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης και παραγωγή
διδακτικού υλικού»
Διπλωματική εργασία Κ. Ναούμ
Επιβλέπουσες καθηγήτριες
Σταυρίδου Ελένη, Σολομωνίδου Χριστίνα

«Διερεύνηση της κατανόησης εννοιών της
Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και
Λυκείου. Με τη συμβολή του F.C.I.»

Βόλος 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 3310/1
Ημερ. Εισ.: 27-03-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
530.076
ΝΑΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγικά	2
Σύνοψη	3
1 ^ο Κεφάλαιο. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	5
2 ^ο Κεφάλαιο. Μέθοδος	15
Σκοπός, στόχοι έρευνας	15
Υπόθεση, ερωτήματα έρευνας	15
Ερευνητικό εργαλείο (Force Concept Inventory)	15
Δείγμα, Μέθοδος συλλογής δεδομένων	22
Διαδικασία	23
3 ^ο Κεφάλαιο Αποτελέσματα – Συζήτηση	24
Συγκρίσεις απαντήσεων ανά τάξη	24
Ανάλυση αποτελεσμάτων Συζήτηση	57
Ανάλυση με βάση τις σωστές απαντήσεις	59
Ανάλυση με βάση τις σημαντικές παρανοήσεις	61
Ανάλυση με βάση το βαθμό επίδοσης στο FCI	62
Επίδραση της τάξης φοίτησης	63
Ευρήματα από τις ΗΠΑ	65
Επίδραση του φύλου	67
Επίδραση της κοινωνικ/κής προέλευσης	67
4 ^ο Κεφάλαιο. Συμπεράσματα Προτάσεις	69
1. Συμπεράσματα της έρευνας	69
2. Πρόταση διδακτικής αξιοποίησης του FCI	72
2α. Πρόταση για το διδακτικό πλαίσιο	72
2β. Οδηγός διδακτικής χρήσης του FCI	76
Βιβλιογραφία	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	88
Force Concept Inventory. Το βασικό εργαλείο της έρευνας	88
Αποτελέσματα στατιστικών κριτηρίων	99

Εισαγωγικά

«Ο πιο σπουδαίος απλός παράγοντας που επηρεάζει τη μάθηση είναι αυτό που ο μαθητής ήδη γνωρίζει. Εξακρίβωσέ το και δίδαξέ τον σύμφωνα με αυτό»

Ausubel, 1968

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διαπίστωση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές/ριες έχουν πετύχει μια επαρκή κατανόηση των βασικών εννοιών της Νευτώνειας μηχανικής, στο γνωστικό πεδίο της κλασσικής μηχανικής μέσα στο χρόνο μαθητείας τους στο Ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, που στηρίζεται κατά βάση στο παραδοσιακό-δασκαλοκεντρικό μοντέλο διδασκαλίας.

Η προσπάθεια της διερεύνησης του θέματος έγινε με έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε σχολεία της περιοχής του νομού Σερρών τον Μάιο του 2007 και βασίστηκε στη χρήση του Force Concept Inventory (FCI), ενός ερωτηματολογίου σχεδιασμένου στις ΗΠΑ από τους Hestenes, Wells και Swackhamer (1992), με αποδεδειγμένη εγκυρότητα και αξιοπιστία, που έχει σαν σκοπό να βοηθήσει τους διδάσκοντες/ουσες να διερευνήσουν και να εκτιμήσουν τις κοινές παρανοήσεις/προαντιλήψεις των μαθητών/ριών τους, στο θέμα της δύναμης, που θεωρείται η κεντρική έννοια της Νευτώνειας μηχανικής.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι μαθητές/ριες μάλλον δεν πετυχαίνουν επαρκή κατανόηση των βασικών εννοιών της μηχανικής, με πιθανότερη βασική αιτία τον τρόπο διδασκαλίας και ειδικά την μη διδακτική αντιμετώπιση των παρανοήσεων που διατηρούν τα παιδιά για τις βασικές έννοιες της Νευτώνειας μηχανικής.

Λέξεις κλειδιά: κλασσική μηχανική, παρανοήσεις, κατανόηση εννοιών, Force Concept Inventory, διδακτική πρόταση

Σύνοψη

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου κάτω από την επίδραση του παραδοσιακού μοντέλου διδασκαλίας που εφαρμόζεται στην Ελληνική εκπαίδευση. Αρχικά επιχειρείται να δοθεί συνοπτικά μια περιγραφή θεωρητικών στοιχείων που συνδέονται με το θέμα της εργασίας και ήταν αποτέλεσμα ανασκόπησης της ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας. Τα θέματα που εξετάζονται είναι: το θέμα της εννοιολογικής αλλαγής με τα στάδιά της, πιθανοί τρόποι για την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής και το θέμα των παρανοήσεων που διατηρούν οι μαθητές/ριες για τις έννοιες της κλασσικής μηχανικής. Ειδικά στο θέμα των παρανοήσεων εξετάζεται η ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν αυτές απέναντι στη διδασκαλία, πιθανοί λόγοι που συμβαίνει αυτό, ενώ αναφέρονται οι κυριότερες παρανοήσεις που έχουν διαπιστωθεί ερευνητικά (κινηματική, impetus, ενεργητικές δυνάμεις κ.λπ.).

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα από 523 μαθητές/ριες γυμνασίου και λυκείου της περιοχής του νομού Σερρών. Βασικό εργαλείο της έρευνας αποτέλεσε το Force Concept Inventory, ένα ερωτηματολόγιο από 30 ερωτήσεις, με αποδεδειγμένη αξιοπιστία στη διαπίστωση των παρανοήσεων που διατηρούν τα παιδιά για τη δύναμη, που αποτελεί την κεντρική έννοια της μηχανικής. Η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών/ριών, έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS (έκδοση 12). Τα αποτελέσματα της έρευνας επεξεργάστηκαν με τρεις τρόπους, (α) με βάση το ποσοστό που πήρε η σωστή επιλογή κάθε ερώτησης, (β) με βάση τις σημαντικότερες παρανοήσεις που εντοπίστηκαν σε κάθε ερώτηση και (γ) με βάση την επίδοση των παιδιών στη δοκιμασία του FCI (σε σχέση με τη τάξη, το φύλο, τη κοινωνική προέλευση).

Κάθε ερώτηση αναλύεται χωριστά, με βάση το ποσοστό της σωστής επιλογής και τα ποσοστά των εναλλακτικών επιλογών, σε σχέση με τη τάξη φοίτησης. Με αυτό τον τρόπο γίνεται προσπάθεια να δοθεί η επίδραση της διδασκαλίας στην κατανόηση των εννοιών που διδάχθηκαν και στον περιορισμό των παρανοήσεων των παιδιών. Κατόπιν γίνεται προσπάθεια για την εκτίμηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και για τις σημαντικότερες παρανοήσεις που διατηρούν τα παιδιά. Ακολουθεί ανάλυση των αποτελεσμάτων με βάση την επίδοση που είχαν τα παιδιά στη δοκιμασία του FCI (εξαρτημένη μεταβλητή) σε σχέση με τη τάξη φοίτησης, το φύλο και τη κοινωνική προέλευση των μαθητών/ριών. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα ερευνητικά αποτελέσματα από την ευρεία χρήση του FCI στις ΗΠΑ σε πάνω από 20.000 μαθητές/ριες. Όλη η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS (έκδοση 12.00).

Στη συνέχεια διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων τα οποία δείχνουν τη χαμηλή επίδραση της διδασκαλίας στη προσπάθεια για την κατανόηση των εννοιών της κλασικής μηχανικής από τους μαθητές/ριες. Σημειώνονται οι κυριότερες παρανοήσεις που διατηρούν οι Έλληνες/ίδες μαθητές/ριες και έδειξαν ιδιαίτερη αντίσταση στο χρόνο και στη διδασκαλία. Κατόπιν ακολουθεί πρόταση για την διδακτική αξιοποίηση του Force Concept Inventory σε ένα εποικοδομητικό συνεργατικό περιβάλλον μάθησης. Αυτή η πρόταση αποτελείται από δυο σκέλη, ένα σκέλος που αφορά πρόταση για το διδακτικό πλαίσιο χρήσης του FCI και ένα δεύτερο σκέλος που αποτελεί ένας οδηγός για τη διδακτική χρήση του FCI. Στον οδηγό διδακτικής χρήσης γίνεται μια ομαδοποίηση των ερωτήσεων του FCI με βάση τις Νευτώνειες έννοιες που διαπραγματεύεται κάθε ερώτηση, σημειώνονται οι κυριότερες παρανοήσεις των μαθητών/ριών και με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας εντοπίζονται κάποιες παρανοήσεις που φάνηκαν να έχουν σημαντική επίδραση στις ιδέες των Ελλήνων/ίδων μαθητών/ριών. Αυτή η ομαδοποίηση των ερωτήσεων σε συνδυασμό με το προτεινόμενο περιβάλλον διδασκαλίας και το ερωτηματολόγιο του FCI, μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο διδακτικό εργαλείο για τη καθημερινή διδακτική πράξη.

1^ο Κεφάλαιο

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Κεντρικό ερώτημα που απασχολεί όσους ασχολούνται στο πεδίο της διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, είτε ως δάσκαλοι της πράξης, είτε ως ερευνητές, είτε ως θεωρητικοί, είναι πως μαθαίνει κάποιος 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 παραστάσεων και οικοδόμηση νέων εννοιών, και ιδιαίτερα ως διαδικασία που οδηγεί είτε σε αλλαγή νοητικών σχημάτων είτε σε τροποποίηση και αντικατάσταση παραστάσεων και αντιλήψεων, των οποίων η προέλευση και η λειτουργία ανάγεται σ' αυτό που ονομάζεται κοινός νους (Σταυρίδου, 1995).

Έχει υποστηριχθεί ότι η μάθηση εννοιών της κλασσικής μηχανικής συνδέεται στενά με τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Αν και η έκφραση «εννοιολογική αλλαγή» έχει χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους και σημασίες, στην παρούσα εργασία με τον όρο «εννοιολογική αλλαγή» θα εννοείται η τροποποίηση των διαισθητικών αντιλήψεων των μαθητών για τις φυσικές έννοιες, τα φαινόμενα και τις σχέσεις μεταξύ μεγεθών, σε γνώσεις που είναι πιο συμβατές με το επιστημονικό πρότυπο. Η επιστημολογική υπόθεση που κρύβεται πίσω από τη θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής είναι ότι οι μαθητές/ριες έρχονται σε νέες καταστάσεις μάθησης με ένα ποσό προϋπάρχουσας γνώσης (προαντιλήψεις, εναλλακτικά πλαίσια, παρανοήσεις, κ.λπ.) και ο πρωταρχικός ρόλος του δασκάλου είναι αυτός του «διαπραγματευτή των εννοιών» η του «πράκτορα της αλλαγής». Δουλειά του δασκάλου επίσης είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών παρέμβασης που θα βοηθήσουν τους/ις μαθητές/ριες στη μετατόπιση τους προς μια κατανόηση των φαινομένων που να είναι επιστημονικά αποδεκτή (Κόκκοτας 2002).

Όσον αφορά το πεδίο της γνωστικής ψυχολογίας, η Εννοιολογική αλλαγή είναι μια θεωρία που προσπαθεί να ερμηνεύσει τους τρόπους σύμφωνα με τους οποίους μετασχηματίζονται οι υπάρχουσες γνωστικές δομές κατά τη διαδικασία απόκτησης νέων γνώσεων. Τα γνωστικά σχήματα μπορούν να τροποποιηθούν και να αλλάξουν με τις παρακάτω μορφές: την επαύξηση, την εναρμόνιση και την αναδιοργάνωση (Rumelhart & Norman, 1988 στο Κολιάδης, 2002). Η αναδιοργάνωση διακρίνεται στην ολική και μερική, ενώ η μερική περιλαμβάνει την ασθενή και την ριζοσπαστική αναδιοργάνωση. Η ριζοσπαστική αναδιοργάνωση αναφέρεται στην αλλαγή της παλιάς θεωρίας και πραγματοποιείται, όταν το άτομο αποκτά μια νέα θεωρία που είναι

διαφορετική από την παλιά ως προς τη δομή και την ερμηνεία των φαινομένων. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του αρχαρίου σε ένα πεδίο, ο οποίος δεν έχει μόνο λιτές και περιορισμένες γνώσεις, δηλαδή ένα φτωχό σχήμα σε σύγκριση με τον ειδήμονα, αλλά διαθέτει και μια διαφορετική θεωρία και ερμηνεία των φαινομένων (Vosniadou & Brewer, 1992 στο Κολιάδης, 2002).

Το γνωστικό αντικείμενο που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία, αναφέρεται στο πεδίο της κλασσικής Νευτώνειας μηχανικής, που θεωρείται προνομιούχος γνωστικός τομέας καθ' όλη τα παιδιά έχουν αρκετές εμπειρίες στο πλαίσιο της καθημερινής ζωής στα θέματα που πρόκειται να διδαχθούν και υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης πολυάριθμων πειραμάτων που πραγματοποιούνται με απλά μέσα (Lemeignan & Weil-Barais 1997). Παρ' όλα αυτά, είναι διαπιστωμένο ότι δύσκολα γίνεται η μετατόπιση των παιδιών στο Νευτώνειο παράδειγμα.

Κάποια στοιχεία που στοιχειοθετούν τη δυσκολία και τη βαρύτητα αυτού του γνωστικού αντικείμενου είναι ότι: Μελετά φαινόμενα που θεωρούνται οικεία και «εύκολα» ακόμα για τα μικρά παιδιά. Φέρνει σε πρώτη επαφή τους/τις μαθητές/ριες του Γυμνασίου με την επιστημονική μέθοδο και τα εργαλεία της (σύμβολα, μαθηματική επεξεργασία, πολλαπλές αναπαραστάσεις: σχήματα, διαγράμματα, τύποι κ.λπ.), διαδικασία που απαιτεί αρκετό χρόνο για την εξοικείωση των παιδιών. Παρέχει επιστημονικές έννοιες με ιδιαίτερη δυσκολία κατανόησης, αφού οι περισσότερες είναι είτε διανυσματικές, είτε παράγωγα άλλων εννοιών, είτε παραπέμπουν σε δυσνόητες σχέσεις μεταξύ εννοιών και μεγεθών. Παραπέμπει σε εναλλακτικούς κόσμους που απέχουν πολύ από την εμπειρική πραγματικότητα των παιδιών, π.χ. κόσμος χωρίς τριβές, σώματα χωρίς διαστάσεις, κ.λπ. (Σολομωνίδου, 2000).

Στην περίπτωση των μαθητών/ριών που εισάγονται στο πεδίο της κλασσικής μηχανικής, έχοντας ήδη διαμορφωμένες λανθασμένες αντιλήψεις (νοητικά σχήματα) για τις νευτώνειες έννοιες, έργο της διδασκαλίας αποτελεί η αλλαγή αυτών των νοητικών σχημάτων από σχήματα που είναι σύμφωνα με το Νευτώνειο παράδειγμα. Κατά συνέπεια μπορεί να θεωρηθεί ότι σε αυτήν την περίπτωση επιζητείται μια ριζοσπαστική αναδιοργάνωση στα γνωστικά σχήματα των παιδιών. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι στη πορεία του/ης μαθητή/ριας στη σχολική του/ης ζωή, εμφανίζονται, και το φαινόμενο της ασθενούς αναδιοργάνωσης, στο οποίο πραγματοποιούνται αναδιαρθρώσεις στην εσωτερική δομή ενός σχήματος ή μιας ομάδας σχημάτων, όπως επίσης και οι άλλες μορφές αναδιοργάνωση (επαύξηση, εναρμόνιση). Οι διαδικασίες αυτές, όσον αφορά το γνωστικό πεδίο της Νευτώνειας μηχανικής, μπορούν να εμφανιστούν σε μαθητές/ριες του λυκείου, με την προϋπόθεση ότι έχουν περάσει από τη φάση της ριζικής αναδιοργάνωσης και αυτό που

επιζητείται πλέον είναι ένας εμπλουτισμός, μια αναδιάρθρωση ή μια τροποποίηση στα υπάρχοντα γνωστικά σχήματα και όχι μια αντικατάσταση.

Έχει προταθεί επίσης, ότι οι διαδικασίες της εννοιολογικής αλλαγής μπορούν να οργανωθούν σε τρεις τύπους: διαφοροποίηση (differentiation), επέκταση κατηγορίας (class extension), και αναδόμηση εννοιών/επανακατανόηση (reconceptualization) (Dykstra, Franklin, and Monarch, 1992). Στη διαφοροποίηση, νέες έννοιες αναδεικνύονται από περισσότερο γενικές ιδέες (π.χ., ταχύτητα και επιτάχυνση από την κίνηση). Στην επέκταση κατηγορίας, έννοιες που θεωρούνταν διαφορετικές διαπιστώνεται ότι είναι ίδιες (π.χ., ηρεμία και σταθερή ταχύτητα). Στην επανακατανόηση, συμβαίνει μια σημαντική αλλαγή (π.χ., η δύναμη σημαίνει κίνηση γίνεται η δύναμη σημαίνει επιτάχυνση).

Το ζήτημα της πραγματοποίησης/πρόκλησης εννοιολογικής αλλαγής στους/ις μαθητές/ριες, αποτελεί ένα πολύ δύσκολο έργο, καθώς είναι ευρύτατα αποδεκτό και διαπιστωμένο από πολλές έρευνες, ότι τα εναλλακτικά σχήματα των παιδιών (παρανοήσεις) είναι πολύ ανθεκτικά, ενώ έχουν διαπιστωθεί μηχανισμοί με τους οποίους αυτά μπορούν και «επιβιώνουν» απέναντι στις διάφορες προτεινόμενες διδακτικές στρατηγικές. Οι Champagne, Klopfer and Anderson (1980) έχουν επισημάνει ότι το σύστημα πεποιθήσεων που διατηρούν τα παιδιά πριν τη διδασκαλία έχει μια χαλαρή δομή, εμφανίζει μικρή αλληλεξάρτηση και του λείπει ένας ενιαίος φορμαλισμός. Κατά συνέπεια το σύστημα είναι ιδιαίτερα ευλύγιστο και μπορεί να προσαρμόσει μια νέα πληροφορία τοπικά χωρίς να προκαλέσει σύγκρουση με άλλα μέρη του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα «μαθαίνει» χωρίς να πραγματοποιεί αναδόμηση εννοιών/επανακατανόηση.

Αποτελέσματα από διεθνείς έρευνες έχουν δείξει ότι συγκεκριμένες λανθασμένες ιδέες για το φυσικό κόσμο είναι κοινές ανάμεσα σε μαθητές/ριες που ανήκουν σε διαφορετικά έθνη, ηλικίες και εκπαιδευτικά επίπεδα. Υπάρχουν αρκετά στοιχεία που δείχνουν ότι πολλοί/ές φοιτητές/ριες του πανεπιστημίου συχνά έχουν τις ίδιες δυσκολίες όσον αφορά τις έννοιες και τους συλλογισμούς, που είναι κοινές σε μικρότερα παιδιά. Συνήθως υπάρχει μικρή εννοιολογική κατανόηση πριν και μετά τη τυπική διδασκαλία. Επιπλέον οι μαθητές/ριες τις περισσότερες φορές δε μπορούν να εφαρμόσουν τις έννοιες που μελέτησαν μέσα από τη λύση ποσοτικών προβλημάτων, που αποτελεί και το σύνηθες μέτρο για την επίδοση των παιδιών στο μάθημα της Φυσικής (McDermott, 1991). Κοινό σημείο των ερευνών αποτελεί η διαπίστωση για την ανθεκτικότητα αυτών των εναλλακτικών πλαισίων, ειδικά στις παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους, που προωθούν το μεταδοτικό μοντέλο για τη μάθηση και ένα παθητικό ρόλο δέκτη για το μαθητή (Hestenes, Wells and Swackhamer 1992, McDermott 1994).

Στις προτάσεις για την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής σημαντική θεωρείται η πρόταση των Posner, Strike, Hewson και Gertzog, (1982), οι οποίοι για την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής προτείνουν την παρακάτω πρόταση τεσσάρων σταδίων:

(α) πρόκληση γνωστικής σύγκρουσης με τη βοήθεια ενός παραδόξου ή ανωμαλίας, (β) προσπάθεια ώστε η παρουσίαση της νέας έννοιας να χαρακτηρίζεται από ευκρίνεια και σαφήνεια, (γ) διασφάλιση ότι η νέα έννοια χαρακτηρίζεται σαν αληθοφανής από την αρχή, αυτό μπορεί να γίνει: (1) συσχετίζοντας την νέα έννοια με την προηγούμενη εμπειρία των μαθητριών/ών και (2) δείχνοντας τον τρόπο με τον οποίο η νέα έννοια είναι ικανή/αποτελεσματική στην εξήγηση παραδόξων παρομοίων με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στα προηγούμενα στάδια, (δ) επίδειξη της ικανότητας της νέας έννοιας να οδηγεί σε νέες ανακαλύψεις που αποδείχονται χρήσιμες.

Οι ίδιοι συνεχίζουν προτείνοντας τις παρακάτω διδακτικές στρατηγικές που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στο στόχο της εννοιολογικής αλλαγής :

(1) Χρησιμοποίηση το δυνατόν περισσότερο, μέσω για δημιουργία γνωστικής σύγκρουσης (παραδόσεις, επιδείξεις, εργαστήρια, προβλήματα, εργασίες στο σπίτι). (2) Οργάνωση της διδασκαλίας με τέτοιο τρόπο ώστε οι διδάσκοντες/ουσες να αφιερώνουν ένα σημαντικό μέρος του χρόνου τους πάνω στη σκέψη των παιδιών και στη διάγνωση των λαθών τους. (3) Ανάπτυξη τέτοιων στρατηγικών που να μπορούν να συμπεριλάβουν οι διδάσκοντες/ουσες στο ρεπερτόριο τους, ώστε να μπορέσουν να ασχοληθούν με τα λάθη των παιδιών που έχουν σχέση με την αναδιοργάνωση των εννοιών. (4) Αναπαράσταση του περιεχομένου με πολλαπλούς τρόπους, ώστε να βοηθηθούν οι μαθητές/ριες στην κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου. (5) Ανάπτυξη μεθόδων αξιολόγησης που θα βοηθούν τον/ην εκπαιδευτικό να αντιλαμβάνεται την εξέλιξη της εννοιολογικής αναδόμησης στους/ις μαθητές/ριες.

Σημαντικός επίσης είναι ο ρόλος της παρώθησης ή της πρόκλησης του ενδιαφέροντος για την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής. Αν π.χ. τα παιδιά έχουν μια παρανόηση σε μια περιοχή μειωμένου γι' αυτά ενδιαφέροντος, τότε είναι απίθανο να επενδύσουν εκεί τις γνωστικές τους ικανότητες (Κόκκοτας, 2002).

Στο θέμα της αντίστασης στην εννοιολογική αλλαγή, είναι διαπιστωμένο ότι μεγαλύτερες αντιστάσεις παρουσιάζονται εκεί όπου οι ιδέες των μαθητών/ριών είναι καλά ριζωμένες εξαιτίας καθημερινών εμπειριών και συνεχώς υποστηρίζονται από αυτές τις καθημερινές εμπειρίες. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η κλασική μηχανική, όπου υπάρχουν πολλές παρανοήσεις στις έννοιες της δύναμης, κίνησης, βαρύτητας, για τις οποίες οι μαθητές/ριες έχουν εμπειρίες από πρώτο χέρι και είναι ικανοποιημένοι από τον χειρισμό αυτών των εννοιών στη καθημερινή τους

ζωή (Κόκκοτας, 2002). Η ισχύς των εναλλακτικών αντιλήψεων, φαίνεται επίσης από το ότι αυτές επιβιώνουν και στις απόψεις φοιτητών/ριών που διδάσκονται εισαγωγικά μαθήματα φυσικής (Clement 1982, Καρανίκας, Κόκκοτας και Καριώτογλου, 1996). Εμφανίζονται σε περιπτώσεις δασκάλων και καθηγητών/ριών που διδάσκουν το γνωστικό αντικείμενο της μηχανικής, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις το συναντάμε και σε ερευνητές που ασχολούνται με την διαπίστωση των εναλλακτικών πλαισίων των παιδιών, όπου η έννοια της δύναμης θεωρείται σαν δράση ενός αντικειμένου σε ένα άλλο και όχι σαν αλληλεπίδραση μεταξύ δυο σωμάτων (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou and Papademetriou 2001).

Ειδικά σε περιπτώσεις όπου επιχειρείται αντικατάσταση των παρανοήσεων μέσω καταστάσεων γνωστικής σύγκρουσης, οι Posner et al. (1982) υποστηρίζουν ότι είναι πιθανόν τα παιδιά να ακολουθήσουν εναλλακτικές πορείες αντιμετώπισης/εξήγησης της γνωστικής σύγκρουσης, με σκοπό τη διατήρησή των υπάρχοντων γνωστικών σχημάτων προαντιλήψεων τους για τη σχετική έννοια. Αυτές μπορεί να είναι: (α) συνειδητή απόρριψη των παρατηρήσεων που συνιστούν το παράδοξο, (β) αναμόρφωση της νέας πληροφορίας με τέτοιο τρόπο που να μην συγκρούεται με τις υπάρχουσες πεποιθήσεις, (γ) προσπάθεια να αφομοιωθεί η νέα έννοια στα υπάρχοντα σχήματα, (δ) έλλειψη ενδιαφέροντος για τη νέα πληροφορία στη βάση του ότι δεν προσφέρει τίποτα καινούργιο στον υπάρχοντα τρόπο σκέψης και (ε) έλλειψη κινήτρων με βάση τη πεποίθηση ότι αυτό που του/ης προσφέρεται είναι κάτι που δεν αξίζει την παραπάνω προσπάθεια για τη κατανόησή του, μια άποψη που μελετήθηκε αναλυτικότερα (McClelland 1984 στο Terry & Jones 1986).

Την αξία της γνωστικής σύγκρουσης την επισημαίνουν και οι Nussbaum και Novick (1982) που προτείνουν και συγκεκριμένη διδακτική στρατηγική για την επίτευξη και την αποτελεσματικότητα της. Οι ίδιοι ερευνητές θεωρούν ότι η αναλογία μεταξύ των εννοιολογικών αλλαγών των μαθητών/ριών και των αλλαγών στα εννοιολογικά πλαίσια στα μυαλά των επιστημόνων που προτάθηκε από τον Piaget, έχει μερική αξία, εξαιτίας σημαντικών διαφορών μεταξύ μαθητών/ριών και επιστημόνων.

Πάντως πολλοί/ές επιστήμονες θεωρούν ότι η μετάβαση των μαθητών/ριών από ένα αριστοτελικό σύστημα πεποιθήσεων στο Νευτώνειο σύστημα, αποτελεί αλλαγή παραδείγματος, κατά Kuhn, και αποτελεί μια προσωπική επανάσταση πεποιθήσεων, ανάλογη με αυτή της επιστημονικής επανάστασης (Kuhn, 1987, Hestenes, 1986, Champagne, Klopfer, and Anderson, 1980). Στη βάση αυτής της άποψης, ο Hestenes προτείνει μια διδακτική στρατηγική για την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής που την ονομάζει διαλεκτική στρατηγική διδασκαλίας (dialectical teaching strategy) και βασίζεται στη ξεκάθαρη διατύπωση των παρανοήσεων που έχουν τα παιδιά

σχετικά με ένα θέμα και δεν είναι απαραίτητα μόνο δικές τους. Κατόπιν προτείνεται ο έλεγχος από τη μεριά των μαθητών/ριών για τη συνέπεια/συμφωνία αυτών των πεποιθήσεων τόσο με εμπειρικά δεδομένα όσο και στο θέμα της εσωτερικής συνέπειας μεταξύ των πεποιθήσεων και τέλος προτείνεται η σύγκριση των εναλλακτικών απόψεων με τις επιστημονικές απόψεις για ένα θέμα (Hestenes, 1986).

Οι Vosniadou & Ioannides δίνουν μια διαφορετική άποψη στο θέμα από αυτή του Posner και των συνεργατών του και επισημαίνουν ότι η εννοιολογική αλλαγή δε συμβαίνει απότομα και σε μικρό χρονικό διάστημα, πράγμα που θα επιβεβαίωνε τη μεγάλη σημασία της γνωστικής σύγκρουσης σαν μέσου για την επίτευξή τους. Θεωρούν πιθανότερο ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια βαθμιαία διαδικασία που εξελίσσεται στο χρόνο και ότι πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ της εννοιολογικής αλλαγής και του αποτελέσματος της εννοιολογικής αλλαγής. Στη πορεία αυτή, που θεωρείται βαθμιαία και πολύπλοκη, οι νέες πληροφορίες που προέρχονται από παρατήρηση ή/και τη διδασκαλία χρησιμοποιούνται για να εμπλουτίσουν, αλλάξουν ή να αναδομήσουν τις υπάρχουσες πεποιθήσεις και προϋπάρχουσες ιδέες. Οι ίδιοι/ες ερευνητές/ριες προτείνουν και κάποιες διδακτικές στρατηγικές – παρεμβάσεις που κατά τη γνώμη τους μπορούν να διευκολύνουν το φαινόμενο της εννοιολογικής αλλαγής. Αυτές είναι: (α) η διευκόλυνση της μεταγνωστικής ενημερότητας και (β) η παροχή εμπειριών με νόημα. Επίσης θέτουν το ερώτημα για το αν η γνωστική σύγκρουση ή οι πολλαπλές αναπαραστάσεις έχουν καλύτερα αποτελέσματα στη πορεία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou & Ioannides, 1998).

Οι Scott, Asoco and Driver (1991), κάνοντας μια συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση κατέληξαν ότι υπάρχουν δυο τάσεις στις διδακτικές προσεγγίσεις για την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής, η γνωστική σύγκρουση και η εξέλιξη των ιδεών που έχουν ήδη τα παιδιά προς την επιστημονική άποψη. Μερικές τέτοιες στρατηγικές εξέλιξης ιδεών είναι η αναλογική διδακτική στρατηγική (analogical teaching strategy) και η γεφυρωτική στρατηγική (bridging strategy) (Brown & Clement, 1989., στο Driver et al., 1991). Ενώ άλλες στρατηγικές έχουν προταθεί από άλλους ερευνητές (Stavy 1991, Niedderer 1987, Brown 1977, Solomon 1983, στο Driver et al. 1991).

Χαρακτηριστικά και με κάποια γλαφυρότητα, οι Scott Asoko and Driver αναφέρουν για τη διδασκαλία που προσπαθεί να πετύχει εννοιολογική αλλαγή: *«Μια σύγκριση μεταξύ των υπάρχουσών αντιλήψεων ενός παιδιού με τα σκοπούμενα μαθησιακά αποτελέσματα δίνει μια συνολική άποψη για την επιθυμητή εννοιολογική αλλαγή ενώ παράλληλα δίνει μια ένδειξη της έκτασης και της φύσης του πνευματικού ταξιδιού που πρέπει να πραγματοποιήσει αυτός/ή που προσπαθεί να μάθει.»* (Scott et al., 1991).

Πάντως ένα σημαντικό ζήτημα, φαίνεται να είναι, το τι συμβαίνει με τις παλιές αναπαραστάσεις που κατά την εννοιολογική αλλαγή αντικαθίστανται από καινούργιες, όπως επίσης η διάρκεια των νέων αναπαραστάσεων και η συμπεριφορά τους στο χρόνο. Ένα ερώτημα που ίσως πρέπει να απαντηθεί από την εμπειρική έρευνα, είναι το αν οι παλιές αναπαραστάσεις εξαφανίζονται, η συνεχίζουν να υπάρχουν μέσα στις γνωστικές δομές των παιδιών (Vosniadou et al, 2001).

Ειδικά στο θέμα των παρανοήσεων 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 παρανοήσεις.

Στο θέμα της κίνησης οι παρανοήσεις των παιδιών εστιάζονται στη μη διάκριση μεταξύ θέσης-ταχύτητας, στη μη διάκριση μεταξύ ταχύτητας-επιτάχυνσης και στη μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων (Hestenes et al. 1992, Trowbridge and McDermott 1980, Driver, Squires, Rushworth and Wood-Robinson, 2000).

Ευρεία διάδοση έχει και η παρανόηση για το *impetus*, που τα παιδιά το θεωρούν σαν είδος εσωτερικής δύναμης/ορμής που κάνει τα σώματα να κινούνται (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al. 1992, Driver et al. 2000, Champagne et al. 1980, Brown 1989), ενώ στην ίδια «έννοια» η Viennot (1979) χρησιμοποίησε τον όρο «παροχή δύναμης» (supply of force). Η «έννοια» του *impetus*, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία και ερευνητικά δεδομένα, 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* (Clement 1982, Hestenes et al. 1992).

Μεγάλη σημασία στη δημιουργία των παρανοήσεων σε μαθητές/ριες 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 ομοίμορφη κίνηση προς τα μπροστά σε ευθεία γραμμή» (Hellingman, 1989).

Στο θέμα της δύναμης εμφανίζεται επίσης και η «έννοια» της ενεργού/ενεργητικής δύναμης που αναλύεται στις εξής παρανοήσεις: 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 and

Hestenes 1985, Hestenes et al. 1992, Viennot 1979, Champagne et al. 1980, Clement 1982, Jimoyiannis and Komis 2003, Driver et al., 2000).

Στο θέμα της δύναμης μια άλλη παρανόηση που εμφανίζεται είναι αυτή που συγχέει την έννοια της δύναμης με την έννοια της ενέργειας (Viennot 1979, Vosniadou et al. 2001). Ένα γενικό συμπέρασμα που φαίνεται να προκύπτει είναι ότι τα παιδιά χειρίζονται τη δύναμη σαν μια χωριστή οντότητα παρά σαν μια αλληλεπίδραση μεταξύ σωμάτων, ενώ η έννοια της δύναμης συγχέεται με άλλες έννοιες της φυσικής όπως ταχύτητα, ορμή, πίεση, ενέργεια. (Watts, 1983). Γι' αυτό το λόγο ο Arons (1992) προτείνει να αποφεύγεται διατυπώσεις της μορφής η δύναμη που «ενεργεί» και να προτιμώνται διατυπώσεις της μορφής η δύναμη που δρα/ασκείται κ.λπ.

Για τα ζεύγη δράσης αντίδρασης έχουν εντοπιστεί οι παρανοήσεις που θεωρούν ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη και ότι το πιο ενεργό/ενεργητικό σώμα (δράστης) προκαλεί μεγαλύτερη δύναμη (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al. 1992, Terry and Jones 1986, Maloney 1984, Clement 1982). Ο Maloney (1984) βρήκε ότι οι δυο παραπάνω παρανοήσεις εξηγούνται επειδή οι σπουδαστές/ριες των κολεγίων κάνουν χρήση ενός είδους κυρίαρχης αρχής, με βάση την οποία πιστεύουν ότι κατά τη διάρκεια μιας αλληλεπίδρασης, το κυρίαρχο αντικείμενο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη. Η κυριαρχία μπορεί να προέλθει από διάφορους λόγους, όπως: α) μεγαλύτερη μάζα, β) τον αρχικό δράστη της δύναμης (σε αντίθεση με τη δύναμη αντίδρασης). (Maloney 1984, Bao, Hogg and Zollman 2002). Στο ίδιο θέμα οι Bao et al. (2002) επισημαίνουν την ύπαρξη τεσσάρων φυσικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται συχνά από τους/ις μαθητές/ριες στους συλλογισμούς τους, εφαρμόζοντας την αρχή της κυριαρχίας, όταν εργάζονται με προβλήματα που έχουν σχέση με τον γ' νόμο: α) τη μάζα, β) τον «αρχικό δράστη» (the initiator of the action), γ) την ταχύτητα και δ) την επιτάχυνση.

Άλλη σχετική παρανόηση 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 and Jones 1986, Jimoyiannis and Komis 2003, Viennot 1979). Μετά από έρευνα που πραγματοποίησαν οι Κολοκοτρώνης και Σολομωνίδου (2002) κατέληξαν στις εξής προαντιλήψεις των παιδιών σε σχέση με τον γ' νόμο του Νεύτωνα και την έννοια της αλληλεπίδρασης: (1) αλληλεπίδραση υπάρχει όταν υπάρχει κίνηση η δυνατότητα κίνησης (στην αλληλεπίδραση των σωμάτων τουλάχιστον το ένα πρέπει να είναι «ενεργό»), (2) στη φύση οι δυνάμεις δεν εμφανίζονται κατ' ανάγκη σε ζεύγη, (3) στην αλληλεπίδραση υπάρχει ζεύγος δυνάμεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, έτσι εμφανίζονται τα ακόλουθα σφάλματα: (α) σφάλμα μέτρου, (β) χρονικό σφάλμα, (γ) σφάλμα σημείου εφαρμογής, (δ) σφάλμα διεύθυνσης, (4) αλληλεπίδραση υπάρχει όταν υπάρχει κατακόρυφη δύναμη λόγω

επαφής δύο σωμάτων (συνήθως αγνοείται η αλληλεπίδραση κάθε σώματος με τη Γη), (5) η κίνηση ενός σώματος είναι αποτέλεσμα της επίδρασης εσωτερικών δυνάμεων πάνω σ' αυτό και η τριβή δεν είναι δύναμη αντίθετη με την κίνηση πάνω στη διεύθυνσή της, αλλά έχει κατακόρυφη διεύθυνση, (6) αλληλεπίδραση υπάρχει κυρίως μεταξύ δύο σωμάτων που είναι «ίδια» η «παρόμοια», δηλαδή σωμάτων που έχουν κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. μέγεθος, σχήμα, μάζα, ταχύτητα), παρά μεταξύ διαφορετικών σωμάτων (συμμετρικές αναπαραστάσεις).

Όσον αφορά τη σχέση μεταξύ δύναμης – κίνησης έχουν εντοπιστεί οι εξής παρανοήσεις: η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση, ο συμβιβασμός των δυνάμεων καθορίζει την κίνηση, η δύναμη που δρα τελευταία καθορίζει την κίνηση (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al., 1992).

Σημαντική παρανόηση αποτελεί η άποψη για την ύπαρξη της φυγόκεντρης δύναμης, παρανόηση που εμφανίζεται πολύ συχνά και στις απόψεις των εκπαιδευτικών για την κυκλική κίνηση, οι οποίοι θεωρούν ότι η φυγόκεντρη είναι ένα ξεχωριστό είδος δύναμης (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al., 1992, Hellingman, 1989). Η Viennot (1979) θεωρεί ότι πολλά παιδιά αντιμετωπίζουν την κυκλική κίνηση σαν μια κατάσταση ισορροπίας κατά τη διεύθυνση της ακτίνας, κατά συνέπεια εμφανίζεται η διαισθητική ανάγκη για την ύπαρξη δυο ίσων και αντίθετων δυνάμεων (κεντρομόλος – φυγόκεντρη).

Μεγάλη διάδοση έχει και η παρανόηση που θεωρεί ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al. 1992, Clement 1982). Η γενικότερη παρανόηση για την έννοια της αντίστασης κατά την κίνηση ενός σώματος διαφοροποιείται στις επί μέρους παρανοήσεις που θεωρούν ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν και ότι κίνηση υπάρχει όταν η δύναμη υπερνικά την αντίσταση (Halloun and Hestenes 1985, Hestenes et al. 1992, Clement 1982).

Σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών έχουν οι παρανοήσεις που σχετίζονται με τη βαρύτητα και οι οποίες μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους παρανοήσεις 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 and Hestenes 1985, Hestenes et al., 1992, Champagne et al. 1980, Brown, 1989, Driver et al. 2000).

Στο σημείο αυτό πάντως, αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση που έκανε ο Warren (1984), και θεωρεί ότι σημαντικό μέρος ευθύνης για τη δημιουργία/ενίσχυση των παρανοήσεων έχουν τα σχολικά βιβλία και ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζουν τις έννοιες της μηχανικής. Παρατήρηση που δυστυχώς φαίνεται να είναι επίκαιρη ακόμη και σήμερα.

Τελικά αυτό που φαίνεται να έχει ιδιαίτερη σημασία είναι ότι τα παιδιά αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα με την κατανόηση των Νευτώνειων εννοιών. Σημαντικότεροι λόγοι γι' αυτό φαίνονται να είναι οι παρανοήσεις που διατηρούν τα παιδιά για αυτές τις έννοιες, η απροθυμία που δείχνουν να τις εγκαταλείψουν/αντικαταστήσουν και η αδυναμία της διδασκαλίας να τις αντιμετωπίσει επιτυχώς ώστε να προκαλέσει την απαιτούμενη εννοιολογική αλλαγή στις ιδέες των παιδιών. Προς αυτή τη κατεύθυνση μπορούν να βοηθήσουν σε μεγάλο βαθμό εργαλεία όπως το Force Concept Inventory (FCI), το οποίο μπορεί να ανιχνεύει/διαπιστώνει τις εναλλακτικές ιδέες που διατηρούν τα παιδιά για τις έννοιες της κλασσικής μηχανικής, όπως και να αξιολογεί τα αποτελέσματα της διδασκαλίας.

2⁰ ΚΕΦΑΛΑΙΟ - ΜΕΘΟΔΟΣ

Σκοπός, στόχοι έρευνας

Σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση της κατανόησης εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου καθώς και η αξιολόγηση της διδασκαλίας που πραγματοποιήθηκε με βάση τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκάλεσε.

Ειδικότεροι στόχοι της έρευνας ήταν.

Η διαπίστωση των κυριότερων παρανοήσεων που εμφανίζονται στα παιδιά πριν και μετά τη διδασκαλία. Η ανίχνευση της κατανόησης και των μαθησιακών αποτελεσμάτων και η εξακρίβωση της προόδου στις αντιλήψεις των παιδιών για έννοιες και φαινόμενα της μηχανικής.

Υπόθεση, ερωτήματα έρευνας

Η βασική υπόθεση της έρευνας που πραγματοποιήθηκε αφορούσε τον έλεγχο της διαδεδομένης άποψης μεταξύ εκπαιδευτικών και ερευνητών στη διδακτική των φυσικών επιστημών, που θεωρεί ότι το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας, δεν προκαλεί στους/ις μαθητές/ριες, ικανοποιητική κατανόηση εννοιών της κλασσικής μηχανικής (Halloun and Hestenes 1987, Hestenes et al. 1992, Hake 1998, Savinainen. and Scott. 2002).

Τα ερωτήματα που συνδέονται άμεσα με την παραπάνω υπόθεση και προσπάθησε να αντιμετωπίσει η έρευνα που πραγματοποιήθηκε είναι τα ακόλουθα: (α) Σε ποιο βαθμό εμφανίζονται μαθησιακά αποτελέσματα κάτω από επίδραση της παραδοσιακής διδασκαλίας σε συνάρτηση με το χρόνο φοίτησης των παιδιών; (β) Υπάρχει διάρκεια στα πιθανά μαθησιακά αποτελέσματα; (γ) Ποιες οι σημαντικότερες παρανοήσεις που διατηρούν τα παιδιά σχετικά με τις έννοιες της μηχανικής; (δ) Αντιμετωπίζει η διδασκαλία με επιτυχία τις παρανοήσεις των παιδιών;

Ερευνητικό εργαλείο, το Force Concept Inventory (FCI)

Βασικό εργαλείο της έρευνας ήταν το Force Concept Inventory (Hestenes, Wells, Swackhamer, 1992), που μέσα από τριάντα κατάλληλα δομημένες ερωτήσεις ανιχνεύει τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν τα παιδιά για τις Νευτώνειες έννοιες, αξιολογεί τη μάθηση

εννοιών, ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα μέσα από μια συγκριτική εφαρμογή να αξιολογήσει τα μαθησιακά αποτελέσματα καθώς και τη διδασκαλία που έχει προηγηθεί.

Η δημιουργία του Force Concept Inventory (FCI), ξεκίνησε από την ανάγκη για μια πιο αποτελεσματική διδασκαλία στο πεδίο των Νευτώνειων εννοιών. Ειδικά οι δημιουργοί του FCI διαπίστωσαν ότι: (1) οι κοινές πεποιθήσεις που φέρουν οι μαθητές/ριες για τη κίνηση και τη δύναμη είναι ασύμβατες με τις Νευτώνειες έννοιες σε πολλά σημεία, (2) ο συμβατικός τρόπος διδασκαλίας προκαλεί μικρές αλλαγές σ' αυτές τις απόψεις, και (3) τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από τον/ην διδάσκοντα/ουσα και από τον τρόπο της διδασκαλίας (Halloun and Hestenes 1985).

Άποψη των συγγραφέων είναι ότι για μια πιο αποτελεσματική διδασκαλία χρειάζεται κάτι περισσότερο από αφοσίωση και επιστημονική γνώση από τη μεριά των διδασκόντων/ουσών, χρειάζεται τεχνική γνώση για τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές/ριες σκέφτονται και μαθαίνουν.

Κύριος σκοπός του FCI, κατά τους συγγραφείς του, είναι η κατασκευή ενός εργαλείου, που θα βοηθήσει τους/ις διδάσκοντες/ουσες να διερευνήσουν και να εκτιμήσουν τις κοινές πεποιθήσεις/προαντιλήψεις των μαθητών/ριών τους, στο θέμα της δύναμης, που θεωρείται η κεντρική έννοια της Νευτώνειας μηχανικής.

Το FCI αναπτύχθηκε με σκοπό να αξιολογήσει/εκτιμήσει την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας της φυσικής όσον αφορά έναν ελάχιστο κοινά αποδεκτό στόχο επίδοσης: την διδασκαλία των παιδιών στο πώς να ξεχωρίζουν αξιόπιστα την εφαρμογή των επιστημονικών εννοιών από την απλές εναλλακτικές σε συνήθεις φυσικές καταστάσεις (Hestenes 1996).

Δομή και ερμηνεία του ερωτηματολογίου (inventory)

Οι ερωτήσεις του FCI απαιτούν μια υποχρεωτική επιλογή ανάμεσα σε απαντήσεις που εκφράζουν σε μια νευτώνεια έννοια και τις κοινές εναλλακτικές απόψεις/παρανοήσεις 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 δομή του FCI βασίζεται στην ανάλυση της έννοιας της δύναμης σε έξι εννοιολογικές διαστάσεις, οι οποίες θεωρούνται εξίσου απαραίτητες.

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

Πίνακας 1

0. Κινηματική Κ1. μη διαχωρισμός ταχύτητας – θέσης Κ2. μη διαχωρισμός ταχύτητας – επιτάχυνσης Κ3. μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων
1. Impetus (εσωτερική κινούσα δύναμη/ «ορμή») Ι1. παροχή impetus από «κτύπημα» Ι2. απώλεια/ανάκτηση του αρχικού impetus Ι3. κατανάλωση/εξάντληση του impetus Ι4. βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του impetus Ι5. κυκλικό impetus
2. Ενεργή δύναμη ΕΔ1. μόνο τα ενεργά/ενεργητικά σώματα ασκούν δυνάμεις ΕΔ2. κίνηση σημαίνει ενεργή/ενεργητική δύναμη ΕΔ3. όχι κίνηση σημαίνει όχι δύναμη ΕΔ4. η ταχύτητα ανάλογη της δύναμης που ασκείται ΕΔ5. επιτάχυνση σημαίνει δύναμη που αυξάνεται ΕΔ6. η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα ΕΔ7. οι ενεργές/ενεργητικές δυνάμεις εξαντλούνται
3. Ζεύγη Δράσης/Αντίδρασης ΔΑ1. μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη ΔΑ2. τα περισσότερα ενεργά/ενεργητικά σώματα ασκούν μεγαλύτερη δύναμη
4. Ακολουθία/Ταξινόμηση των επιδράσεων (concatenation of influences) ΑΕ1. η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση ΑΕ2. ο «συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση ΑΕ3. η δύναμη που ενήργησε τελευταία καθορίζει την κίνηση
5. Άλλες επιδράσεις στην κίνηση ΦΔ. Φυγόκεντρη δύναμη Εμ. Τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις Αντίσταση Α1. η μάζα κάνει τα σώματα να σταματάν Α2. όταν η δύναμη υπερνικάει την αντίσταση έχουμε κίνηση Α3. η αντίσταση αντιτίθεται στη δύναμη/impetus Βαρύτητα 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

Όσον αφορά αυτές τις έξι διαστάσεις, οι συγγραφείς, μεταξύ άλλων, σημειώνουν τα εξής

0. Κινηματική

Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι η κοινή άποψη για την έννοια της κίνησης είναι ασαφής, αόριστη και αδιαφοροποίητη. Κατά συνέπεια έχει μεγάλη σημασία η διερεύνηση της ικανότητας των παιδιών, από το FCI, για την ικανότητα διάκρισης μεταξύ θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης, όπως και η αναγνώριση της διανυσματικής φύσης της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

1. Impetus (εσωτερική κινούσα δύναμη/ορμή)

Ο όρος impetus αναφέρεται στα χρόνια πριν το Γαλιλαίο, προτού η έννοια απαξιωθεί επιστημονικά. Φυσικά οι μαθητές/ριες δεν κάνουν ποτέ τη χρήση του όρου impetus, αλλά προτιμούν τη χρήση διάφορων όρων, με μεγαλύτερη συχνότητα του όρου «δύναμη». Το impetus θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει μια άψυχη «κινούσα δύναμη/ισχύ» ή μια «εσωτερική δύναμη/ορμή» που συντηρεί την κίνηση των σωμάτων. Η πίστη κάποιου/ας μαθητή/ριας στο impetus είναι ένδειξη ότι δεν έχει κατανοήσει τον α' νόμο του Νεύτωνα. Θεωρείται ότι κάθε σώμα έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει, άρα και να παράσχει, κάποια ποσότητα impetus, όπως ένα αυτοκίνητο τη βενζίνη.

2. Ενεργός/ενεργητική δύναμη (active force)

Η ενεργός δύναμη αποδίδεται μόνο σε συγκεκριμένους «ενεργούς/ενεργητικούς δράστες» (active agents), συνήθως ζωντανά όντα, που έχουν την ικανότητα να προκαλούν κίνηση, να δημιουργούν impetus και να το μεταφέρουν σε άλλα σώματα, όπως όταν ένα παιδί πετάει μια μπάλα. Κύριο χαρακτηριστικό των ενεργών/ενεργητικών δυνάμεων είναι ότι προκαλούν κίνηση. Όσον αφορά τους ενεργούς δράστες, αυτοί έχουν κάποια όρια: μια περιορισμένη ικανότητα να προκαλούν κίνηση και μια τάση να εξαντλούνται.

3. Ζεύγη Δράσης/Αντίδρασης

Τα παιδιά συχνά ερμηνεύουν τον όρο «αλληλεπίδραση» σαν μια «μεταφορά σύγκρουσης». Βλέπουν την αλληλεπίδραση σαν μια «πάλη μεταξύ αντιτιθέμενων δυνάμεων». Αυτό προκύπτει από την αναλογία ότι «η νίκη ανήκει στον ισχυρότερο». Κατά συνέπεια τα παιδιά βλέπουν σαν παράλογο τον γ' νόμο του Νεύτωνα και προτιμούν μια εκδοχή της κυρίαρχης αρχής: Σε μια σύγκρουση, ο «πιο ισχυρός» εξασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη. Εδώ «ο πιο ισχυρός» μπορεί να σημαίνει «μεγαλύτερος», «μεγαλύτερη μάζα» ή «περισσότερο ενεργός». Εξαιτίας αυτής της ισχυρής αναλογικής βάσης, η κυρίαρχη αρχή (αν και σπάνια εκφράζεται ξεκάθαρα), είναι τόσο φυσική για τα παιδιά ώστε αποτελεί από τις τελευταίες παρανοήσεις που πρέπει να υπερνικηθούν κατά τη μετάβαση στο Νευτώνειο τρόπο σκέψης.

4. Ακολουθία/ταξινόμηση των επιδράσεων (concatenation of influences)

Η κοινή λογική προσφέρει μια σειρά από εναλλακτικές στη Νευτώνεια αρχή της σύνθεσης/υπέρθεσης δυνάμεων (superposition principle). Οι μαθητές/ριες συχνά εφαρμόζουν την αρχή της κυριαρχίας στη σύνθεση δυο δυνάμεων που ενεργούν σε ένα σώμα, με τη μια δύναμη να υπερνικά την άλλη. Στην πραγματικότητα, πολλές φορές συγχέουν τα ζεύγη δράσης/αντίδρασης με την σύνθεση δυνάμεων αντίθετης κατεύθυνσης που ενεργούν στο ίδιο σώμα. Και αυτό αποτελεί

ένα κλασσικό παράδειγμα φτωχά διαφοροποιημένων εννοιών, τυπικό χαρακτηριστικό της κοινής λογικής.

5. Άλλες επιδράσεις στην κίνηση

Στο κόσμο της κοινής λογικής, τα εμπόδια όπως οι καρέκλες και οι τοίχοι δεν ασκούν δυνάμεις, «απλά μπαίνουν στο δρόμο». Η μάζα θεωρείται ότι είναι ένα είδος αντίστασης, επειδή «αντιστέκεται» στις προσπάθειες ενός ενεργού δράστη. Η κίνηση συμβαίνει μόνο όταν η ενεργή δύναμη «ξεπερνάει» την αντίσταση, και σταματάει μόνο όταν η δύναμη γίνει «πολύ αδύναμη».

Στο κόσμο της κοινής λογικής, η «βαρύτητα» δεν είναι απαραίτητα το ίδιο όπως η «βαρυντική δύναμη». Όταν ταυτίζονται, έχουμε την εμφάνιση της παρανόησης «τα βαρύτερα αντικείμενα πέφτουν γρηγορότερα» που μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ειδική περίπτωση της παρανόησης «επιτάχυνση σημαίνει αυξανόμενη δύναμη». Πάντως η αντίληψη που κρύβεται από κάτω είναι ζήτημα κλίμακας, για το οποίο δεν έχει επίγνωση η κοινή λογική. Θεωρείται ότι η βαρύτητα μεταβάλλεται σημαντικά μέσα σε λίγα μέτρα, ενώ η μεταβολή της στη πραγματικότητα συνδέεται με μεταβολή απόστασης χιλιάδων χιλιομέτρων.

Αποτελέσματα από β/θμια εκπαίδευση (high-school results)

Από την ανάλυση αποτελεσμάτων του FCI από τα γυμνάσια των ΗΠΑ, οι συγγραφείς κατέληξαν στο ότι: α) το μαθηματικό υπόβαθρο των μαθητών/ριών δεν αποτελεί κύριο παράγοντα στην επίδοση στο FCI, β) η επίδοση στο post-test βρέθηκε ότι είναι ανεξάρτητη από το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο των σχολείων, αναφέροντας όμως ότι οι μαθητές/ριες που επιλέγουν τη φυσική, δεν αποτελούν τυπικό δείγμα του μαθητικού πληθυσμού του σχολείου τους, γ) η επίδοση στο post-test δε βρέθηκε να έχει σχέση με το επίπεδο ικανότητας του/ης εκπαιδευτικού, ενώ δε θεωρείται πιθανό η επίδοση των μαθητών/ριών να ξεπεράσει την επίδοση του/ης εκπαιδευτικού που τους/ις δίδαξε.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ της παραδοσιακής διδασκαλίας και μιας νέας προσέγγισης που βασιζόταν στη χρήση των νέων τεχνολογιών, και του εργαστηρίου, χωρίς διαλέξεις αλλά με αρκετή συζήτηση και με τη χρήση ειδικών τεχνικών για να την προκαλέσουν, έδειξε ότι παραδοσιακή διδασκαλία δε μπορεί να πετύχει τα σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα που μπορεί να έχει ο άλλος τρόπος. Στη περιπτώσεις που η χρήση του νέου τρόπου διδασκαλίας δε πέτυχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αυτό οφειλόταν στην υπερβολική ενασχόληση των εκπαιδευτικών με το «τεχνικό» μέρος της διδασκαλίας, (χρήση των υπολογιστών, εργαστηριακές δραστηριότητες, τεχνική συζητήσεων), χάνοντας έτσι την ουσία που αποτελεί η παιδαγωγική χρήση όλων αυτών, ώστε να γίνουν αποτελεσματικά. Κάνοντας έτσι για μια ακόμα φορά φανερό

ότι η τεχνολογία από μόνη της δε μπορεί να βελτιώσει τη διδασκαλία και ότι το καλύτερο που μπορεί να κάνει είναι να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα μιας καλής παιδαγωγικής.

Εγκυρότητα αξιοπιστία του test

Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι το Force Concept Inventory σχεδιάστηκε για να βελτιώσει τον προκάτοχό του, το Mechanics Diagnostic Test (MDT). Τα αρχικά αποτελέσματα που είχε δώσει η χρήση του MDT έχουν αναπαραχθεί αρκετές φορές από διάφορους, όπως και τα επιπλέον αποτελέσματα που έδωσε η χρήση του FCI σε χιλιάδες μαθητές/ριες και σπουδαστές/ριες, ενισχύουν την άποψη για το ότι αποτελεί ένα έγκυρο και αξιόπιστο test για την κατανόηση των εννοιών της Νευτώνειας μηχανικής. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ύπαρξης ταυτόσημων αποτελεσμάτων του test, για διαφορετικούς διδάσκοντες/ουσες, που αφορούσαν πάνω από χίλιους μαθητές. Αυτό το στοιχείο, πέρα από το ότι ενισχύει την εγκυρότητα του test, αποτελεί και μια ισχυρή στατιστική ένδειξη για το ότι τα αποτελέσματα της παραδοσιακής διδασκαλίας είναι ανεξάρτητα από τον/ην διδάσκοντα/ουσα.

Η επικύρωση της αξιοπιστίας του test έγινε και μέσα από συνεντεύξεις μαθητών/ριών για τις απαντήσεις που έδωσαν στις ερωτήσεις του FCI. Τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων έδειξαν ότι οι μαθητές/ριες επέλεξαν τις απαντήσεις με βάση σαφείς αιτιολογήσεις, ενώ σε πάρα πολλές περιπτώσεις ήταν εκπληκτικό το πόσο προβλέψιμες ήταν οι απαντήσεις των παιδιών, (“σαν να απήγγειλαν τις απαντήσεις από προηγούμενες συνεντεύξεις”). Σπάνιες ήταν οι μη Νευτώνειες επιλογές από παιδιά που κατείχαν την αντίστοιχη Νευτώνεια έννοια, ενώ περισσότερο συχνές ήταν οι Νευτώνειες επιλογές για μη Νευτώνειους λόγους.

Ένα ανησυχητικό στοιχείο που βγήκε από τις συνεντεύξεις ήταν ότι κάποιοι μαθητές/ριες είχαν αρκετές δυσκολίες με τη γλώσσα και με τη κατανόηση του κειμένου. Στις περισσότερες περιπτώσεις αιτία ήταν η παράβλεψη της κρίσιμης σημασίας κάποιων «μικρών λέξεων», όπως οι προθέσεις στον προσδιορισμό του νοήματος.

Έως το 1996 το FCI είχε δοθεί σε πάνω από 12.000 μαθητές/ριες σε 100 διαφορετικά γυμνάσια – λύκεια, κολέγια και πανεπιστήμια σε όλες τις ΗΠΑ. Αυτή η μεγάλη βάση παρουσιάζει μια πολύ συνεπή, αμετάβλητη εικόνα που δείχνει ότι το FCI είναι ένα στατιστικά αξιόπιστο εργαλείο, δυνάμενο να αντιληφθεί λεπτές διαφορές πάνω στην επίδοση των παιδιών όσον αφορά την κατανόηση των βασικών εννοιών της κλασικής μηχανικής (Hestenes 1996).

Χρήσεις του Force Concept Inventory

Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι το Force Concept Inventory δεν είναι «απλά ένα άλλο test φυσικής», αλλά ένα εργαλείο που αξιολογεί την συνολική κατανόηση των μαθητών/ριών της Νευτώνειας έννοιας της δύναμης. Η κύριες χρήσεις του FCI εντοπίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

A) Σαν διαγνωστικό εργαλείο το FCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αναγνώριση και ταξινόμηση των παρανοήσεων. Η καλύτερη επίγνωση των παρανοήσεων από τους/ις διδάσκοντες/ουσες μπορεί να γίνει και με τη χρήση συνεντεύξεων βασισμένων στο FCI, όπου οι μαθητές/ριες θα ερωτηθούν να εξηγήσουν τους λόγους για τις επιλογές που έκαναν.

B) Για την αξιολόγηση της διδασκαλίας. Οι χαμηλές επιδόσεις στα post – test δε θα πρέπει να αποδίδονται στο φτωχό υπόβαθρο των μαθητών/ριών, αλλά η κύρια ανεπάρκεια είναι πιθανότερο να βρίσκεται στο τρόπο διδασκαλίας. Για το σκοπό αυτό, οι συγγραφείς ισχυρίζονται με βάση στοιχεία που έχουν συλλέξει από την ευρεία χρήση του, ότι το FCI αποτελεί ένα ακριβές και αξιόπιστο εργαλείο για την αξιολόγηση του τρόπου διδασκαλίας.

Γ) Σαν μια εξέταση διαχωρισμού των μαθητών σε επίπεδα ικανότητας, το FCI έχει περιορισμένη αξία στο γυμνάσιο- λύκειο, καθώς δεν είναι ένα test ικανοτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα κολλέγια η πανεπιστήμια, με σκοπό την εξακρίβωση για το αν το επίπεδο κατανόησης των φοιτητών/ριών της εισαγωγικής φυσικής είναι επαρκές για έναν πιο προχωρημένο κύκλο μαθημάτων. Για αυτό το σκοπό πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Mechanics Baseline Test, η με κάποιο άλλη δοκιμασία.

Ξεπερνώντας τις παρανοήσεις

Όσον αφορά την προσπάθεια για το ξεπέραςμα των παρανοήσεων των παιδιών και για την επίτευξη αξιόλογης εννοιολογικής αλλαγής, οι συγγραφείς σημειώνουν ότι πρώτα απ' όλα απαιτείται βαθιά γνώση των διδακτικών τεχνικών από τη μεριά των διδασκόντων/ουσών. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται μια αποσπασματική αντιμετώπιση των παρανοήσεων, που να κατευθύνεται σε κάθε μια χωριστά, αλλά να διδάσκεται η έννοια της δύναμης με έναν ενιαίο τρόπο που να περιλαμβάνει και τα έξι από τα κύρια χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί στην αρχή, (βλέπε πίνακα 1) Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο οι παρανοήσεις των παιδιών πρέπει να εκμαιεύονται και να αντιμετωπίζονται όταν πρόκειται να συγκρουστούν με τις Νευτώνειες έννοιες. Ο/Η εκπαιδευτικός πρέπει να περιμένει/προβλέπει το σημείο στο οποίο η συζήτηση των παρανοήσεων πρόκειται να αποβεί περισσότερο αποδοτική και να παρεμβαίνει κατάλληλα καθοδηγώντας τη συζήτηση προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Αυτό βέβαια απαιτεί σχεδιασμό, προετοιμασία και εμπειρία.

Υπεράνω όλων των παρανοήσεων, οι συγγραφείς θέτουν την παρανόηση για την έννοια του impetus για την κίνηση και την αρχή της κυριαρχίας ή την έννοια της σύγκρουσης για την αλληλεπίδραση. Θεωρούν ότι πριν την επίλυση προβλημάτων θα πρέπει να έχει προηγηθεί η ανάπτυξη άλλων δεξιοτήτων από τη μεριά των παιδιών, όπως είναι η γραφική και διαγραμματική αναπαράσταση της κίνησης και των δυνάμεων. Πιστεύουν ότι υπάρχει ένα εννοιολογικό κατώφλι που είναι κοντά στο 60% της επίδοσης στο FCI, κάτω από αυτό το κατώφλι η κατανόηση των παιδιών στις Νευτώνειες έννοιες δεν επιτρέπει αποτελεσματική επίλυση προβλημάτων. Για τους/ις μαθητές/ριες με επιδόσεις κάτω του 60% στο FCI, είναι σημαντικό να λαμβάνονται οι παρανοήσεις τους σοβαρά υπ' όψη.

Δείγμα

Το FCI δόθηκε σε 523 μαθητές/ριες των τάξεων β' γυμνασίου (98 παιδιά), γ' γυμνασίου (158 παιδιά), α' λυκείου (188 παιδιά) και β' λυκείου (79 παιδιά). Τα σχολεία προέρχονταν από την αστική περιοχή της πόλης των Σερρών, καθώς και από τη γύρω ημιαστική/γεωργική περιοχή. Όλα τα παιδιά είχαν παρακολουθήσει μαθήματα με βάση το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό μοντέλο, που βασίστηκε στις διαλέξεις, παρουσιάσεις και επιδείξεις πειραμάτων. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, όπου συνέβη αυτό, ήταν σε μορφή επίδειξης και περιορίστηκαν στα απαιτούμενα από το Υπουργείο, 2 με 3 πειράματα όλη τη χρονιά.

Η επιλογή της συμμετοχής στην έρευνα και μαθητών/ριών από τη β' γυμνασίου, αν και σε αυτή τη τάξη τα παιδιά δεν έχουν διδαχθεί κλασική μηχανική, έγινε ώστε να υπάρχει μια βάση πάνω στην οποία θα μπορούσαν να αναλυθούν τα ευρήματα, καθώς τα παιδιά αυτά θα έδιναν απαντήσεις με βάση τις εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν σχηματισμένες για τις διάφορες Νευτώνειες έννοιες (Hake 1998).

Μέθοδος συλλογής ερευνητικών δεδομένων

Η έρευνα διεξήχθη τον Απρίλιο – Μάιο του 2007, με τη λήξη του σχολικού έτους, κατά συνέπεια οι μαθητές/ριες της α' λυκείου και της γ' γυμνασίου είχαν ήδη διδαχθεί τις έννοιες της κλασικής μηχανικής. Στην έρευνα δεν υπάρχει συμμετοχή μαθητών/ριών από τη γ' λυκείου επειδή αυτό το χρονικό διάστημα (Μάιος), οι περισσότεροι τελειόφοιτοι απουσιάζουν από τα σχολεία με σκοπό τη καλύτερη προετοιμασία τους για τις επικείμενες Πανελλήνιες εξετάσεις του Μαΐου.

Τα ερωτηματολόγια που συμπληρώθηκαν ήταν ανώνυμα, ενώ γινόταν σαφές στους μαθητές/ριες ότι η επίδοσή τους σ' αυτό δε θα είχε καμία επίπτωση στην αξιολόγηση τους στο σχολικό μάθημα και ότι η δοκιμασία αυτή είχε σαν σκοπό να αξιολογήσει τον τρόπο με τον οποίο έγινε η διδασκαλία στο μάθημα της φυσικής. Αυτό είχε σαν συνέπεια τα περισσότερα παιδιά να δείξουν ενδιαφέρον και να ασχοληθούν σοβαρά με την απάντηση του ερωτηματολογίου. Ο χρόνος που αφιερώθηκε για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου ήταν μια διδακτική ώρα.

Διαδικασία επεξεργασίας απαντήσεων

Μετά τη συλλογή των απαντημένων ερωτηματολογίων έγινε εισαγωγή των δεδομένων στο στατιστικό πακέτο SPSS. Συγκεκριμένα για κάθε μαθητή/ρια εισήχθησαν οι εξής μεταβλητές: βαθμός επίδοσης στο FCI (άριστα το 30) που αποτελούσε και την εξαρτημένη μεταβλητή της έρευνας, φύλο, τάξη φοίτησης, σχολείο, περιοχή σχολείου, επάγγελμα γονέων, κατεύθυνση. Εισήχθησαν και 30 μεταβλητές που αντιστοιχούσαν στις ερωτήσεις του test και σε κάθε μεταβλητή/ερώτηση σημειώθηκε η απάντηση που επέλεξε ο/η κάθε μαθητής/ρια.

Με αυτό τον τρόπο δόθηκε η δυνατότητα προσέγγισης των ερευνητικών δεδομένων με δυο διαφορετικές τρόπους:

1. Μια προσέγγιση που βασίστηκε στα ποσοστά που πήρε κάθε απάντηση της δοκιμασίας για κάθε τάξη, με αυτό τον τρόπο έγινε δυνατό:
 - a. να αναλυθούν τα αποτελέσματα με βάση το ποσοστό που πήρε η σωστή επιλογή της κάθε ερώτησης ανά τάξη, με στόχο να εντοπιστούν τα πιθανά μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με το χρόνο φοίτησης,
 - b. να αναλυθούν τα αποτελέσματα με βάση τα ποσοστά των εναλλακτικών απαντήσεων ανά τάξη, με στόχο να διαπιστωθεί η ισχύς και η διάρκεια των παρανοήσεων στο χρόνο.
2. Μια προσέγγιση που βασίστηκε στην επίδοση των παιδιών στο FCI, πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS και είχε τα εξής σκέλη:
 - a. σύγκριση των επιδόσεων ανά τάξη, με τη χρήση του μη παραμετρικού κριτηρίου Kruskal- Wallis, επειδή δεν υπήρχε ομοιογένεια διασπορών στα διάφορα δείγματα που θα επέτρεπε την εφαρμογή του κριτηρίου ANOVA.
 - b. σύγκριση των επιδόσεων με βάση το φύλο για το σύνολο του δείγματος, με τη χρήση του T-test,
 - c. σύγκριση των επιδόσεων με βάση τη περιοχή του σχολείου προέλευσης των μαθητών (αστική, ημιαστική-γεωργική), με τη χρήση του T-test.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Συγκρίσεις απαντήσεων ανά τάξη

Ακολουθεί ανάλυση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές/ριες στις 30 ερωτήσεις της δοκιμασίας του FCI. Σε κάθε ερώτηση σημειώνονται οι 5 προτεινόμενες απαντήσεις (τέσσερις εναλλακτικές και η σωστή επιλογή), με τα ποσοστά που πήρε η κάθε επιλογή ανά τάξη. Με βάση τα ποσοστά αυτά για κάθε ερώτηση, επιχειρούνται εκτιμήσεις που έχουν σχέση με τα μαθησιακά αποτελέσματα και με την αντιμετώπιση των παρανοήσεων από τη διδασκαλία.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ανεξάρτητη από το βάρος των σωμάτων (επιλογή C).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση παρανοήσεων σχετικά με τη βαρύτητα και κυρίως της άποψης που θεωρεί ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα (εναλλακτικές A, D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 2 (ερώτηση 1)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
A*	38	38,8	45	28,5	44	23,4	29	36,7
B	8	8,2	10	6,3	15	8,0	3	3,8
C**	12	12,2	34	21,5	92	48,9	23	29,1
D	33	33,7	54	34,2	30	16,0	19	24,1
E	7	7,1	15	9,5	7	3,7	5	6,3
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι οι εναλλακτικές ιδέες A και D που εκφράζουν τη παρανόηση ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα λαμβάνουν ένα σημαντικό μέρος των προτιμήσεων των παιδιών όλων των τάξεων που κυμαίνεται από 40% στην α' λυκείου μέχρι 70% στη β' γυμνασίου, ενώ σημαντικό θεωρείται το 61% της β' λυκείου. Τα στοιχεία αυτά δηλώνουν την ισχύ της παρανόησης και ως προς τη διάρκεια της στο χρόνο και ως προς την έκταση της επίδρασης της στις ιδέες των παιδιών για τη βαρύτητα.

*: Σε γκρι φόντο είναι οι απαντήσεις που αφορούν στις σημαντικότερες παρανοήσεις

** : Σε κίτρινο φόντο είναι η σωστή επιλογή

Η σωστή επιλογή είναι η C, και με βάση τα ποσοστά της βλέπουμε να υπάρχει αξιολογή επιδραση της διδασκαλίας στην α' λυκείου, όχι όμως και στη γ' γυμνασίου, ενώ υπάρχει σημαντική μείωση στο ποσοστό της β' λυκείου.

Τα στοιχεία αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα μαθησιακά αποτελέσματα υπήρξαν αρκετά ικανοποιητικά (48,9%) μόνο στην α' λυκείου, ενώ φαίνεται ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε με ιδιαίτερη επιτυχία την παρανόηση που θεωρεί ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 2 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ανεξάρτητη από το βάρος των σωμάτων.

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που είναι σχετικές με τη βαρύτητα και κυρίως της άποψης ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 3 (ερώτηση 2)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμιά	2	2,0	4	2,5	4	2,1		
A	11	11,2	34	21,5	57	30,3	18	22,8
B	35	35,7	46	29,1	45	23,9	18	22,8
C	16	16,3	14	8,9	25	13,3	15	19,0
D	23	23,5	42	26,6	39	20,7	25	31,6
E	11	11,2	18	11,4	18	9,6	3	3,8
σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι οι εναλλακτικές B, D που εκφράζουν την παρανόηση ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα λαμβάνουν υψηλά ποσοστά σε κάθε τάξη (45 έως 60%), αυτό το στοιχείο δείχνει την κυριαρχία αυτής της παρανόησης σε όλες τις τάξεις και την ανθεκτικότητα της απέναντι στη συμβατική διδασκαλία.

Για τη σωστή επιλογή A, βλέπουμε ότι το ποσοστό της δεν αυξήθηκε σημαντικά με τη διδασκαλία, ποτέ δε ξεπέρασε το 30%, ενώ στη β' λυκείου επανήλθε στα επίπεδα της γ' γυμνασίου.

Αυτές οι διαπιστώσεις σε συνδυασμό με τις διαπιστώσεις για την ερώτηση 1, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η παρανόηση ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη διδασκαλία, ενώ λιγότερο από το ένα τρίτο των μαθητών/ριών κατανοεί τελικά ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ανεξάρτητη από το βάρος του σώματος.

ΕΡΩΤΗΣΗ 3 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας παραμένει σταθερή για μικρά σχετικά ύψη από την επιφάνεια της Γης.

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των εξής παρανοήσεων: ότι η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων, και ότι η επιτάχυνση προϋποθέτει μια δύναμη που αυξάνεται (εναλλακτική απάντηση Β), απώλεια της impetus του σώματος, η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα (εναλλακτική Α), η βαρύτητα υπάρχει μέσα στα σώματα (εναλλακτική D), η πίεση του αέρα επιδρά στη βαρύτητα(Ε).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 4 (ερώτηση 3)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία			1	,6			1	1,3
A	7	7,1	20	12,7	23	12,2	7	8,9
B	61	62,2	80	50,6	75	39,9	45	57,0
C	12	12,2	30	19,0	49	26,1	10	12,7
D	9	9,2	8	5,1	13	6,9	3	3,8
E	9	9,2	19	12,0	28	14,9	13	16,5
σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η εναλλακτική απάντηση Β (η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων, η επιτάχυνση προϋποθέτει μια δύναμη που αυξάνεται), συγκεντρώνει υψηλά ποσοστά (40 έως 60%) σε όλες τις τάξεις, πράγμα που δηλώνει την ισχύ και τη διάδοση της παρανόησης. Ένα σταθερό ποσοστό των παιδιών, που δείχνει να αυξάνεται με το χρόνο φοίτησης (10-15%), δείχνει να θεωρεί ότι η πίεση του αέρα επιδρά στη βαρύτητα. Οι υπόλοιπες εναλλακτικές απαντήσεις δε συγκεντρώνουν σημαντικά ποσοστά, που σημαίνει ότι οι παρανοήσεις που εκφράζουν δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ιδέες των παιδιών.

Για τη σωστή επιλογή Α, φαίνεται ότι το ποσοστό της δεν αυξάνεται σημαντικά με το χρόνο φοίτησης, ενώ στη καλύτερη περίπτωση (α' λυκείου) μόλις το ένα τέταρτο των μαθητών/ριών φαίνεται να κατανοεί ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας παραμένει σταθερή για μικρά σχετικά ύψη.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν πέτυχε να αντιμετωπίσει με επιτυχία την παρανόηση ότι η βαρύτητα αυξάνεται κατά τη πτώση των

σωμάτων, όπως και το ότι δεν είχε σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα σχετικά με την έννοια της επιτάχυνσης της βαρύτητας και το χαρακτηριστικό της σταθερότητας της τιμής της για σχετικά μικρά ύψη.

ΕΡΩΤΗΣΗ 4 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι κατά την αλληλεπίδραση δυο σωμάτων (γ' νόμος του Νεύτωνα) οι στιγμιαίες ωστικές 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

Πίνακας 5 (ερώτηση 4)

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

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι υπάρχει εντυπωσιακή επικράτηση στις τάξεις του γυμνασίου, με ποσοστά πάνω από 60%, της εναλλακτικής απάντησης A, 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 A, 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 παρανόηση που εκφράζει την γενικότερη αρχή της κυριαρχίας (Hestenes et al., 1992) κατά την αλληλεπίδραση δυο σωμάτων.

ΕΡΩΤΗΣΗ 5 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τη σημασία της κεντρομόλου επιτάχυνσης.

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση της ύπαρξης και της έκτασης των παρανοήσεων για τη φυγόκεντρη δύναμη (εναλλακτική E) και για το κυκλικό impetus (εναλλακτικές C, D, E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 6 (ερώτηση 5)

	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμιά	1	1,0	5	3,2	3	1,6		
A	8	8,2	16	10,1	21	11,2	18	22,8
B	13	13,3	13	8,2	44	23,4	12	15,2
C	41	41,8	73	46,2	48	25,5	22	27,8
D	23	23,5	24	15,2	40	21,3	16	20,3
E	12	12,2	27	17,1	32	17,0	11	13,9
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται η μεγάλη επίδραση που ασκεί στις ιδέες των παιδιών η παρανόηση για το impetus (ύπαρξη εσωτερικής «δύναμης/ορμής» στο σώμα) και ειδικά για το κυκλικό impetus. Τα ποσοστά που παίρνουν οι αντίστοιχες εναλλακτικές C, D, E είναι πάνω από 60% στο λύκειο και κοντά στο 80% στο γυμνάσιο. Ειδικά για την εναλλακτική E που εκφράζει και

την παρανόηση για την ύπαρξη φυγόκεντρης δύναμης, φαίνεται να υπάρχει μια «περίεργη» μικρή αύξηση με το χρόνο.

Για τη σωστή επιλογή Β, βλέπουμε ότι το ποσοστό της μειώνεται στην γ' γυμνασίου!, αυξάνεται ελαφρά στην α' λυκείου και υποχωρεί λίγο στη β' λυκείου. Σε καμιά περίπτωση όμως δε ξεπερνά το 23%, στοιχείο πού ως ένα βαθμό εξαρτάται από τη δυσκολία του θέματος, αλλά μάλλον έχει να κάνει και με τον τρόπο της διδακτικής προσέγγισης που ακολουθείται. Επίσης πρέπει να σημειωθεί και το γεγονός ότι για το λύκειο, στη περιοχή τιμών 15% – 25%, εμφανίζονται οι τιμές των ποσοστών σχεδόν όλων των απαντήσεων, στοιχείο που πιθανό να δηλώνει τη σύγχυση που υπάρχει στα παιδιά σχετικά με την έννοια της κεντρομόλου δύναμης και τη κυκλική κίνηση γενικότερα.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το ζήτημα της κυκλικής κίνησης παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία για τους μαθητές/ριες, η διδασκαλία παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλά μαθησιακά αποτελέσματα ενώ δεν αντιμετωπίζει με επιτυχία τις παρανοήσεις που είναι σχετικές με το θέμα (κυκλικό *impetus*, φυγόκεντρη δύναμη), οι οποίες φαίνεται να παραμένουν εντελώς ανεπηρέαστες από τις διδακτικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται.

ΕΡΩΤΗΣΗ 6 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν την εφαρμογή του α' νόμου του Νεύτωνα όταν δεν ενεργούν δυνάμεις στο σώμα (όταν σε ένα σώμα δεν ενεργούν δυνάμεις η κινητική κατάσταση του σώματος παραμένει σταθερή).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που εκφράζουν την ύπαρξη κυκλικού *impetus* (εναλλακτική απάντηση Α), την ύπαρξη φυγόκεντρης δύναμης (εναλλακτικές C, D, E) και την άποψη ότι ο «συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση (εναλλακτική D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 7 (ερώτηση 6)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	1	1,0			1	,5	1	1,3
A	36	36,7	51	32,3	62	33,0	31	39,2
B	44	44,9	94	59,5	100	53,2	40	50,6
C	8	8,2	7	4,4	10	5,3	4	5,1
D	2	2,0	1	,6	4	2,1	2	2,5
E	7	7,1	5	3,2	11	5,9	1	1,3
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η σημαντικότερη παρανόηση που εκφράζουν τα παιδιά σε αυτήν την ερώτηση είναι της ύπαρξης κυκλικού impetus (εναλλακτική A), στην οποία δείχνει σταθερή προτίμηση το ένα τρίτο των παιδιών κάθε τάξης.

Για τη σωστή επιλογή (B), φαίνεται ότι ήδη από τη β' γυμνασίου ξεκινά με ένα πολύ καλό ποσοστό (45%), το οποίο όμως ενώ αυξάνεται αξιόλογα στη γ' γυμνασίου, κατόπιν παρατηρείται μια μικρή μείωση.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετωπίζει με επιτυχία τη παρανόηση για την ύπαρξη κυκλικού impetus, ενώ δεν προκαλεί και αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 7 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν την εφαρμογή του α' νόμου του Νεύτωνα όταν δεν ενεργούν δυνάμεις στο σώμα (όταν σε ένα σώμα δεν ενεργούν δυνάμεις η κινητική κατάσταση του σώματος παραμένει σταθερή). Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που εκφράζουν την απώλεια/ανάκτηση του αρχικού impetus (D), το κυκλικό impetus (A, D), την φυγόκεντρη δύναμη (C, D, E) και το ότι «ο συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση (C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 8 (ερώτηση 7)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία			1	,6	4	2,1		
A	29	29,6	41	25,9	36	19,1	17	21,5
B	22	22,4	46	29,1	83	44,1	32	40,5
C	11	11,2	20	12,7	20	10,6	5	6,3
D	11	11,2	20	12,7	15	8,0	7	8,9
E	25	25,5	30	19,0	30	16,0	18	22,8
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί την ύπαρξη «φυγόκεντρης» δύναμης (εναλλακτικές C, D, E), διατηρεί σταθερή την προτίμηση των παιδιών και στις τρεις τάξεις με ποσοστά πάνω από το 40%, όπως και η παρανόηση για την ύπαρξη κυκλικού impetus (εναλλακτικές A, D).

Για τη σωστή επιλογή (B) παρατηρείται μια ελαφρά αύξηση στο ποσοστό της για τις τρεις πρώτες τάξεις, ενώ σημαντική αύξηση έχουμε στη β' λυκείου, στοιχείο που προκαλεί έκπληξη καθώς σε αυτή τη τάξη δε διδάσκονται σχετικά θέματα.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε με επιτυχία τις προαντιλήψεις για την φυγόκεντρο δύναμη και για το κυκλικό impetus, ενώ πιθανώς προκάλεσε μαθησιακά αποτελέσματα, τα οποία όμως δε μπορούν να χαρακτηριστούν σημαντικά.

ΕΡΩΤΗΣΗ 8 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι, (α) σε ένα σώμα που κινείται όταν δεν ενεργούν πάνω του εξωτερικές δυνάμεις, τότε αυτό διατηρεί τη κατεύθυνση της ταχύτητάς του σταθερή (α' νόμος του Νεύτωνα), και (β) την επίδραση των στιγμιαίων ωστικών δυνάμεων (ώθηση δύναμης) σε ένα σώμα που κινείται (β' νόμος του Νεύτωνα).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που εκφράζουν: η τελευταία δύναμη που ενήργησε σε ένα σώμα καθορίζει την κίνηση του σώματος (A), απώλεια-ανάκτηση του αρχικού impetus (C, E), βαθμιαία-καθυστερημένη ενίσχυση του impetus (D)

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 9 (ερώτηση 8)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	1	1,0			1	,5	1	1,3
A	17	17,3	62	39,2	52	27,7	33	41,8
B	24	24,5	34	21,5	55	29,3	7	8,9
C	10	10,2	6	3,8	13	6,9	3	3,8
D	26	26,5	34	21,5	35	18,6	20	25,3
E	20	20,4	22	13,9	32	17,0	15	19,0
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που αναφέρεται στο ρόλο της τελευταίας δύναμης που ενεργεί (εναλλακτική A) ενισχύεται σημαντικά με τη διδασκαλία, φτάνοντας το 42% στη β' λυκείου, ενώ οι παρανοήσεις που σχετίζονται με το ρόλο του impetus (εναλλακτικές C, E, D) διατηρούν ένα υψηλό ποσοστό ,πάνω από 40%, σε όλες τις τάξεις.

Για τη σωστή επιλογή (B), παρατηρείται να μην υπάρχει σημαντική μεταβολή στο ποσοστό της με το χρόνο για τις τρεις πρώτες τάξεις τις έρευνας, ενώ υπάρχει μια σημαντική μείωση στη β' λυκείου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε με επιτυχία τις παρανοήσεις των παιδιών για τον α' και β' νόμο του Νεύτωνα, ενώ φαίνεται να είχε και αρνητική επίδραση στη πρόκληση μαθησιακών αποτελεσμάτων.

ΕΡΩΤΗΣΗ 9 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν (α) την διανυσματική πρόσθεση των ταχυτήτων και (β) το αποτέλεσμα της επίδρασης μιας στιγμιαίας ωστικής δύναμης (ώθηση δύναμης) σε ένα σώμα που κινείται, που εκφράζονται μέσα από την σωστή απάντηση E.

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων για τη μη διανυσματική πρόσθεση ταχυτήτων (εναλλακτική C) και για το ότι η τελευταία δύναμη που ενεργεί σε ένα σώμα καθορίζει την κίνηση του σώματος (εναλλακτική B).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 10 (ερώτηση 9)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία			4	2,5				
A	12	12,2	13	8,2	29	15,4	3	3,8
B	24	24,5	40	25,3	57	30,3	31	39,2
C	11	11,2	46	29,1	32	17,0	16	20,3
D	22	22,4	25	15,8	29	15,4	10	12,7
E	29	29,6	30	19,0	41	21,8	19	24,1
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα εντύπωση προκαλεί το μεγάλο σχετικό ποσοστό που συγκεντρώνει η σωστή απάντηση στη β' γυμνασίου, τάξη στην οποία δε διδάχθηκε μηχανική εκείνη τη χρονιά, όπως εντύπωση προκαλεί και η θεματική αύξηση του ποσοστού της εναλλακτικής C στη γ' γυμνασίου (τριπλασιασμός!), στοιχείο που πρέπει να προβληματίσει για τον τρόπο που εισάγεται ο διανυσματικός τρόπος σκέψης σ' αυτή τη τάξη.

Σημαντικό στοιχείο θεωρείται και η ψηλή και σταθερά αυξανόμενη τιμή (!) που εμφανίζει η εναλλακτική B σε όλες τις τάξεις, που σε συνδυασμό με την προηγούμενη ερώτηση δείχνει την ισχύ της παρανόησης «η τελευταία δύναμη που ενεργεί καθορίζει την κίνηση», καθώς και το ρόλο της διδασκαλίας που όχι δε φαίνεται να την αντιμετωπίζει, αλλά μάλλον να την ενισχύει.

Η σχεδόν σταθερή τιμή (με τάσεις μείωσης!) της σωστής απάντησης E από τη γ' γυμνασίου έως τη β' λυκείου, πιθανόν δείχνει ότι οι ιδέες των μαθητών/ριών για τέτοιου είδους φαινόμενα δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τη διδασκαλία, πράγμα που μπορεί να είναι λογικό για τη γ' γυμνασίου, όχι όμως και για την α' λυκείου όπου διδάσκεται η σύνθεση κινήσεων και η διανυσματική πρόσθεση ταχυτήτων.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία πάνω στην έννοια της σύνθεσης ταχυτήτων, δεν αντιμετώπισε με επιτυχία τις παρανοήσεις των παιδιών, δεν μπόρεσε να πετύχει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ αντίθετα φαίνεται να προκάλεσε ενίσχυση των παρανοήσεων που διατηρούν τα παιδιά σχετικά με τη σύνθεση ταχυτήτων.

ΕΡΩΤΗΣΗ 10 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης, είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι, όταν σε ένα σώμα που κινείται δεν ενεργούν πάνω του δυνάμεις, τότε το μέτρο της ταχύτητας του σώματος παραμένει σταθερό.

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων των παιδιών που αναφέρονται, στην εξάντληση/κατανάλωση του αρχικού impetus (εναλλακτική C) και στην βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του impetus (εναλλακτικές B, D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 11 (ερώτηση 10)

	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	3	3,1	1	,6				
A	4	4,1	29	18,4	47	25,0	12	15,2
B	7	7,1	6	3,8	28	14,9	10	12,7
C	29	29,6	30	19,0	21	11,2	8	10,1
D	39	39,8	57	36,1	62	33,0	35	44,3
E	16	16,3	35	22,2	30	16,0	14	17,7
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που αναφέρεται στην εξάντληση του impetus (εναλλακτική C) υποχωρεί σημαντικά σε σχέση με το χρόνο φοίτησης, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο με προαντίληψη που θεωρεί ότι συμβαίνει μια βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του impetus (εναλλακτικές B, D), που φαίνεται να παραμένει σταθερή/ενισχύεται με το χρόνο.

Για τη σωστή επιλογή (A) παρατηρείται να ενισχύεται με το χρόνο, όχι όμως στον επιθυμητό βαθμό, αφού μόλις το ένα στα τέσσερα παιδιά φτάνει να επιλέγει την Νευτώνεια επιλογή στην α' λυκείου, ενώ στη β' λυκείου το ποσοστό των παιδιών που την επιλέγουν μειώνεται στα επίπεδα του γυμνασίου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν κατάφερε να πετύχει αξιολογικά αποτελέσματα ούτε στο θέμα των μαθησιακών αποτελεσμάτων, ούτε στο θέμα της αντιμετώπισης των παρανοήσεων που διατηρούν τα παιδιά για το θέμα του α' νόμου του Νεύτωνα, και σχετίζονται με την «έννοια» του impetus.

ΕΡΩΤΗΣΗ 11 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης, μέσω της σωστής επιλογής (D), είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν την έννοια των δυνάμεων επαφής/παθητικών δυνάμεων, τη δύναμη του βάρους, καθώς και την έννοια της εξουδετέρωση των δυνάμεων (αντίθετες δυνάμεις).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται στο αρχικό impetus που προσφέρθηκε στο σώμα από το κτύπημα (εναλλακτικές B, C), στο ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (A, B) και στο ότι η βαρύτητα υπάρχει μέσα στα σώματα (E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 12 (ερώτηση 11)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	1	1,0			1	,5		
A	17	17,3	14	8,9	15	8,0	11	13,9
B	28	28,6	52	32,9	53	28,2	25	31,6
C	27	27,6	53	33,5	73	38,8	20	25,3
D	15	15,3	23	14,6	31	16,5	17	21,5
E	10	10,2	16	10,1	15	8,0	6	7,6
Σύνολα	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι σημαντικά είναι τα ποσοστά, τα υψηλότερα σε κάθε τάξη, των εναλλακτικών B και C, τα οποία και παραμένουν σταθερά και σχεδόν ανεπηρέαστα από τη διδασκαλία σε όλες τις τάξεις (μονίμως κοντά στο 60% των προτιμήσεων των παιδιών). Το στοιχείο αυτό δείχνει την ισχύ της παρανόησης για την μεταφορά impetus σε ένα σώμα μετά από ένα κτύπημα και την αδυναμία της διδασκαλίας να την αντιμετωπίσει. Ένα ποσοστό των παιδιών, της τάξης του 10%, φαίνεται να θεωρεί ότι η βαρύτητα υπάρχει μέσα στα σώματα και ότι το βάρος δεν αποτελεί μια εξωτερική δύναμη για ένα σώμα (εναλλακτική E), ενώ ένα σημαντικό ποσοστό των παιδιών, φαίνεται να θεωρεί ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτικές A, B). Το χαρακτηριστικό όλων των παρανοήσεων είναι ότι τα ποσοστά των προτιμήσεων που λαμβάνουν δε φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά με το χρόνο και από τη διδασκαλία.

Για τη σωστή επιλογή D, χαρακτηριστικό είναι ότι το ποσοστό της είναι μονίμως στην τρίτη θέση, και δε φαίνεται να επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από τη διδασκαλία που μεσολαβεί αφού είναι μονίμως σε ποσοστά 15 – 20%.

Τα παραπάνω στοιχεία συνηγορούν για μια αναποτελεσματικότητα με την οποία προσεγγίζονται διδακτικά τα θέματα της εξουδετέρωσης – σύνθεσης δυνάμεων, των παθητικών δυνάμεων καθώς και της βαρύτητας, με συνέπεια να μην ανιχνεύονται μαθησιακά αποτελέσματα. Από την άλλη μεριά η διδασκαλία φαίνεται να αποτυχαίνει να αντιμετωπίσει την παρανόηση που σχετίζεται με το *impetus* που προσφέρεται στο σώμα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 12 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να ελέγξει αν τα παιδιά κατανοούν ότι η επίδραση της βαρύτητας σε ένα σώμα με αρχική οριζόντια ταχύτητα προκαλεί παραβολική τροχιά, όπως και το ότι η σταθερή επιτάχυνση σε ένα σώμα μπορεί να προκαλέσει παραβολική τροχιά (επιλογή Β).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην εξάντληση του *impetus* (εναλλακτικές C, D), στην άποψη ότι ο συμβιβασμός των «δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση ενός σώματος (εναλλακτική Α) και στην άποψη ότι η βαρύτητα ενεργεί αφού εξαντληθεί το *impetus* (εναλλακτικές D, E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 13 (ερώτηση 12)

Επιλογή	β΄ γυμνασίου		γ΄ γυμνασίου		α΄ λυκείου		β΄ λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία					1	,5		
A	10	10,2	7	4,4	8	4,3	1	1,3
B	38	38,8	63	39,9	81	43,1	33	41,8
C	30	30,6	44	27,8	54	28,7	27	34,2
D	8	8,2	24	15,2	18	9,6	9	11,4
E	12	12,2	20	12,7	26	13,8	9	11,4
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι τα ποσοστά των εναλλακτικών που αφορούν το *impetus*, εναλλακτικές C,D,E πρακτικά μένουν σταθερά με το χρόνο, πάνω από το 50% για όλες τις τάξεις, εκτός της D που παρουσιάζει μια σχετική αύξηση, ενώ η παρανόηση για τον «συμβιβασμό των δυνάμεων» (εναλλακτική Α) φαίνεται να μειώνεται ελαφρά με το χρόνο.

Για τη σωστή επιλογή Β, φαίνεται ότι ακόμα από το γυμνάσιο και χωρίς να προηγηθεί διδασκαλία, οι απόψεις των παιδιών είναι κοντά με τις επιστημονικές αντιλήψεις για τη σύνθεση των κινήσεων και προσφέρουν εύφορο έδαφος για τη διδασκαλία. Κάτι όμως που φαίνεται να

περνάει αναξιοποίητο αφού το ποσοστό της σωστής επιλογής αυξάνεται μόνο κατά 4% στο λύκειο.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν υπήρξε κανένα αξιόλογο της αποτέλεσμα της διδασκαλίας, ούτε στο θέμα της αντιμετώπισης των παρανοήσεων, ούτε στην επίτευξη μαθησιακών αποτελεσμάτων στο θέμα της επίδρασης της βαρύτητας στην τροχιά ενός σώματος.

ΕΡΩΤΗΣΗ 13 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να ελέγξει αν τα παιδιά κατανοούν τον τρόπο με τον οποίο ενεργεί η δύναμη του βάρους σε ένα σώμα που εκτελεί κατακόρυφη βολή (επιλογή D).

Επιμέρους στόχοι η ανίχνευση παρανοήσεων που αναφέρονται, στην εξάντληση του αρχικού *impetus* (εναλλακτικές A, B, C), στην αντίληψη ότι η βαρύτητα αυξάνεται κατά τη πτώση των σωμάτων και ότι η βαρύτητα δρα μετά την εξασθένιση του *impetus* (εναλλακτική B), καθώς και στην άποψη ότι η βαρύτητα «βρίσκεται» μέσα στα σώματα (εναλλακτική E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 14 (ερώτηση 13)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	1	1,0			2	1,1		
A	24	24,5	25	15,8	34	18,1	14	17,7
B	32	32,7	70	44,3	67	35,6	30	38,0
C	16	16,3	40	25,3	46	24,5	17	21,5
D	13	13,3	10	6,3	20	10,6	12	15,2
E	12	12,2	13	8,2	19	10,1	6	7,6
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που εκφράζει την ιδέα για εξάντληση του αρχικού *impetus* (εναλλακτικές A, B, C) συγκεντρώνει τη συντριπτική πλειοψηφία των επιλογών των παιδιών, με ποσοστά που κυμαίνονται στο 80% και παραμένουν σταθερά για όλες τις τάξεις. Σταθερά υψηλό, περίπου στο 35%, παραμένει και το ποσοστό της εναλλακτικής B, που εκφράζει και το ρόλο που υποτίθεται ότι παίζει η βαρύτητα στην εξέλιξη του φαινομένου. Η παρανόηση που θεωρεί ότι η βαρύτητα είναι μέσα στα σώματα, δε φαίνεται να έχει μεγάλη απήχηση στις ιδέες των παιδιών για το φαινόμενο που μελετάει η ερώτηση.

Για τη σωστή επιλογή παρατηρείται μια χαμηλή τιμή στο ποσοστό των προτιμήσεων που συγκεντρώνει, η οποία παραμένει μονίμως κάτω από το 15% για όλες τις τάξεις.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία είχε μάλλον ανύπαρκτη επίδραση στην αντιμετώπιση της παρανόησης για την εξάντληση του *impetus*, ενώ δε προκάλεσε και αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα στο θέμα της δράσης του βάρους σε ένα σώμα που εκτελεί κατακόρυφη βολή προς τα πάνω.

ΕΡΩΤΗΣΗ 14 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να ελέγξει αν τα παιδιά κατανοούν ότι η επίδραση της βαρύτητας σε ένα σώμα με αρχική οριζόντια ταχύτητα προκαλεί παραβολική τροχιά, όπως και το ότι η σταθερή επιτάχυνση σε ένα σώμα μπορεί να προκαλέσει παραβολική τροχιά (επιλογή Β).

Επιμέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην εξάντληση του *impetus* και στο ότι η βαρύτητα ενεργεί μετά την εξάντληση του *impetus* (εναλλακτική Ε), στην άποψη ότι η μάζα παίζει το ρόλο της αντίστασης και κάνει τα σώματα να σταματούν (εναλλακτικές Α, Β) και στο ότι ο συμβιβασμός των «δυνάμεων» που ενεργούν σε ένα σώμα καθορίζει την κίνηση ενός σώματος (εναλλακτική C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 15 (ερώτηση 14)

	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Επιλογή καμία	1	1,0						
A	48	49,0	75	47,5	66	35,1	38	48,1
B	29	29,6	59	37,3	65	34,6	16	20,3
C	8	8,2	10	6,3	13	6,9	6	7,6
D	10	10,2	13	8,2	38	20,2	17	21,5
E	2	2,0	1	,6	6	3,2	2	2,5
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται η σημαντική ισχύς της παρανόησης που θεωρεί ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν (εναλλακτικές Α, Β) η οποία διατηρεί σταθερά την προτίμηση των παιδιών με πολύ ψηλά ποσοστά από 70 έως 85%. Αυτή η προτίμηση των παιδιών ίσως μπορεί να εξηγηθεί σε ένα βαθμό, από την εμπειρία που έχουν τα παιδιά όταν ρίχνουν ένα αντικείμενο από το παράθυρο ενός αυτοκινήτου που κινείται με μεγάλη ταχύτητα (Hestenes,

1992). Οι άλλες παρανοήσεις δεν εμφανίζονται να έχουν σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών.

Για τη σωστή επιλογή (D) παρατηρείται μια αύξηση στο λύκειο, που δε μπορεί όμως να χαρακτηριστεί σημαντική, αφού στη καλύτερη περίπτωση (λύκειο), μόλις ένα στα πέντε παιδιά κάνει τη σωστή επιλογή.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετωπίζει με επιτυχία το θέμα της σύνθεσης των κινήσεων. Αυτό βέβαια στο γυμνάσιο μπορεί να εξηγηθεί αφού εκεί δε διδάσκεται το θέμα της σύνθεσης κινήσεων, όχι όμως και στο λύκειο που το θέμα υπάρχει στη διδακτέα ύλη. Πάντως διαφαίνεται ότι η διδασκαλία δε ασχολήθηκε αρκετά (μήπως καθόλου;) με τη παρανόηση που θεωρεί τη μάζα σαν «φρένο» στην κίνηση των σωμάτων, ενώ δε κατόρθωσε να παράγει και σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν σαν μέτρια με κάποια διάρκεια.

ΕΡΩΤΗΣΗ 15 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τον γ' νόμο του Νεύτωνα στη περίπτωση που οι δυνάμεις ενεργούν συνεχώς σε σώματα που επιταχύνονται (επιλογή Α).

Επιμέρους στόχοι αποτελούν η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην αντίληψη ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική απάντηση Β), στην αντίληψη ότι το περισσότερο ενεργό σώμα εξασκεί μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική C), στην άποψη ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική E) και στην άποψη ότι μόνο οι ενεργοί δράστες/ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 16 (ερώτηση 15)

	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία					1	,5	1	1,3
A	14	14,3	20	12,7	56	29,8	11	13,9
B	23	23,5	25	15,8	21	11,2	4	5,1
C	28	28,6	61	38,6	66	35,1	37	46,8
D	24	24,5	43	27,2	29	15,4	20	25,3
E	9	9,2	9	5,7	15	8,0	6	7,6
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική Β) μειώνει τα ποσοστά της με το χρόνο, ενώ η παρανόηση ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική C), αυξάνει το ποσοστό της με το χρόνο (δες και ερώτηση 28). Η παρανόηση που θεωρεί ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική D), μειώνει το ποσοστό της στο 15% μόνο στην α' λυκείου, ενώ το διατηρεί σταθερό στα επίπεδα του 25% σε όλες τις άλλες τάξεις και η παρανόηση που θεωρεί ότι εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική E), διατηρεί ένα ποσοστό κοντά στο 8% που παραμένει σταθερό με το χρόνο, που λόγω της χαμηλής τιμής δε μπορεί να αξιολογηθεί.

Για τη σωστή επιλογή Α παρατηρείται μια αύξηση μόνο στην α' λυκείου (29,8%), ενώ στις άλλες τάξεις το ποσοστό παραμένει σταθερό στο 14%.

Αυτές οι παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα για την ισχύ της παρανόησης που εκφράζει ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη, ενώ διαφαίνεται ότι η διδασκαλία όχι μόνο δεν την αντιμετώπισε με επιτυχία, αλλά ίσως να είχε και αρνητική επίδραση στις ιδέες των παιδιών. Αντίθετα, θετικά αποτελέσματα φαίνεται να είχε η διδασκαλία στην παρανόηση ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει και μεγαλύτερη δύναμη. Μαθησιακά αποτελέσματα από τη διδασκαλία υπάρχουν στην α' λυκείου, τα οποία όμως δε διατηρούνται και στην επόμενη τάξη. Επίσης διαφαίνεται ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε με επιτυχία τις παρανοήσεις που θεωρούν ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις και ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις. Κατά συνέπεια τα μαθησιακά αποτελέσματα μπορούν να χαρακτηριστούν μέτρια χωρίς διάρκεια.

ΕΡΩΤΗΣΗ 16 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τον τρίτο νόμο στη περίπτωση σωμάτων που κινούνται με σταθερή ταχύτητα και οι δυνάμεις επιδρούν συνεχώς (επιλογή Α).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην άποψη ότι μόνον οι ενεργοί δράστες (ενεργά σώματα) ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική D), στην άποψη ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική Β, τρίτος νόμος), στην άποψη ότι το περισσότερο ενεργό σώμα εξασκεί μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική C, τρίτος νόμος) και στην άποψη ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 17 (ερώτηση 16)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία					1	,5		
A	8	8,2	25	15,8	59	31,4	19	24,1
B	18	18,4	23	14,6	22	11,7	6	7,6
C	28	28,6	53	33,5	49	26,1	35	44,3
D	37	37,8	39	24,7	40	21,3	14	17,7
E	7	7,1	18	11,4	17	9,0	5	6,3
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί πως μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική D) μειώνει, όχι όμως σημαντικά, το ποσοστό της με το χρόνο, ενώ η παρανόηση για τη μεγαλύτερη μάζα που ασκεί μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική B) παρουσιάζει και αυτή μια ελαφρά μείωση. Η παρανόηση που θεωρεί ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική C) παρουσιάζεται περισσότερο ανθεκτική, με ποσοστά που κυμαίνονται από το 26,1 στην α' λυκείου έως το 44,3% της β' λυκείου. Η προαντίληψη ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική E) φαίνεται να μην είναι διαδεδομένη στις απόψεις των παιδιών για το ζήτημα που διαπραγματεύεται η ερώτηση.

Για τη σωστή επιλογή (A), παρατηρείται μια αύξηση στο ποσοστό της κάτω από την επίδραση της διδασκαλίας, αλλά στην καλύτερη περίπτωση μόνο το ένα τρίτο των παιδιών την επιλέγει (α' λυκείου).

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετωπίζει με επιτυχία την παρανόηση που θεωρεί ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη, ενώ οι παρανοήσεις που θεωρούν ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις και ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη φαίνεται ότι αντιμετωπίζονται καλύτερα, αλλά όχι στο βαθμό που θα θεωρούνταν ικανοποιητικός (δες και ερωτήσεις 15, 28). Σημαντικό ρόλο στα παραπάνω μάλλον έχει παίξει και η αντιμετώπιση του θέματος από τα εγχειρίδια, που φαίνεται να δίνουν σημασία, μέσα από τις ασκήσεις και ερωτήσεις που προτείνονται, στο θέμα της κυριαρχίας της μάζας και δε δίνει τη σημασία που πρέπει στις άλλες σημαντικές παρανοήσεις πάνω στο θέμα (Αντωνίου, Δημητριάδης, Καμπούρης, Παπαμιχάλης, Παπατσιμπα και Χατζητσομπάνης 2003, Βλάχος, Γραμματικάκης, Καραπαναγιώτης, Κόκκοτας, Περιστερόπουλος και Τιμοθέου 2004). Όσον αφορά τα μαθησιακά αποτελέσματα, αυτά μάλλον πρέπει να χαρακτηριστούν ως μέτρια με

κάποια σχετική διάρκεια καθώς στη β' λυκείου υπάρχει μια σχετική μείωση στο ποσοστό της σωστής επιλογής.

ΕΡΩΤΗΣΗ 17 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν στοιχεία από: την εξουδετέρωση συγγραμμικών δυνάμεων, την εφαρμογή του α' νόμου του Νεύτωνα στη περίπτωση που έχουμε δυνάμεις που εξουδετερώνονται, και την εφαρμογή της δύναμης του βάρους (σωστή επιλογή Β).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην άποψη ότι όταν σε ένα σώμα ενεργούν πάνω από μια δύναμη, τότε η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση (εναλλακτικές Α, D), την άποψη ότι μόνο τα ενεργά σώματα/δράστες ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική Ε), και την άποψη ότι η πίεση του αέρα επιδρά στη βαρύτητα (εναλλακτική D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 18 (ερώτηση 17)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία			1	,6	4	2,1	1	1,3
A	36	36,7	76	48,1	84	44,7	42	53,2
B	12	12,2	31	19,6	40	21,3	9	11,4
C	17	17,3	17	10,8	14	7,4	5	6,3
D	9	9,2	16	10,1	27	14,4	11	13,9
E	24	24,5	17	10,8	19	10,1	11	13,9
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί ότι η μεγαλύτερη δύναμη καθορίζει την κίνηση (εναλλακτικές Α, D) παραμένει σταθερή σε όλες τις τάξεις με ποσοστό κοντά στο 60%. Η παρανόηση που θεωρεί ότι μόνο τα ενεργά σώματα/ενεργοί δράστες (agents) ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική Ε) μειώνει το ποσοστό της με το χρόνο φοίτησης, ενώ η παρανόηση για την επίδραση της πίεσης του αέρα στη βαρύτητα (εναλλακτική D) φαίνεται να ενισχύεται ελαφρά με το χρόνο φοίτησης.

Για τη σωστή επιλογή Β, παρατηρείται μια μικρή σχετικά αύξηση με το χρόνο, (+9%) στην α' λυκείου, ενώ στην β' λυκείου επιστρέφουμε σε επίπεδα κατώτερα του γυμνασίου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντικό πρόβλημα στη διδασκαλία των Νευτώνειων εννοιών που διαπραγματεύεται η ερώτηση (α' νόμος, αντίθετες δυνάμεις, βαρύτητα). Επίσης φαίνεται ότι η διδασκαλία δεν πετυχαίνει να αντιμετωπίσει τις βασικές παρανοήσεις που σχετίζονται με το θέμα, ενώ δε καταφέρνει επίσης, να προκαλέσει σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα που να χαρακτηρίζονται από το στοιχείο της διάρκειας.

ΕΡΩΤΗΣΗ 18 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τον τρόπο εφαρμογής της κεντρομόλου δύναμης (σωστή επιλογή Β).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην άποψη για την ύπαρξη κυκλικού *impetus* (εναλλακτικές C, D, E) και στην άποψη για την ύπαρξη φυγόκεντρης δύναμης (εναλλακτική E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 19 (ερώτηση 18)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία			2	1,3	6	3,2		
A	10	10,2	16	10,1	23	12,2	6	7,6
B	23	23,5	32	20,3	44	23,4	15	19,0
C	35	35,7	57	36,1	29	15,4	11	13,9
D	10	10,2	25	15,8	47	25,0	19	24,1
E	20	20,4	26	16,5	39	20,7	28	35,4
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση για την ύπαρξη κυκλικού *impetus* (εναλλακτικές C, D, E) είναι πολύ ισχυρή, ενώ το ποσοστό των μαθητών/ριών που την υποστηρίζουν κυμαίνεται σε όλες τις τάξεις από 50% (α' λυκείου) έως 73% (β' λυκείου). Αυτό το στοιχείο δείχνει ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε με επιτυχία αυτή την παρανόηση, ενώ ίσως και να την ενίσχυσε ελαφρά, αν κρίνουμε από τις επιλογές των παιδιών της β' λυκείου. Το ποσοστό που λαμβάνει η επιλογή E σε όλες τις τάξεις είναι σημαντικό, πράγμα που δείχνει ότι τα παιδιά διατηρούν μια παρανόηση για την ύπαρξη φυγόκεντρης δύναμης. Εντύπωση προκαλεί το ποσοστό που παίρνει η επιλογή E στη β' λυκείου, που είναι το ψηλότερο από όλες τις τάξεις και μάλιστα με

σημαντική διαφορά (35,4%), κάτι που πρέπει να προβληματίσει ιδιαίτερα όσον αφορά το ρόλο της διδασκαλίας στην ενίσχυση κάποιων παρανοήσεων.

Για τη σωστή επιλογή (B), ίσως παρατηρείται μια από τις περισσότερο αρνητικές εικόνες μαθησιακών αποτελεσμάτων στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, καθώς σε όλες τις τάξεις το ποσοστό της σωστής επιλογής είναι χαμηλότερο από αυτό που πετυχαίνουν οι μαθητές/ριες της β΄ γυμνασίου οι οποίοι δεν έχουν διδαχθεί καθόλου κλασική μηχανική.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγάλο πρόβλημα στην κατανόηση της κυκλικής κίνησης από τα παιδιά. Οι κυριότερες παρανοήσεις δεν αντιμετωπίζονται σχεδόν καθόλου από τη διδασκαλία, φαίνεται να μην υπάρχουν μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ φαίνεται πιθανόν ότι η διδασκαλία μάλλον ενισχύει τις παρανοήσεις που έχουν τα παιδιά για το φαινόμενο της κυκλικής κίνησης.

ΕΡΩΤΗΣΗ 19 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι κατανοούν τον διαχωρισμό ταχύτητας - θέσης για ένα σώμα που κινείται (σωστή επιλογή E).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στη μη διάκριση των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης (εναλλακτική A), μη διάκριση μεταξύ των εννοιών θέσης – ταχύτητας (εναλλακτικές B, C, D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 20 (ερώτηση 19)

Επιλογή	β΄ γυμνασίου		γ΄ γυμνασίου		α΄ λυκείου		β΄ λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	1	1,0	4	2,5	2	1,1		
A	20	20,4	40	25,3	44	23,4	19	24,1
B	12	12,2	12	7,6	20	10,6	3	3,8
C	13	13,3	13	8,2	20	10,6	11	13,9
D	30	30,6	63	39,9	68	36,2	29	36,7
E	22	22,4	26	16,5	34	18,1	17	21,5
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ένα σταθερό ποσοστό (20%) των μαθητών σε όλες τις τάξεις, θεωρεί ότι δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης

(εναλλακτική Α), ενώ ένα ποσοστό περίπου 55% για κάθε τάξη θεωρεί ότι δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των εννοιών θέσης – ταχύτητας (εναλλακτικές Β, C, D).

Για τη σωστή επιλογή εμφανίζεται πάλι μια αρνητική εικόνα, όπου το ποσοστό της σωστής επιλογής στη β' γυμνασίου (22,4%) είναι το ψηλότερο από όλες τις τάξεις, στοιχείο που πρέπει να προβληματίσει ιδιαίτερα, καθώς οι έννοιες της κινηματικής έχουν διδαχθεί και στην γ' γυμνασίου και στην α' λυκείου σε αρκετά μεγάλη έκταση.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα που διατυπώνεται στην επεξεργασία της επόμενης ερώτησης.

ΕΡΩΤΗΣΗ 20 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τον διαχωρισμό μεταξύ των εννοιών ταχύτητας και επιτάχυνσης (σωστή επιλογή D).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται στη μη διάκριση μεταξύ των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης (εναλλακτικές Β, C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 21 (ερώτηση 20)

Επιλογή	Β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία	2	2,0	3	1,9	2	1,1	1	1,3
A	19	19,4	38	24,1	39	20,7	14	17,7
B	20	20,4	20	12,7	31	16,5	10	12,7
C	22	22,4	47	29,7	45	23,9	21	26,6
D	18	18,4	20	12,7	30	16,0	11	13,9
E	17	17,3	30	19,0	41	21,8	22	27,8
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι υπάρχει ένα σχεδόν σταθερό ποσοστό των παιδιών, της τάξης του 40% (εναλλακτικές Β, C), που θεωρεί ότι δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης. Η σταθερότητα αυτή δείχνει την ισχύ αυτής της παρανόησης, όμως πρέπει να προβληματίσει σοβαρά για τον τρόπο που προσεγγίζεται διδακτικά το θέμα της κινηματικής.

Για τη σωστή επιλογή, παρατηρείται πάλι το φαινόμενο το ποσοστό που πετυχαίνουν οι μαθητές/ριες της β΄ γυμνασίου (18,4%) να είναι το ψηλότερο όλων των τάξεων. Αυτό το στοιχείο (δες και ερώτησης 19), ίσως δείχνει εκτός από την ισχύ της παρανόησης για τη μη διάκριση των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης, που δεν επιτρέπει τη μετάβαση των παιδιών στην Νευτώνεια επιλογή, και την ανεπάρκεια με την οποία προσεγγίζονται διδακτικά αυτές οι έννοιες, ανεπάρκεια που σε ένα βαθμό οφείλεται στην μη χρήση διαφορετικών πλαισίων διδασκαλίας, π.χ. εργαστήρια, συζήτηση, συνεργατική διδασκαλία, χρήση ΤΠΕ κ.α.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν απέδωσε μαθησιακά αποτελέσματα και δε πέτυχε να καταλάβουν τα παιδιά τη διάκριση μεταξύ των εννοιών ταχύτητας – επιτάχυνσης, όπως και τη διάκριση μεταξύ των εννοιών ταχύτητας – θέσης (ερώτηση 19). Η διαπίστωση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία από το γεγονός ότι το κεφάλαιο της κινηματικής διδάσκεται στη γ΄ γυμνασίου και στην α΄ λυκείου, και οι διδάσκοντες/ουσες αφιερώνουν αρκετές ώρες διδασκαλίας σε αυτό, καθώς θεωρείται σημαντικό και απαραίτητο για τη θεμελίωση όλων των εννοιών της κλασικής μηχανικής που θα ακολουθήσουν. Κατά συνέπεια, φαίνεται αναγκαία η αλλαγή στον τρόπο διδακτικής προσέγγισης στο θέμα της κινηματικής. Ενδιαφέρον θα είχε και η διερεύνηση των απαντήσεων, με χρήση ποιοτικών μεθόδων (συνεντεύξεις), που έδωσαν τα παιδιά (ειδικά στη β΄ γυμνασίου), με σκοπό την εξακρίβωση των ιδεών που βρίσκονται πίσω από αυτές τις απαντήσεις.

ΕΡΩΤΗΣΗ 21 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση (β΄ νόμος του Νεύτωνα) και ότι σταθερή επιτάχυνση μπορεί να προκαλέσει παραβολική τροχιά (επιλογή Ε).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην απώλεια-ανάκτηση του αρχικού *impetus* (εναλλακτική Α), βαθμιαία – καθυστερημένη ενίσχυση του *impetus* (εναλλακτική D), στην άποψη που θεωρεί ότι η τελευταία δύναμη που ενεργεί καθορίζει την κίνηση του σώματος (εναλλακτική Β) και στην προαντίληψη ότι ο «συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση του σώματος (εναλλακτική C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 22 (ερώτηση 21)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία	3	3,1	3	1,9	3	1,6		
A	7	7,1	27	17,1	23	12,2	9	11,4
B	27	27,6	49	31,0	60	31,9	20	25,3
C	25	25,5	24	15,2	46	24,5	13	16,5
D	16	16,3	24	15,2	17	9,0	18	22,8
E	20	20,4	31	19,6	39	20,7	19	24,1
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι, η παρανόηση που θεωρεί ότι η τελευταία δύναμη καθορίζει την κίνηση (εναλλακτική B) διατηρεί ένα σταθερό ποσοστό της τάξης του 30% σε όλες τις τάξεις, η άποψη για την ανάκτηση του αρχικού impetus (εναλλακτική A) φαίνεται να ενισχύεται στη γ' γυμνασίου, η άποψη για την βαθμιαία ενίσχυση του impetus (εναλλακτική D) φαίνεται να μειώνει την επίδρασή της μόνο στην α' λυκείου, ενώ σταθερό ποσοστό (στο 20%) διατηρεί η παρανόηση που θεωρεί ότι ο «συμβιβασμός των δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση (εναλλακτική C).

Για τη σωστή επιλογή (E) φαίνεται να διατηρεί σταθερό το ποσοστό της κοντά στο 20% σε όλες τις τάξεις και να μην επηρεάζεται καθόλου από το χρόνο φοίτησης.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δε κατάφερε να αποφέρει τα επιθυμητά μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ σαν σημαντικότερη παρανόηση εμφανίζεται η παρανόηση που είναι σχετική με τη δράση της τελευταίας δύναμης (εναλλακτική B), που αν κρίνουμε από το ποσοστό της δε φαίνεται να αντιμετωπίζεται με επιτυχία από τη διδασκαλία. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για τις υπόλοιπες παρανοήσεις, οι οποίες όμως έχουν μικρότερη επίδραση στις ιδέες των παιδιών.

ΕΡΩΤΗΣΗ 22 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση και ότι σταθερή επιτάχυνση προκαλεί μεταβολή στο μέτρο της ταχύτητας (επιλογή B).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην άποψη ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δύναμη (εναλλακτική A), στην άποψη που θεωρεί

ότι η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα (εναλλακτική D) και στην αντίληψη ότι οι ενεργές δυνάμεις «εξαντλούνται» (εναλλακτικές C, E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 23 (ερώτηση 22)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καμία	1	1,0	2	1,3	3	1,6		
A	22	22,4	29	18,4	37	19,7	16	20,3
B	24	24,5	36	22,8	61	32,4	23	29,1
C	9	9,2	8	5,1	17	9,0	3	3,8
D	27	27,6	65	41,1	55	29,3	27	34,2
E	15	15,3	18	11,4	15	8,0	10	12,7
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι, η παρανόηση που θεωρεί ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη δύναμη που εφαρμόζεται (εναλλακτική A) παραμένει σταθερή στις αντιλήψεις του ενός πέμπτου των παιδιών της κάθε τάξης, η παρανόηση που θεωρεί ότι η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα (εναλλακτική D) εμφανίζεται να ενισχύεται με το χρόνο, ενώ οι υπόλοιπες παρανοήσεις δεν εμφανίζονται να επηρεάζουν σημαντικά τις ιδέες των παιδιών.

Για τη σωστή επιλογή (B) παρατηρείται μια ενίσχυση στις τάξεις του λυκείου, η οποία όμως δε μπορεί να χαρακτηριστεί σημαντική καθώς εμφανίζει μια μικρή αύξηση (περίπου +8% στην α' λυκείου) σε σχέση με το ποσοστό που παίρνει η σωστή επιλογή στη β' γυμνασίου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δε φαίνεται να πετυχαίνει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ δε φαίνεται επίσης να αντιμετωπίζει με επιτυχία τις σημαντικές παρανοήσεις που εμφανίζονται στις ιδέες των παιδιών.

ΕΡΩΤΗΣΗ 23 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι όταν σε ένα σώμα δεν ασκούνται δυνάμεις τότε η κατεύθυνση της ταχύτητας του σώματος παραμένει σταθερή, (α' νόμος του Νεύτωνα επιλογή B).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται, στην απώλεια/ανάκτηση του αρχικού impetus (εναλλακτικές A, D, E) και στην άποψη ότι η τελευταία δύναμη που ενεργεί καθορίζει την κίνηση (εναλλακτική C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 24 (ερώτηση 23)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	4	4,1	2	1,3	1	,5	1	1,3
A	20	20,4	39	24,7	35	18,6	15	19,0
B	14	14,3	16	10,1	23	12,2	10	12,7
C	18	18,4	37	23,4	53	28,2	17	21,5
D	26	26,5	47	29,7	52	27,7	26	32,9
E	16	16,3	17	10,8	24	12,8	10	12,7
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που αφορά την απώλεια/ανάκτηση του *impetus* (εναλλακτικές A, D, E) διατηρείται σταθερά ψηλά στις προτιμήσεις των παιδιών κάθε τάξης με ποσοστά που ξεπερνούν το 60%, ενώ η αντίληψη που θεωρεί ότι η τελευταία δύναμη που ασκείται καθορίζει την κίνηση (εναλλακτική C) διατηρείται σταθερή και ίσως ενισχύεται ελαφρά με το χρόνο (α' λυκείου).

Για τη σωστή επιλογή (B), παρατηρείται μια αρνητική εικόνα, που δείχνει το ποσοστό της να μην αυξάνεται καθόλου με το χρόνο και να μένει καθηλωμένο κοντά στο 10% για όλες τις τάξεις. Εντύπωση προκαλεί ότι η υψηλότερη τιμή εμφανίζεται στη β' γυμνασίου (14%).

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία είχε μάλλον αρνητική επίδραση στις ιδέες των μαθητών για το θέμα που διαπραγματεύεται η ερώτηση, καθώς ούτε μαθησιακά αποτελέσματα παρατηρήθηκαν, ούτε αντιμετώπιση των παρανοήσεων επετεύχθη, αντίθετα σημειώθηκε μια ελαφριά ενίσχυση σε μερικές από αυτές.

ΕΡΩΤΗΣΗ 24 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι όταν δεν ασκούνται δυνάμεις σ' ένα σώμα, τότε αυτό διατηρεί το μέτρο της ταχύτητας του σταθερό (επιλογή A, α' νόμος του Νεύτωνα).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται στην κατανάλωση/εξάντληση του αρχικού *impetus* (εναλλακτικές C, E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 25 (ερώτηση 24)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	4	4,1	2	1,3	1	,5	1	1,3
A	21	21,4	30	19,0	74	39,4	25	31,6
B	18	18,4	23	14,6	18	9,6	9	11,4
C	29	29,6	57	36,1	45	23,9	21	26,6
D	17	17,3	23	14,6	21	11,2	10	12,7
E	9	9,2	23	14,6	29	15,4	13	16,5
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που αναφέρεται στην εξάντληση του impetus (εναλλακτικές C, E) συγκεντρώνει μεγάλα ποσοστά από τις προτιμήσεις των παιδιών σε όλες τις τάξεις, που κυμαίνονται από 40 έως 50% και φαίνεται να παραμένει ανεπηρέαστη με το χρόνο.

Για τη σωστή επιλογή A, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στο ποσοστό της α' λυκείου που μειώνεται όμως στην επόμενη τάξη, αλλά παραμένει σε υψηλότερα επίπεδα από το γυμνάσιο.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία μπόρεσε να πετύχει σχετικά ικανοποιητικά μαθησιακά αποτελέσματα που χαρακτηρίζονται από κάποια διάρκεια. Όμως δεν ισχύει το ίδιο για την παρανόηση σχετικά με το impetus που διατηρούν τα παιδιά, που απ' ό,τι φαίνεται δεν αντιμετωπίζεται με επιτυχία από την διδασκαλία.

ΕΡΩΤΗΣΗ 25 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν στοιχεία από: την εφαρμογή του α' νόμου του Νεύτωνα στη περίπτωση που στο σώμα ασκούνται δυνάμεις που εξουδετερώνονται, την εξουδετέρωση των δυνάμεων σαν αποτέλεσμα της αρχής υπέρθεσης (σύνθεσης) των δυνάμεων, καθώς και το ρόλο της τριβής στη κίνηση ενός σώματος (επιλογή C).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται στην άποψη ότι υπάρχει κίνηση όταν η δύναμη υπερνικά την αντίσταση (εναλλακτικές B, D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 26 (ερώτηση 25)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	4	4,1	3	1,9	4	2,1		
A	18	18,4	34	21,5	32	17,0	4	5,1
B	27	27,6	42	26,6	43	22,9	16	20,3
C	15	15,3	31	19,6	46	24,5	18	22,8
D	18	18,4	30	19,0	40	21,3	25	31,6
E	16	16,3	18	11,4	23	12,2	16	20,3
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί ότι υπάρχει κίνηση όταν ασκείται δύναμη που υπερνικά την αντίσταση (εναλλακτικές B, D) έχει μεγάλη απήχηση στις προτιμήσεις των παιδιών και τα ποσοστά που παίρνει είναι μονίμως πάνω από το 45% για κάθε τάξη.

Για τη σωστή επιλογή (C) παρατηρείται μια αύξηση του ποσοστού της, που όμως δε μπορεί να χαρακτηριστεί αξιόλογη.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δεν αντιμετώπισε την παρανόηση που κυριαρχεί στις απαντήσεις των παιδιών και θεωρούν ότι για να υπάρξει κίνηση πρέπει να υπάρχει δύναμη που να υπερνικά την αντίσταση, ενώ στο θέμα των μαθησιακών αποτελεσμάτων φαίνεται να μη παρατηρούνται αυτά σε αξιόλογο βαθμό.

ΕΡΩΤΗΣΗ 26 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν ότι σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση και ότι σταθερή επιτάχυνση προκαλεί μεταβαλλόμενη ταχύτητα (επιλογή E).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται: στην άποψη ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δύναμη (εναλλακτική A), στο ότι η δύναμη επιταχύνει μέχρι μια οριακή ταχύτητα (εναλλακτική D) και στην βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του *impetus* (εναλλακτική C).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 27 (ερώτηση 26)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	6	6,1	6	3,8	2	1,1		
A	30	30,6	42	26,6	60	31,9	33	41,8
B	25	25,5	34	21,5	34	18,1	18	22,8
C	16	16,3	18	11,4	33	17,6	3	3,8
D	12	12,2	38	24,1	29	15,4	12	15,2
E	9	9,2	20	12,7	30	16,0	13	16,5
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι σημαντικότερη παρανόηση είναι αυτή που θεωρεί τη ταχύτητα ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δύναμη (εναλλακτική A) που συγκεντρώνει σημαντικά ποσοστά σε κάθε τάξη, από 30 έως 40%, ενώ το ψηλότερο ποσοστό εμφανίζεται στη β' λυκείου. Οι άλλες παρανοήσεις (εναλλακτικές C, D) κυμαίνονται σε ποσοστά κάτω από το 20% και δε μεταβάλλονται σημαντικά με το χρόνο φοίτησης.

Για τη σωστή επιλογή (E) παρατηρείται μια πολύ μικρή αύξηση στο ποσοστό της με το χρόνο, που σε καμία περίπτωση δε μπορεί να χαρακτηριστεί σημαντική καθώς μόλις ένα στα έξι παιδιά, στη καλύτερη περίπτωση (α' λυκείου), προσανατολίζεται στη Νευτώνεια επιλογή της ερώτησης.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία δε κατάφερε να πετύχει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα, ούτε και να αντιμετωπίσει με επιτυχία τις παρανοήσεις που διατηρούν τα παιδιά για το συγκεκριμένο θέμα, οι οποίες δείχνουν ιδιαίτερη αντοχή στο χρόνο.

ΕΡΩΤΗΣΗ 27 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν στοιχεία από: το ρόλο της δύναμης της τριβής στη κίνηση ενός σώματος (επιλογή C).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται: στην παρανόηση που θεωρεί ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματάνε (εναλλακτικές A, B), στην άποψη ότι για να υπάρχει κίνηση πρέπει να υπάρχει μια ενεργός/ενεργητική (active) δύναμη (εναλλακτική A), στην προαντίληψη που θεωρεί ότι συμβαίνει μια βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση της impetus (εναλλακτική E), στην άποψη που θεωρεί ότι συμβαίνει μια εξάντληση της impetus με την κίνηση

(εναλλακτική Β) και στην πεποίθηση των παιδιών που πιστεύουν ότι η *impetus* αποθηκεύεται στο σώμα (εναλλακτική D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 28 (ερώτηση 27)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	4	4,1	3	1,9	4	2,1		
A	29	29,6	61	38,6	43	22,9	24	30,4
B	24	4	28	17,7	44	23,4	20	25,3
C	23	23,5	43	27,2	55	29,3	29	36,7
D	8	8,2	14	8,9	24	12,8	4	5,1
E	10	10,2	9	5,7	18	9,6	2	2,5
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η σημαντικότερη παρανόηση είναι αυτή που θεωρεί ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν (εναλλακτικές Α, Β), που την πιστεύουν περίπου οι μισοί μαθητές/ριες κάθε τάξης, εκτός της β' γυμνασίου όπου εκεί φαίνεται να την υποστηρίζει το ένα τρίτο των μαθητών/ριών. Οι άλλες παρανοήσεις (εναλλακτικές D, E) δε φαίνεται να έχουν τόσο σημαντική επίδραση στις ιδέες των μαθητών/ριών για το ζήτημα που θέτει η ερώτηση.

Για τη σωστή επιλογή (C) παρατηρείται ότι το ποσοστό της αυξάνεται με την επίδραση της διδασκαλίας αλλά όχι σε αξιολογικό βαθμό. Το χαρακτηριστικό είναι ότι εδώ έχουμε μια από τις λίγες περιπτώσεις που το ποσοστό της β' λυκείου ξεπερνά το ποσοστό της α' λυκείου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία μάλλον δεν αντιμετώπισε με επιτυχία την κυριότερη παρανόηση που έχουν τα παιδιά, που θεωρεί τη μάζα σαν ένα παράγοντα που αντιστέκεται στη κίνηση των σωμάτων και τα κάνει να σταματάνε (εναλλακτικές Α, Β). Στο θέμα της σωστής επιλογής (C), φαίνεται ότι η διδασκαλία δε κατάφερε να μετακινήσει σημαντικό αριθμό προς την Νευτώνεια επιλογή, με συνέπεια να θεωρείται ότι δεν υπήρξαν αξιολογικά μαθησιακά αποτελέσματα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 28 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν τον γ' νόμο του Νεύτωνα στη περίπτωση που αναπτύσσονται στιγμιαίες ωστικές δυνάμεις (impulsive forces) (επιλογή E).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται: στην άποψη που θεωρεί ότι μόνον τα ενεργά/ενεργητικά σώματα (active agents) ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική B), στην άποψη που αναφέρεται στον γ' νόμο του Νεύτωνα και θεωρεί ότι μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική D) και στην άποψη που θεωρεί ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική D).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 29 (ερώτηση 28)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	5	5,1	4	2,5	3	1,6		
A	10	10,2	16	10,1	12	6,4	4	5,1
B	36	36,7	37	23,4	33	17,6	12	15,2
C	19	19,4	17	10,8	18	9,6	2	2,5
D	15	15,3	58	36,7	50	26,6	35	44,3
E	13	13,3	26	16,5	72	38,3	26	32,9
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι, η παρανόηση που θεωρεί ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική B) μειώνει το ποσοστό της με το χρόνο, από το 37% φτάνει στο 15% της β' λυκείου, ενώ η παρανόηση που θεωρεί ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη (εναλλακτική D) φαίνεται να ενισχύεται με το χρόνο φοίτησης, καθώς το ποσοστό της αυξάνεται από το 15% της β' γυμνασίου στο 44% της β' λυκείου. Βέβαια εδώ τίθεται το ζήτημα για το ποια από τις δυο παρανοήσεις που υποκρύπτει η εναλλακτική D είναι υπεύθυνη για αυτή τη συμπεριφορά του ποσοστού με το χρόνο, αν όμως γίνει σύγκριση με τα ποσοστά που παίρνει η εναλλακτική 15C, θα φανεί ότι υπάρχει ανάλογη συμπεριφορά με την 28D, στοιχείο που δικαιολογεί την εξήγηση της συμπεριφοράς του ποσοστού της εναλλακτικής 28D που προτάθηκε παραπάνω (δες και ερώτηση 16).

Για τη σωστή επιλογή (E) παρατηρείται μια ενίσχυση του ποσοστού της με το χρόνο που μπορεί να θεωρηθεί σημαντική, καθώς στο λύκειο τριπλασιάζεται ο αριθμός των μαθητών/ριών που την επιλέγουν.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι σ' αυτή την περίπτωση η διδασκαλία καταφέρνει να πετύχει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα, που χαρακτηρίζονται και από το στοιχείο της διάρκειας, αφού καταφέρνει να αυξήσει σημαντικά το ποσοστό των παιδιών που επιλέγουν τη σωστή απάντηση και αυτή η αύξηση να διατηρηθεί μέχρι τη β' λυκείου. Στο θέμα της αντιμετώπισης των παρανοήσεων, η διδασκαλία αντιμετωπίζει με επιτυχία την παρανόηση που θεωρεί ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις, όμως δεν αντιμετωπίζει με την ίδια επιτυχία την παρανόηση των παιδιών για το ότι το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη, παρανόηση η οποία φαίνεται να ενισχύει τη θέση της στις ιδέες των παιδιών που είναι σχετικές με τον γ' νόμο του Νεύτωνα.

ΕΡΩΤΗΣΗ 29 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν στοιχεία από τη δράση των παθητικών δυνάμεων επαφής και από τη δύναμη του βάρους (επιλογή B).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται: στην άποψη ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική A), στην άποψη που θεωρεί ότι η πίεση του αέρα βοηθάει την βαρύτητα (εναλλακτικές C, D) και στην αντίληψη ότι μη κίνηση σημαίνει μη ύπαρξη δύναμης (E).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 30 (ερώτηση 29)

Επιλογή	β' γυμνασίου		γ' γυμνασίου		α' λυκείου		β' λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	6	6,1	3	1,9	5	2,7		
A	34	34,7	39	24,7	32	17,0	20	25,3
B	9	9,2	45	28,5	83	44,1	36	45,6
C	18	18,4	23	14,6	16	8,5	4	5,1
D	17	17,3	26	16,5	31	16,5	12	15,2
E	14	14,3	22	13,9	21	11,2	7	8,9
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που θεωρεί ότι τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική Α) μειώνει το ποσοστό της με επίδραση της διδασκαλίας, αλλά όχι σε ικανοποιητικό βαθμό καθώς ένα στα τέσσερα παιδιά της β' λυκείου εξακολουθεί να την επιλέγει. Η παρανόηση ότι η πίεση του αέρα βοηθάει την βαρύτητα (εναλλακτικές C, D), φαίνεται να μειώνει σταθερά τα ποσοστά της με την επίδραση της διδασκαλίας, αλλά στην καλύτερη περίπτωση υπάρχει ένα στα πέντε παιδιά που εξακολουθεί να θεωρεί ότι ο αέρας έχει σχέση με τη βαρύτητα.

Για τη σωστή επιλογή (B) παρατηρείται μια πολύ καλή πορεία, με το ποσοστό της να αυξάνεται σταθερά από τάξη σε τάξη, φτάνοντας στα επίπεδα του 45% των προτιμήσεων των μαθητών/ριών της β' λυκείου. Ίσως πρόκειται για την καλύτερη συμπεριφορά ποσοστού της σωστής επιλογής στο σύνολο της έρευνας, καθώς δε παρατηρείται μείωση της τιμής του στη β' λυκείου.

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία μάλλον κατάφερε να πετύχει αξιόλογα μαθησιακά αποτελέσματα αυξάνοντας σε ικανοποιητικό βαθμό το ποσοστό της σωστής επιλογής, ενώ είχε και καλά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση των παρανοήσεων που σχετίζονται με το θέμα της ερώτησης. Αυτό βέβαια ίσως οφείλεται στην έμφαση που δίνεται από τη διδασκαλία, ειδικά στο λύκειο, στο σχεδιασμό δυνάμεων σε ακίνητα/κινούμενα σώματα και στην επίλυση ασκήσεων, προβλημάτων αυτού του είδους.

ΕΡΩΤΗΣΗ 30 (δες παράρτημα)

Στόχος της ερώτησης είναι να διαπιστώσει αν τα παιδιά κατανοούν στοιχεία από τον τρόπο δράσης της βαρύτητας και της αντίστασης του αέρα (επιλογή C).

Επί μέρους στόχοι είναι η ανίχνευση των παρανοήσεων που αναφέρονται: στην άποψη ότι το impetus είναι μια φυσική ποσότητα που μπορεί να μεταφερθεί σε ένα σώμα με ένα κτύπημα (εναλλακτικές B, D, E), και στην άποψη ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική A).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 31 (ερώτηση 30)

Επιλογή	Β΄ γυμνασίου		γ΄ γυμνασίου		α΄ λυκείου		β΄ λυκείου	
	N	%	N	%	N	%	N	%
καμία	6	6,1	4	2,5	3	1,6		
A	13	13,3	16	10,1	20	10,6	2	2,5
B	16	16,3	14	8,9	30	16,0	10	12,7
C	18	18,4	18	11,4	33	17,6	5	6,3
D	20	20,4	25	15,8	30	16,0	10	12,7
E	25	25,5	81	51,3	72	38,3	52	65,8
Σύνολο	98	100,0	158	100,0	188	100,0	79	100,0

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παρανόηση που εκφράζει ότι το impetus μπορεί να προσφερθεί σε ένα σώμα με κτύπημα (εναλλακτικές B, D, E) ξεκινάει με ένα ποσοστό 62% στη β΄ γυμνασίου το οποίο στη συνέχεια αυξάνεται για να φτάσει το 91,2% στη β΄ λυκείου! Η παρανόηση που θεωρεί ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (εναλλακτική A) δε φαίνεται να επιδρά σε σημαντικό βαθμό στις ιδέες των παιδιών στο ζήτημα που θέτει η ερώτηση.

Για τη σωστή επιλογή παρατηρείται ότι το ποσοστό που παίρνει στη β΄ γυμνασίου (18%) είναι το μεγαλύτερο από όλες τις τάξεις, ενώ στη β΄ λυκείου το ποσοστό της είναι μόλις 6,3% !

Αυτές οι διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διδασκαλία κατάφερε πολύ λίγα πράγματα σε σχέση με τα θέματα που διαπραγματεύεται η ερώτηση. Στο θέμα των μαθησιακών αποτελεσμάτων όπως και στο θέμα της αντιμετώπισης των παρανοήσεων φαίνεται ότι η διδασκαλία απέφερε αρνητικά αποτελέσματα, μειώνοντας τον ποσοστό των παιδιών που επιλέγουν τη σωστή απάντηση και αυξάνοντας τον ποσοστό των παιδιών που προτιμούν τις εναλλακτικές απαντήσεις που εκφράζουν την παρανόηση που βασίζεται στην έννοια του impetus.

Ανάλυση αποτελεσμάτων Συζήτηση

Στην ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί, έγινε προσπάθεια να εφαρμοσθεί μια πολλαπλή προσέγγιση στα ερευνητικά δεδομένα, ώστε να αναδειχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πτυχές του θέματος που μελετήθηκε. Έτσι έγιναν οι εξής προσεγγίσεις στην ανάλυση αποτελεσμάτων που επιχειρήθηκε:

(α) Ανάλυση με βάση τις σωστές επιλογές των απαντήσεων και τη διάρκεια των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Η ανάλυση μ' αυτόν τον τρόπο βασίστηκε στο ποσοστό που πήρε η σωστή επιλογή κάθε ερώτησης σε κάθε τάξη, στην σύγκριση του ποσοστού αυτού μεταξύ των τάξεων, ειδικά μεταξύ λυκείου – γυμνασίου, και στα θέματα που διδάχθηκαν οι μαθητές/ριες κάθε τάξης. Η α' λυκείου θεωρείται η τάξη στην οποία γίνεται μια σοβαρή προσπάθεια για τη διδασκαλία των βασικών εννοιών της κλασσικής μηχανικής, καθώς καθ' όλη τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς τα παιδιά ασχολούνται με θέματα μηχανικής. Κατά συνέπεια, στο τέλος της α' λυκείου αναμένονται και ουσιαστικά μαθησιακά αποτελέσματα. Στη β' λυκείου τα παιδιά δε διδάσκονται σχετικά θέματα, άρα μέσα από τις απαντήσεις τους είναι δυνατόν να φανεί αυτό που τελικά «μένει» από τη διδασκαλία, με άλλα λόγια φαίνονται στοιχεία που θα μπορούσαν να πληροφορήσουν για τη διάρκεια των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Στη β' γυμνασίου τα παιδιά δε διδάσκονται καθόλου θέματα κλασσικής μηχανικής, κατά συνέπεια οι απαντήσεις τους καθορίζονται από τις εναλλακτικές ιδέες που έχουν διαμορφώσει, ενώ τα ποσοστά των διάφορων επιλογών μπορούν να αποτελέσουν τη βάση πάνω στην οποία θα γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στη γ' γυμνασίου δίνεται μια κάπως συνοπτική προσέγγιση στις έννοιες της μηχανικής, αφού στη τάξη αυτή προσεγγίζονται και άλλα γνωστικά πεδία (ηλεκτρισμός, μαγνητισμός).

(β) Ανάλυση με βάση την έκταση και την διάρκεια των παρανοήσεων των παιδιών. Εδώ η ανάλυση βασίστηκε στα ποσοστά που πήραν οι διάφορες εναλλακτικές απαντήσεις σε σχέση με τη τάξη φοίτησης. Με αυτό τον τρόπο έγινε προσπάθεια να συσχετισθούν οι παρανοήσεις, που εκφράζονται από τις διάφορες εναλλακτικές απαντήσεις, με τη διδασκαλία που μεσολαβεί μεταξύ των τάξεων. Π.χ. μια σημαντική μείωση του ποσοστού μιας συγκεκριμένης εναλλακτικής απάντησης, από τάξη σε τάξη μέχρι την α' λυκείου, δηλώνει ότι η παρανόηση που εκφράζει η συγκεκριμένη εναλλακτική επιλογή, πιθανώς αντιμετωπίστηκε με επιτυχία από την διδασκαλία.

(γ) Ανάλυση με βάση την επίδοση παιδιών στη δοκιμασία του FCI. Σ' αυτήν την περίπτωση η ανάλυση των αποτελεσμάτων βασίστηκε στη μέση τιμή των επιδόσεων που πέτυχαν οι μαθητές/ριες κάθε ομάδας/τάξης στη δοκιμασία του FCI. Έγιναν οι εξής συγκρίσεις: (1) Σύγκριση μεταξύ τάξεων, που βασίστηκε στους μέσους όρους των τιμών της επίδοσης στο FCI ανά τάξη, ενώ έγινε και η χρήση του μη παραμετρικού κριτηρίου Kruskal-Wallis για το στατιστικό χαρακτηρισμό της διαφοράς. (2) Σύγκριση με βάση το φύλο. Έγινε χρήση του στατιστικού κριτηρίου T-test. (3) Σύγκριση με βάση την κοινωνικοοικονομική προέλευση των μαθητών/ριών ανά τάξη. Και εδώ η σύγκριση βασίστηκε στη σύγκριση της μέσης τιμής των επιδόσεων των διάφορων ομάδων στο FCI (παιδιά από αστικό περιβάλλον και παιδιά από ημιαστικό-γεωργικό

περιβάλλον), ενώ έγινε πάλι η χρήση του κριτηρίου T-test για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας της διαφοράς.

Ανάλυση με βάση τις σωστές απαντήσεις (νευτώνειες επιλογές)

Με εξαίρεση τις ερωτήσεις 1 και 4, σε καμιά άλλη ερώτηση η σωστή επιλογή δε πλησιάζει το 50% των επιλογών των μαθητών/ριών σε καμιά τάξη, ενώ 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 στις νευτώνειες επιλογές των ερωτήσεων.

Παρακάτω γίνεται προσπάθεια ταξινόμησης των αποτελεσμάτων σε έξι κατηγορίες (για τη σημασία της κάθε κατηγορίας δες σελίδα .67):

Πίνακας 32 Χαρακτηρισμός αποτελεσμάτων ανά ερώτηση

Χαρακτηρισμός	Σύνολο ερωτήσεων	Αριθμός ερώτησης
Σημαντικά αποτελέσματα με διάρκεια	3	1, 4, 29
Σημαντικά αποτελέσματα χωρίς διάρκεια	2	24, 28
Μέτρια αποτελέσματα με διάρκεια	3	7, 14, 16
Μέτρια αποτελέσματα χωρίς διάρκεια	6	2, 3, 5, 6, 10, 15
Κανένα αξιόλογο αποτέλεσμα	9	8, 11, 12, 17, 21, 22, 25, 26,27
Αρνητική επίδραση της διδασκαλίας, ενίσχυση παρανοήσεων	7	9, 13, 18, 19, 20, 23, 30

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι μόνο στο 17% των ζητημάτων παρατηρούνται σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα, στο 30% έχουμε μέτρια αποτελέσματα, ενώ στο 53% των ζητημάτων-ερωτήσεων έχουμε ανυπαρξία αποτελεσμάτων η ακόμα και αρνητικές επιδράσεις στις απόψεις των παιδιών. Όσον αφορά τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν κάποια διάρκεια στο χρόνο, αυτά εμφανίζονται στο 20% των περιπτώσεων. Ιδιαίτερη σημασία φαίνεται να έχει ότι τα σημαντικά αποτελέσματα με διάρκεια εντοπίζονται μόνο στο 10% των ερωτήσεων

Στη περίπτωση του α' νόμου του Νεύτωνα, (8 ερωτήσεις), εμφανίζεται μια μικτή εικόνα, όπου υπάρχει διασπορά αποτελεσμάτων και στις έξι κατηγορίες. Αυτό ίσως είναι στοιχείο που δηλώνει την ανάγκη διδασκαλίας της έννοιας αυτής μέσα από διαφορετικά πλαίσια και καταστάσεις.

Ο β' νόμος του Νεύτωνα (5 ερωτήσεις), εμφανίζεται στις κατηγορίες κανένα αξιόλογο αποτέλεσμα, αρνητική επίδραση της διδασκαλίας. Πράγμα που επιβεβαιώνει τη δυσκολία αυτού

του θέματος για τα παιδιά, και ίσως δίνει μια εξήγηση για τη πρόσφατη επιλογή (2007-2008), να αφαιρεθεί ο β΄ νόμος του Νεύτωνα από την ύλη της β΄ γυμνασίου. Απόφαση πάντως που φαίνεται να μη συμφωνεί με την άποψη που έχουν διατυπώσει οι Hestenes et al. (1992), και θεωρούν ότι η διδακτική αντιμετώπιση της κεντρικής έννοιας των δυνάμεων πρέπει να είναι συνολική και στις έξι εννοιολογικές διαστάσεις του θέματος που έχουν καθορίσει οι ίδιοι ερευνητές. Αυτό ίσως που θα μπορούσε να γίνει θα ήταν μια διαφορετική διδακτική προσέγγιση που θα αποσκοπούσε περισσότερο στη κατανόηση εννοιών και δε θα έδινε ιδιαίτερη σημασία στο φορμαλισμό του β΄ νόμου. Προς αυτήν την κατεύθυνση σημαντική είναι και η διαπίστωση που θεωρεί ότι η διδασκαλία των Φ.Ε. δε πρέπει να βασίζεται σε μια σειρά διαδοχικών απλοποιήσεων της επιστημονικής γνώσης, ούτε μόνο σε διδακτικούς μετασχηματισμούς. 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).

Ο γ΄ νόμος (4 ερωτήσεις), δίνει μια πιο θετική εικόνα, δίνοντας αποτελέσματα που χαρακτηρίζονται από σημαντικά με διάρκεια έως μέτρια χωρίς διάρκεια. Πράγμα ενδιαφέρον αφού η παρανόηση που βασίζεται στην «αρχή της κυριαρχίας», χαρακτηρίζεται από τις πιο ισχυρές και από τις τελευταίες που παραμένουν κατά τη μετάβαση των παιδιών στο Νευτώνειο τρόπο σκέψης. Η «αρχή της κυριαρχίας» χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό τις παρανοήσεις που είναι σχετικές με το γ΄ νόμο του Νεύτωνα, και θεωρεί ότι κατά την αλληλεπίδραση δυο σωμάτων, μεγαλύτερη δύναμη ασκεί το σώμα που έχει περισσότερη μάζα η είναι περισσότερο ενεργό από το άλλο.

Πολύ ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση των 10 ερωτήσεων της κινηματικής, όπου εμφανίζονται αποτελέσματα που χαρακτηρίζονται μη αξιόλογα και από αρνητική επίδραση της διδασκαλίας. Θεωρείται ότι είναι ένα «περίεργο» εύρημα που χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση και διερεύνηση, καθ' ότι αναφέρεται σε ένα γνωστικό αντικείμενο που θεωρείται «εύκολο» και με άμεσες εφαρμογές στην καθημερινότητα των παιδιών. Δυστυχώς, εδώ εμφανίζεται μια περίπτωση (όχι η μόνη), όπου η διδακτική προσέγγιση καταφέρνει να κάνει τα εύκολα δύσκολα, καθώς δε βασίζεται στις εμπειρίες των παιδιών και δε προχωρά στη διδασκαλία του θέματος μέσα από αυθεντικές δραστηριότητες, που τόσο απλόχερα μπορεί να παράσχει το πεδίο της κινηματικής.

Μικτή εικόνα παρουσιάζει και η κατηγορία ερωτήσεων που αναφέρεται στα είδη δυνάμεων, με τις απαντήσεις να χαρακτηρίζονται από σημαντικά αποτελέσματα με διάρκεια μέχρι αρνητικές επιδράσεις της διδασκαλίας. Στη κατηγορία είδη δυνάμεων βρίσκονται ερωτήσεις που διαπραγματεύονται τις έννοιες: δυνάμεις επαφής, παθητικές δυνάμεις, δύναμη τριβής, αντίσταση

του αέρα, βαρύτητα. Πάντως, αρκετές απαντήσεις (10 στις 15) δε χαρακτηρίζονται από κανένα αξιόλογο αποτέλεσμα ή ακόμα και από αρνητικά αποτελέσματα. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι σε πολλές από τις παραπάνω ερωτήσεις εμπλέκεται και ο τομέας της κινηματικής, όπως η περίπτωση της παραβολικής τροχιάς κάτω από την επιτάχυνση της βαρύτητας, καθ' όσον, παρόμοια περίπτωση θεωρείται ότι είναι και η περίπτωση της παραβολικής τροχιάς σώματος κάτω από την επίδραση σταθερής επιτάχυνσης.

Ανάλυση με βάση τις σημαντικότερες παρανοήσεις

Στην παρακάτω ανάλυση, θεωρήθηκαν σαν σημαντικές εκείνες οι παρανοήσεις 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 παρανοήσεις εντοπίζονται:

(α) Στο γ' νόμο/ αρχή της κυριαρχίας, που όπως έχει τονιστεί από έρευνες αποτελεί ίσως και την ισχυρότερη παρανόηση. Οι παράγοντες στους οποίους βασίζεται η κυριαρχία του ενός σώματος πάνω στο άλλο είναι η μάζα και η ενεργότητα (ταχύτητα, επιτάχυνση), (Bao et al., 2002, Hestenes et al., 1992). Σημαντική πάντως, είναι η αντίθεση που παρουσιάζεται με την θετική εικόνα που παρουσιάζει ο γ' νόμος στην ανάλυση με βάση τη σωστή επιλογή, στοιχείο που ίσως εξηγείται από το ότι αν και η σωστή επιλογή κρατάει σχετικά σταθερό το ποσοστό της, περίπου 30%, αφήνει αρκετό «χώρο» στην εμφάνιση ισχυρών παρανοήσεων.

(β) Στο impetus, με τις διάφορες παραλλαγές του, που κάνει εμφανή την ισχύ αυτής της παρανόησης, 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. Το στοιχείο αυτό δείχνει τη σημασία που θα πρέπει να δείξει η διδασκαλία και τα σχολικά εγχειρίδια σ' αυτές τις προαντιλήψεις των παιδιών, πράγμα που δε φαίνεται να συμβαίνει σε μεγάλη έκταση.

(γ) Στις διάφορες επιδράσεις της δύναμης στη κίνηση των σωμάτων, 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 παρανοήσεις 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. 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).

(δ) Στην κινηματική, όπου εμφανίζεται σύγχυση των εννοιών ταχύτητα – θέση, ταχύτητα – επιτάχυνση, που πιθανώς οφείλεται στην χαμηλή διαφοροποίηση που έχουν παρουσιάσει οι ιδέες των παιδιών στην βασική έννοια της κίνησης και εξηγείται μάλλον από την περιορισμένη εργαστηριακή εμπειρία που παρέχεται στα παιδιά στα θέματα αυτά.

(ε) Στην βαρύτητα, όπου κυριαρχούν οι απόψεις που θεωρούν ότι: τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα και ότι η βαρύτητα αυξάνεται με τη πτώση του σώματος.

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει μια σύνδεση με το εύρημα που προέκυψε από την ανάλυση των απαντήσεων με βάση τη σωστή επιλογή και δείχνει ότι στις 28 ερωτήσεις από τις 30. το σύνολο των εναλλακτικών απαντήσεων συγκέντρωσε τη συντριπτική πλειοψηφία των επιλογών των παιδιών. Στοιχείο που έρχεται να επιβεβαιώσει τη σημασία που πρέπει να δίνεται στις εναλλακτικές αντιλήψεις των παιδιών κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού και των διδακτικών προσεγγίσεων.

Ανάλυση με βάση το βαθμό επίδοσης στο FCI

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. Θεωρείται πιθανόν, ότι η υποστήριξη των παραπάνω στοιχείων με ερευνητική προσέγγιση ποιοτικού χαρακτήρα, θα μπορούσε να δείξει και άλλες διαστάσεις του θέματος.

Επίδραση της τάξης φοίτησης

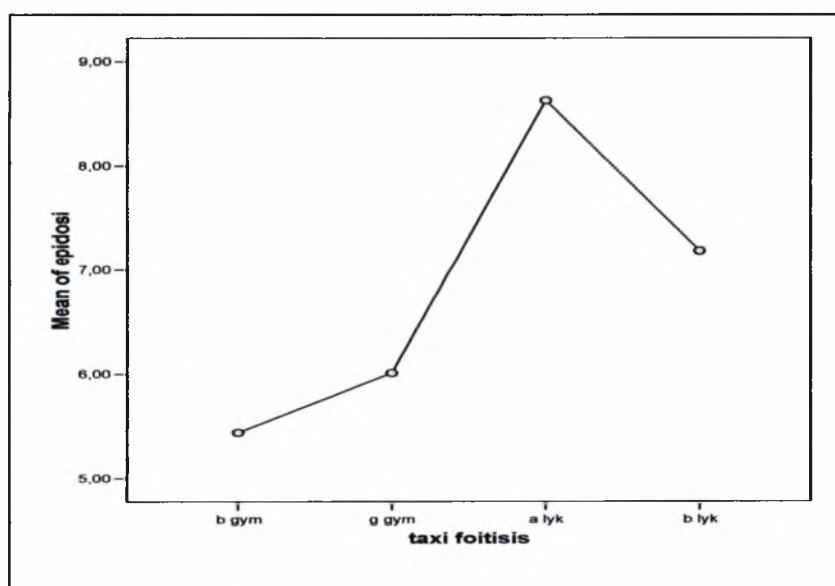
Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την εξέλιξη του μέσου όρου της επίδοσης σε σχέση με τη τάξη φοίτησης.

Πίνακας 33

	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 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 α' λυκείου. 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 η αλλιώς οι 18 μονάδες. Αυτή η εικόνα γίνεται πιο εμφανής στη παρακάτω γραφική παράσταση.

Πίνακας 34



Η στατιστική επεξεργασία δεν έγινε με απλή ανάλυση διασποράς με ένα παράγοντα (One way Analysis of Variance, ANOVA) γιατί δεν ικανοποιούταν η παραδοχή ισότητας των

διασπορών. Κατόπιν αυτού έγινε χρήση μη παραμετρικού κριτηρίου και συγκεκριμένα του Kruskal-Wallis ANOVA (Δαφέρμος 2005, Ρούσσος και Τσαούσης 2002). Με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS και με βάση το βαθμό επίδοσης στο FCI συγκρίθηκαν οι επιδόσεις των μαθητών/ριών ανά τάξη και τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Η μηδενική μας υπόθεση ήταν ότι δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις τέσσερις τάξεις ως προς την επίδοση στο FCI (Η πλήρης έκθεση των αποτελεσμάτων της στατιστικής επεξεργασίας υπάρχει στο παράρτημα της εργασίας).

Πίνακας 35

Kruskal-Wallis Test			
Ranks			
	taxi foitisis	N	Mean Rank
bathmos sto FCI	b gym	98	186,04
	g gym	158	221,57
	a lyk	188	333,84
	b lyk	79	266,13
	Total	523	

Test Statistics(b,c)		bathmos sto FCI
Chi-Square		79,568
df		3
Asymp. Sig.		,000
Monte Carlo Sig.	Sig.	,000(a)

Με βάση τα αποτελέσματα του κριτηρίου Kruskal-Wallis (πίνακας 35), η μηδενική μας υπόθεση απορρίπτεται ισχυρά υπέρ της εναλλακτικής. Κατά συνέπεια θεωρούμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην επίδοση των παιδιών στο FCI ανάλογα με την τάξη. Πράγμα που μας επιτρέπει να υποθέσουμε ότι υπήρξε επίδραση της διδασκαλίας στην επίδοση των παιδιών. Στοιχείο φυσικά που διαφαίνεται και από τη σύγκριση των μέσων όρων ανά τάξη.

Από την ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων προέκυψε ότι, η διδασκαλία είχε σχετικά σημαντική 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, κατά συνέπεια δεν απέδωσε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Ευρήματα από την εφαρμογή του FCI στις ΗΠΑ

(Findings of the Modeling Workshop Project 1994-00, <http://modeling.asu.edu>)

Η εικόνα όμως που θα σχηματιστεί θα είναι πληρέστερη αν συγκριθούν αυτά τα αποτελέσματα με τα ευρήματα εφαρμογών του FCI στις ΗΠΑ από 1994 έως το 2000 σε πάνω από 20000 άτομα και 200 γυμνάσια, με διευθυντή της έρευνας τον καθηγητή Hestenes, καθώς και από μια μεγάλη εφαρμογή του FCI από τον Hake που περιέλαβε πάνω από 5000 άτομα. Με βάση τα ευρήματα αυτών των ερευνών οι ερευνητές κατέληξαν σε κάποια συμπεράσματα, μερικά από τα οποία είναι:

- (α) Προτού διδαχθούν φυσική, οι μαθητές/ριες διατηρούν απλοϊκές απόψεις στο πεδίο της μηχανικής που είναι ασύμβατες με τις Νευτώνειες έννοιες από πολλές απόψεις.
- (β) Τέτοιες απόψεις/πεποιθήσεις αποτελούν σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για τις επιδόσεις των παιδιών στο μάθημα της φυσικής.
- (γ) Ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας προκαλεί πολύ μικρές αλλαγές σ' αυτές τις πεποιθήσεις.
- (δ) Το αποτέλεσμα είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητο από τις ικανότητες του/ης διδάσκοντα/ουσας (γνώσεις, εμπειρία και στυλ διδασκαλίας).
- (ε) 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 κλασσικής 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.
- (στ) Ο μέσος όρος επίδοσης για παιδιά που ξεκινάν την γυμνασιακή φυσική είναι περίπου 26%, λίγο παραπάνω από το 20% που θεωρείται το επίπεδο τυχαίων απαντήσεων (random guessing).
- (ζ) 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 κλασσικής μηχανικής με τη διδασκαλία που τους έγινε στο γυμνάσιο.
- (η) Μετά την παρακολούθηση ειδικών προγραμμάτων από τους καθηγητές/ριες, έτσι ώστε αυτοί να εφαρμόζουν διδακτικές προσεγγίσεις βασιζόμενες στη μοντελοποίηση και την ενεργό συμμετοχή των παιδιών, η επίδοση των μαθητών/ριών έφτασε το 69%.
- (θ) Υπάρχει σημαντική επίδραση του φύλου υπέρ των αγοριών, στις περιπτώσεις όπου η διδασκαλία διεξάγεται με τον παραδοσιακό τρόπο.

Με βάση τα παραπάνω, θα γίνει μια προσπάθεια σύνδεσης των ευρημάτων της έρευνας της παρούσας εργασίας με τα ευρήματα από την εφαρμογή του FCI στις ΗΠΑ.

Σύνδεση αποτελεσμάτων με την εφαρμογή της δοκιμασίας του FCI στις ΗΠΑ

Όσον αφορά την επίδοση των παιδιών της β΄ γυμνασίου, το 18% (5,44/30) 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 σε καμιά περίπτωση σημαντική βελτίωση.

Το 29% (8,63/30) που πετυχαίνουν τα παιδιά της α΄ λυκείου, δε θεωρείται ικανοποιητικό αν και υπάρχει αισθητή βελτίωση κατά 50% σε σχέση με το γυμνάσιο, αφού είναι πολύ κάτω από το κατώφλι επαρκούς κατανόησης των βασικών εννοιών της νευτώνειας μηχανικής (60%). Πάντως είναι σχετικά κοντά με τις επιδόσεις των παιδιών στις ΗΠΑ μετά από μια παραδοσιακή δασκαλοκεντρική διδασκαλία, που βρέθηκε να είναι στο 42%. Δέκα παιδιά από τα 188 της α΄ λυκείου πετυχαίνουν επίδοση από 50% και πάνω (5% των παιδιών), ενώ μόνο τέσσερα παιδιά καταφέρνουν να πετύχουν/ξεπεράσουν το κατώφλι κατανόησης, που θέτουν οι δημιουργοί του FCI, και ισούται με τις 18 μονάδες (60% της άριστης επίδοσης). Τα ποσοστά αυτά πρέπει να προβληματίσουν ιδιαίτερα, αφού η α΄ λυκείου είναι η τάξη στην οποία αφιερώνεται ο περισσότερος χρόνος για τη διδασκαλία της μηχανικής, ενώ σημαντικός αριθμός των παιδιών παρακολουθεί και επιπλέον μαθήματα στο μάθημα της φυσικής, φροντιστήρια κ.λπ., τα οποία όμως σε μεγάλο βαθμό αναπαράγουν το καθιερωμένο μοντέλο διδασκαλίας που στηρίζεται στη μετάδοση της γνώσης.

Στη β΄ λυκείου ο μέσος όρος επίδοσης είναι 24% (7,19/30), στοιχείο που δηλώνει ότι υπάρχει μια μείωση στα μαθησιακά αποτελέσματα. Μόνο τρία παιδιά από τα 79 πετυχαίνουν (3,8% παιδιών) επίδοση από το 15 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, η 25 μονάδες).

Η παραπάνω ανάγνωση των αποτελεσμάτων, προτρέπει για μια αναθεώρηση στη σχετικά θετική εικόνα που προέκυψε από τη στατιστική επεξεργασία, όπου φάνηκε να υπάρχει θετική επίδραση της διδασκαλίας στην κατανόηση των νευτώνειων εννοιών από τα παιδιά. Μπορεί να υπάρχει μια στατιστικά σημαντική διαφορά, όμως αυτή δεν είναι εκπαιδευτικά/μαθησιακά

σημαντική. 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 κατοχή του γνωστικού αντικειμένου.

Κατά συνέπεια, όσον αφορά στο θέμα των μαθησιακών αποτελεσμάτων και της επίδρασης της διδασκαλίας στην κατανόηση εννοιών στο πεδίο της κλασσικής μηχανικής (εννοιολογική αλλαγή), μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η διδασκαλία δεν είχε σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών και ούτε πέτυχε σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Επίδραση του φύλου

Πίνακας 36 (Επίδραση του φύλου στην επίδοση στο FCI)

	Αγόρια μέσος ορος	Κορίτσια μέσος όρος	Διαφορά μέσων όρων
Β' γυμνασίου	6,00	4,96	1,04
Γ' γυμνασίου	6,67	5,51	1,17
Α' λυκείου	9,76	7,81	1,95
Β' λυκείου	7,91	6,67	1,24

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η επίδραση του φύλου στην επίδοση της δοκιμασίας του FCI γίνεται εντονότερη υπέρ των αγοριών, με την επίδραση της διδασκαλίας, και φαίνεται να υπάρχει μια σχέση με την επίδοση στο FCI. Με τη βελτίωση στη μέση τιμή της επίδοσης στο FCI φαίνεται να αυξάνεται η επίδραση του φύλου στις επιδόσεις των παιδιών.

Από την εφαρμογή του T-test ανά τάξη προέκυψε ότι όλες οι διαφορές που παρατηρούνται εξαιτίας της επίδρασης του φύλου είναι στατιστικά σημαντικές, εκτός από την περίπτωση της β' λυκείου ($\text{sign.} = 0.123 > 0.05$, δες παράρτημα εργασίας).

Επίδραση της κοινωνικοοικονομικής προέλευσης των μαθητών/ριών

Πίνακας 37 (Επίδραση της περιοχής προέλευσης του σχολείου)

	αστική	Ημιαστική, γεωργική	Διαφορά μέσων όρων
Β' γυμνασίου	5,45	5,43	0,014
Γ' γυμνασίου	6,32	5,45	0,87
Α' λυκείου	8,92	7,77	1,15
Β' λυκείου	8,45	5,34	3,10

Από τον παραπάνω πίνακα 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 συντελεί στην επέκταση 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 (παράρτημα εργασίας), προκύπτουν στατιστικά σημαντικές οι διαφορές που παρατηρούνται στη γ' γυμνασίου και στη β' λυκείου. Στην α' λυκείου η διαφορά θεωρείται οριακά, στατιστικά μη σημαντική ($\text{sign.}=0,063>0,05$, επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $p=0,05$), ενώ στη β' γυμνασίου η διαφορά θεωρείται στατιστικά μη σημαντική με ασφάλεια.

Χαρακτηρισμός αποτελεσμάτων

Σημαντικά αποτελέσματα με διάρκεια:

Χαρακτηρίζονται αυτά όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης στην α' λυκείου αυξήθηκε κατά 30% και περισσότερο σε σχέση με τη β' γυμνασίου και διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα στη β' λυκείου.

Σημαντικά αποτελέσματα χωρίς διάρκεια:

Χαρακτηρίζονται αυτά όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης στην α' λυκείου αυξήθηκε κατά 30% και περισσότερο σε σχέση με τη β' γυμνασίου, αλλά δε διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα στη β' λυκείου.

Μέτρια αποτελέσματα με διάρκεια:

Χαρακτηρίζονται αυτά όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης αυξήθηκε με την τάξη, ενώ στην α' λυκείου ήταν αυξημένο τουλάχιστον πάνω από 10% (10 έως 30%), σε σχέση με τις δυο τάξεις του γυμνασίου, και διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα στη β' λυκείου.

Μέτρια αποτελέσματα χωρίς διάρκεια:

Χαρακτηρίζονται αυτά όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης αυξήθηκε με την τάξη, ενώ στην α' λυκείου ήταν αυξημένο τουλάχιστον πάνω από 10% σε σχέση με τις δυο τάξεις του γυμνασίου, όμως δε διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα στη β' λυκείου.

Κανένα αξιολογικό αποτέλεσμα:

Χαρακτηρίζονται αυτά όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης παρέμεινε σχεδόν σταθερό (δεν αυξήθηκε πάνω από 10% στο λύκειο σε σχέση με το γυμνάσιο) σε συνάρτηση με την τάξη.

Αρνητική επίδραση της διδασκαλίας/Ενίσχυση παρανοήσεων

Έχουμε σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου το ποσοστό της σωστής απάντησης σημείωσε μείωση σε συνάρτηση με την τάξη.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Συμπεράσματα

Από τη ανάλυση των αποτελεσμάτων που προηγήθηκε προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Η διδασκαλία της κλασσικής μηχανικής στο γυμνάσιο και στο λύκειο, με βάση το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό μοντέλο που βασίζεται σε διαλέξεις και επιδείξεις, 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 Ελλήνων/νίδων 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 κλασσικής μηχανικής.

Υπάρχει σχετική επίδραση του φύλου των μαθητών/ριών στην επίδοσή τους στη κλασσική 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 υπερέχουν στις επιδόσεις στη δοκιμασία του FCI. Επίδραση που δεν εμφανίζεται στη β' γυμνασίου, ενώ φαίνεται να αυξάνεται σε συνάρτηση με τη τάξη και με τη διδασκαλία που μεσολαβεί, στοιχείο που δείχνει να υπάρχει μια ανάλογη συμπεριφορά στην επίδραση του φύλου και στην επίδραση της κοινωνικοοικονομικής προέλευσης.

Παρουσιάζεται μείωση μαθησιακών αποτελεσμάτων στο τέλος της β' λυκείου.

Οι κυρίαρχες παρανοήσεις που δείχνουν ιδιαίτερη αντίσταση στη διδασκαλία και συγκεντρώνουν πάνω από το 40% των προτιμήσεων των παιδιών κάθε τάξης φαίνεται να είναι

(α) Οι παρανοήσεις οι σχετικές με το *impetus*, όπου τα παιδιά θεωρούν ότι υπάρχει μια εσωτερική/έμφυτη δύναμη/ορμή μέσα στα σώματα και «προικίζεται» με διάφορες ιδιότητες, αύξηση, μείωση, κατανάλωση, μεταφορά, ενίσχυση, απώλεια/ανάκτηση, εξάντληση, κυκλικό χαρακτήρα. Υπήρξαν 10 ερωτήσεις του FCI (5, 6, 10, 11, 12, 13, 18, 23, 24, 30) όπου οι αντιλήψεις για το *impetus* εμφανίστηκαν να κυριαρχούν στις απαντήσεις των παιδιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι όπου υπήρχαν εναλλακτικές επιλογές σχετικές με το *impetus* συγκεντρώναν μεγάλο αριθμό από τις προτιμήσεις των παιδιών όλων των τάξεων.

(β) Η γενικότερη παρανόηση για την αρχή της κυριαρχίας στον γ' νόμο του Νεύτωνα, σύμφωνα με την οποία κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ δυο σωμάτων εμφανίζεται κυριαρχία του ενός πάνω στο άλλο (ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη), με βάση το ποιο σώμα έχει τη μεγαλύτερη μάζα, ή ποιο σώμα είναι περισσότερο ενεργό (έχει ταχύτητα/επιτάχυνση ή μεγαλύτερη ταχύτητα/επιτάχυνση, ή θεωρείται ο αρχικός δράστης). Η παρανόηση για την αρχή της κυριαρχίας εμφανίζεται σε σημαντικό βαθμό σε όλες τις ερωτήσεις του FCI που διαπραγματεύονται θέματα σχετικά με τον γ' νόμο του Νεύτωνα. Από την ανάλυση των ερωτήσεων (4, 15, 16, 28), φάνηκε, ότι τα παιδιά της έρευνας είχαν σημαντικότερο πρόβλημα με την κυριαρχία εξαιτίας της «ενεργότητας» των σωμάτων παρά με την κυριαρχία εξαιτίας της μάζας.

(γ) Παρανοήσεις στο τρόπο με τον οποίο «ενεργεί» μια δύναμη, στις ιδιότητες που έχει η δύναμη καθώς και στα αποτελέσματα που εμφανίζονται όταν ενεργούν πολλές δυνάμεις πάνω σε ένα σώμα. Συγκεκριμένα εδώ εμφανίζονται οι παρανοήσεις που εκφράζουν ότι η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα, η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη δύναμη (22, 26), η τελευταία/μεγαλύτερη δύναμη που ενεργεί καθορίζει το αποτέλεσμα, (8, 9, 17, 21), και υπάρχει κίνηση όταν η δύναμη υπερνικά την αντίσταση (25).

(δ) Σημαντικές παρανοήσεις εμφανίστηκαν στη κινηματική (σύγχυση εννοιών θέσης, ταχύτητας, επιτάχυνσης) (ερωτήσεις 19, 20) και στη βαρύτητα (διαφορετική επίδραση της βαρύτητας ανάλογα με την περίσταση), με κυριότερες προαντιλήψεις που θεωρούν ότι τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα και ότι η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων (ερωτήσεις 1, 2, 3).

Με βάση τα στοιχεία που εντοπίστηκαν για τις παρανοήσεις (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 της κλασικής μηχανικής, (π.χ. 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 κλασσική 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 είχαν 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/τις μαθητές/ριες στο πεδίο της κλασσικής μηχανικής. Η συντριπτική πλειοψηφία των παιδιών έδειξε να μην τροποποιεί/αντικαθιστά τις παρανοήσεις που διατηρεί για τις βασικές έννοιες της κλασσικής μηχανικής. Φαίνεται ότι κυρίαρχο ρόλο σ' αυτό έπαιξε ο τρόπος διδασκαλίας του συγκεκριμένου γνωστικού αντικειμένου, 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 and Kommis, 2003, Hestenes et. al, 1992, Hake, 1998 κ.α.).

2. Πρόταση για τη διδακτική αξιοποίηση του FCI

Ακολουθεί διδακτική πρόταση που αποτελείται από δυο σκέλη και αποσκοπεί στην αξιοποίηση του FCI στην διδακτική πράξη και στην δημιουργία ενός διδακτικού εργαλείου που θα μπορούσε να βοηθούσε σημαντικά στην κατεύθυνση της κατανόησης των Νευτώνειων εννοιών από τους/ις μαθητές/ριες. Τα σκέλη της διδακτικής πρότασης περιλαμβάνουν: (α) μια πρόταση για το διδακτικό πλαίσιο χρήσης του FCI, σε ένα εποικοδομητικό συνεργατικό περιβάλλον μάθησης και (β) έναν οδηγό διδακτικής χρήσης του FCI. Η συνολική πρόταση για τη διδακτική αξιοποίηση του FCI σε συνδυασμό με τις ερωτήσεις του FCI (παράρτημα εργασίας), μπορούν να αποτελέσουν ένα διδακτικό εργαλείο, χρήσιμο στην καθημερινή εκπαιδευτική πράξη των εκπαιδευτικών και των μαθητών/ριών.

2α. Πρόταση για το διδακτικό πλαίσιο χρήσης του FCI, σε ένα εποικοδομητικό συνεργατικό περιβάλλον μάθησης

Χαρακτηριστικά αποτελεσματικής διδασκαλίας

Από την έρευνα της παρούσας εργασίας φαίνεται ότι μια πιθανή αιτία για τα ανεπαρκή μαθησιακά αποτελέσματα που παρατηρούνται στο πεδίο της κλασσικής μηχανικής, είναι ο τρόπος διδασκαλίας και τα διδακτικά υλικά που χρησιμοποιούνται. Κατά συνέπεια, σημαντικό θεωρείται το ζήτημα της οργάνωσης μιας αποτελεσματικής διδασκαλίας της κλασσικής μηχανικής, η οποία εκτός των άλλων πρέπει να χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω:

Να βασίζεται σε μια συνολική και ενιαία προσέγγιση και των έξι συνιστωσών της έννοιας της δύναμης, κινηματική, α' νόμος, β' νόμος, γ' νόμος, σύνθεση ταχυτήτων, είδη δυνάμεων.

Να αποφεύγει την απλή αναφορά των παρανοήσεων που διατηρούν οι μαθητές/ριες και τον χαρακτηρισμό τους σαν λανθασμένες. Το να ανακοινωθούν στους/ις μαθητές/ριες οι παρανοήσεις τους, έχει πολύ μικρό αποτέλεσμα. Για να προκληθεί σημαντική εννοιολογική αλλαγή, είναι αποφασιστική μια καλοσχεδιασμένη και δοκιμασμένη διδακτική μέθοδος. Όπως κάθε άλλη σύνθετη πνευματική δεξιότητα, η αποτελεσματική διδασκαλία απαιτεί βαθειά γνώση των τεχνικών διδασκαλίας. Ως στοιχεία μιας τέτοιας προσέγγισης θα μπορούσαν να αναφερθούν τα ακόλουθα:

Να κάνει χρήση της ομαδικής συζήτησης, η οποία μπορεί να δώσει ερεθίσματα για αυθεντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παιδιών που με τη σειρά τους θα συντελέσουν αποφασιστικά στην διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής.

Να δίνει ευκαιρίες για οικοδόμηση της νέας γνώσης θέτοντας την επίσημη επιστημονική άποψη/έννοια σε σύγκριση με τις προαντιλήψεις των παιδιών και λαμβάνοντας υπ' όψη ότι οι παρανοήσεις μπορούν να ξεπεραστούν με επιτυχία μόνο όταν κάτι καλύτερο είναι διαθέσιμο να τις αντικαταστήσει.

Να φέρνει τους μαθητές/ριες αντιμέτωπους με τις παρανοήσεις, όχι μόνον αυτές που διατηρούν οι ίδιοι αλλά κι αυτές που εκφράζονται από άλλα παιδιά για το συγκεκριμένο θέμα και είναι διαπιστωμένες μέσα από την έρευνα.

Να κάνει εμφανή στους/ις μαθητές/ριες την ικανότητα και την αποτελεσματικότητα της νευτώνειας έννοιας να εξηγεί και να προβλέπει φαινόμενα που αναπαριστούνται στο εργαστήριο ή που αναφέρονται σε καταστάσεις από την καθημερινότητα των παιδιών.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τις παραπάνω επισημάνσεις και ιδιαίτερα την ανάγκη να λαμβάνονται υπ' όψη οι παρανοήσεις των παιδιών για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας της φυσικής, φαίνεται ότι θα μπορούσε να αναδειχθεί ένας νέος ρόλος για το Force Concept Inventory, καθώς θα μπορούσε να γίνει διδακτική αξιοποίησή του στη διδασκαλία της κλασικής μηχανικής. Οι λόγοι που ενισχύουν μια τέτοια επιλογή συνδέονται με μερικά χαρακτηριστικά που αποδεδειγμένα συγκεντρώνει το FCI. Αυτά είναι:

Το FCI μέσα από τις τριάντα ερωτήσεις που περιλαμβάνει, καλύπτει ικανοποιητικά τις βασικές έννοιες της κλασικής μηχανικής. Όλη η δομή του βασίζεται πάνω στις παρανοήσεις που έχουν οι μαθητές/ριες για τις έννοιες της κλασικής μηχανικής. Στο πλαίσιο της κάθε ερώτησης του FCI, διατίθενται οι κυριότερες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών/ριών και η επιστημονική Νευτώνεια επιλογή. Διαθέτει αποδεδειγμένη αξιοπιστία και ακρίβεια στην αναγνώριση και ταξινόμηση των παρανοήσεων, ιδιαίτερα όταν ζητείται από τα παιδιά να δικαιολογήσουν τους λόγους που τους οδήγησαν στην επιλογή τους. Οι ερωτήσεις του Inventory μπορεί να αποτελέσουν τις αφορμές για να προκληθούν οι συλλογισμοί των παιδιών και να ανοίξουν κύκλοι παραγωγικών συζητήσεων, δίνοντας έτσι την ευκαιρία στον/ην εκπαιδευτικό να αναπτύξει μια αλληλεπιδραστική/συμμετοχική διδασκαλία.

Σκοπός της πρότασης πλαισίου διδασκαλίας

Με βάση τα όσα αναπτύχθηκαν παραπάνω, διατυπώνεται η διδακτική πρόταση που ακολουθεί και έχει σαν κύριο σκοπό την δημιουργία περιβάλλοντος διδασκαλίας για την ανάπτυξη μιας αλληλεπιδραστικής συμμετοχικής διδασκαλίας που θα βοηθήσει τα παιδιά στη διαδικασία της κατανόησης στο γνωστικό πεδίο της κλασικής μηχανικής

Στόχοι

Να εμπλακούν ενεργά όσο το δυνατόν περισσότεροι/ες μαθητές/ριες σε αυθεντικές δραστηριότητες.

Να εκφράσουν ελεύθερα τα παιδιά τις παρανοήσεις που διατηρούν

Να κάνουν χρήση της επιστημονικής ορολογίας όσο το δυνατόν περισσότερα παιδιά

Να αναπτυχθεί αυθεντική επικοινωνία μεταξύ των παιδιών, να αντιπαρατεθούν οι απόψεις και οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών/ριών.

Να δημιουργήσει το κατάλληλο περιβάλλον για τη δημιουργία γνωστικής σύγκρουσης η τη χρήση της γεφυρωτικής αναλογίας.

Να αντιμετωπίσουν οι μαθητές/ριες τις υπάρχουσες παρανοήσεις, ταυτόχρονα με τη αντίστοιχη Νευτώνεια έννοια.

Να αναδειχθεί η ανωτερότητα και χρησιμότητα των Νευτώνειων εννοιών σε σχέση με τις παρανοήσεις των παιδιών.

Περιγραφή διδακτικής πρότασης

Οι μαθητές/ριες χωρίζονται σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων, λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδοση και το φύλο των παιδιών καθώς και το κοινωνιόγραμμα της τάξης. Σε κάθε ομάδα δίνεται ένα φύλο εργασίας που περιέχει μια η και παραπάνω ερώτηση/εις από το FCI που είναι σχετική/ές με την έννοια που πρόκειται να διδαχθεί, η που έχει διδαχθεί. Ζητείται από τα παιδιά να διαβάσουν με προσοχή την εκφώνηση και να ρωτήσουν αν υπάρχει κάτι που δεν καταλαβαίνουν στις εκφωνήσεις των ερωτήσεων. Κατόπιν ακολουθεί η εργασία στις ομάδες με βάση τα φύλλα εργασίας και με την εξής σειρά.

1. Ζητείται από τα παιδιά να συζητήσουν μέσα στην ομάδα και να επιλέξουν την επιλογή που θεωρούν σωστή. Αν υπάρχουν διαφωνίες να επιχειρηματολογήσουν μεταξύ τους και να καταλήξουν, αν είναι δυνατό, σε μια ομόφωνη απόφαση.
2. Στο φύλο εργασίας που τους έχει δοθεί, ζητείται να δικαιολογήσουν γραπτά την επιλογή τους. Να τους γίνει σαφές ότι στη προσπάθεια τους για δικαιολόγηση μπορούν να αναφέρουν και παραδείγματα από τη καθημερινή τους ζωή η από γενικότερες εμπειρίες που έχουν, π.χ. τηλεόραση, περιοδικά κ.λπ.
3. Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία των φύλλων εργασίας από κάθε ομάδα, ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε ολόκληρη τη τάξη. Ο υπεύθυνος κάθε ομάδας ανακοινώνει την επιλογή που έκαναν και σε σύντομο χρόνο, 1-2 λεπτά, δικαιολογεί την επιλογή τους. Ο/Η εκπαιδευτικός μπορεί να σημειώνει στον πίνακα τις επιλογές κάθε ομάδας, έτσι ώστε να γίνει εμφανές ποια επιλογή θα κυριαρχήσει.

4. Τελικά ακολουθεί συζήτηση μέσα στη τάξη, όπου κάθε ομάδα επιχειρηματολογεί υπέρ της επιλογής της και προσπαθεί να πείσει τις υπόλοιπες ομάδες.

Σε αυτή τη φάση ο ρόλος του/ης εκπαιδευτικού πρέπει να είναι διακριτικά παρεμβατικός, καθοδηγητικός και να βοηθάει την εξέλιξη της συζήτησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Ειδικά θα πρέπει να έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται πότε η συζήτηση κάποιων συγκεκριμένων παρανοήσεων θα είναι περισσότερο αποδοτική, έτσι ώστε να παρέμβει την κατάλληλη στιγμή (Hestenes et al., 1992), να εστιάσει την προσοχή των μαθητών/ριών σε σημαντικά ζητήματα και να οδηγήσει τη συζήτηση σε ένα ικανοποιητικό συμπέρασμα/κλείσιμο. Στο στάδιο αυτό ο/η εκπαιδευτικός μπορεί και πρέπει (αν είναι δυνατόν) να κάνει τη χρήση ενός αντιφατικού συμβάντος (discrepant event) το οποίο θα δημιουργήσει γνωστική σύγκρουση μεταξύ των παρανοήσεων που θα έχουν εκφραστεί και του φαινομένου που θα παρατηρήσουν και θα είναι σε αδυναμία να εξηγήσουν (Nussbaum and Novick, 1982). Αντί για τη χρήση του αντιφατικού συμβάντος, μπορεί να γίνει η χρήση μιας αναλογίας που θα λειτουργήσει «γεφυρωτικά» μεταξύ των ιδεών των παιδιών και της έννοιας προς κατανόηση (Brown and Clement 1989, Savinainen, Scott and Jouni 2004). Η χρήση του αντιφατικού συμβάντος ή της γεφυρωτικής αναλογίας μπορεί να γίνει μέσα από τη χρήση του εργαστηρίου, με επίδειξη απλού πειράματος/συσκευής μέσα στην αίθουσα, με τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού, προσομοίωσης, και ότι άλλο κριθεί κατάλληλο και σκόπιμο. (Παράδειγμα αντιφατικού συμβάντος στη διδασκαλία της ελεύθερης πτώσης, που μπορεί να προκαλέσει γνωστική σύγκρουση είναι η πτώση ενός φύλου χαρτιού και ενός βιβλίου, στην αρχή χωριστά αλλά ταυτόχρονα, μετά το βιβλίο και το χαρτί ακριβώς πίσω από το βιβλίο, και κατόπιν το βιβλίο χωριστά αλλά ταυτόχρονα με το χαρτί, μόνο που το χαρτί αυτή τη φορά θα είναι τσαλακωμένο. Παράδειγμα γεφυρωτικής αναλογίας στη διδασκαλία του γ' νόμου και της αλληλεπιδραστικής φύσης των δυνάμεων μπορεί να είναι η πίεση μιας παραμορφώσιμης επιφάνειας με τον αντίχειρα των μαθητών/ριών, με διαφορετικές «εντάσεις» και να ζητηθεί από τα παιδιά να σχολιάσουν τη δύναμη που αισθάνονται στον αντίχειρά τους με τη παραμόρφωση που υφίσταται το παραμορφώσιμο υλικό). Μετά την παρουσίαση τέτοιων γεγονότων ακολουθεί συζήτηση, τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να τοποθετηθούν εκ νέου, και αν θέλουν να αλλάξουν την αρχική τους τοποθέτηση, μεταβαίνοντας προς την Νευτώνεια επιλογή που δεν επέλεξαν αρχικά. Να γίνει ξεκάθαρο στα παιδιά ότι έχουν το δικαίωμα να

αλλάξουν άποψη και ότι αυτό δεν αποτελεί αδυναμία αλλά ένδειξη ώριμης και υπεύθυνης στάσης. Πάντως σε κάθε περίπτωση να δικαιολογήσουν αυτήν την αλλαγή.

5. Καλό είναι στο τέλος να παρατίθεται στους/ις μαθητές/ριες ένα πρόβλημα στο οποίο θα πρέπει να διατυπώσουν μια πρόβλεψη/δικαιολόγηση για την εξέλιξη ενός φυσικού φαινομένου. Μέσα από αυτήν την πρόβλεψη να προσφέρεται η αξία της επιστημονικής ιδέας στην πρόβλεψη/δικαιολόγηση φαινομένων καθώς και η «ανωτερότητα» της απέναντι στις εναλλακτικές αντιλήψεις που διατηρούσαν τα παιδιά.

2β. Οδηγός διδακτικής χρήσης του FCI

Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή ενός οδηγού για διδακτική χρήση του FCI. Σκοπός του οδηγού είναι η καθοδήγηση του/ης εκπαιδευτικού στη χρήση/αξιοποίηση του FCI ως εκπαιδευτικού υλικού. Ο οδηγός αποτελείται από μια ομαδοποίηση ερωτήσεων του FCI ανά ενότητα εννοιών που συνήθως αποτελούν και μια διδακτική ενότητα. Η ομαδοποίηση αυτή βασίστηκε στις Νευτώνειες έννοιες που διαπραγματεύεται κάθε ερώτηση του FCI. Κάθε ομάδα ερωτήσεων αποτελεί στοιχείο του οδηγού διδακτικής χρήσης του FCI και θα αποκαλείται «διδασκτικό στοιχείο» ή απλά «στοιχείο». Στα στοιχεία του οδηγού αναφέρονται οι παρανοήσεις που έχουν εντοπιστεί σχετικά με τα θέματα που διαπραγματεύονται. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, σημειώνονται ποιες παρανοήσεις έδειξαν ιδιαίτερη αντοχή και που θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή από τους/ις διδάσκοντες/ουσες.

Ο οδηγός διδακτικής χρήσης του FCI, σε συνδυασμό με το πλήρες ερωτηματολόγιο του FCI και με τη πρόταση για το περιβάλλον/πλαίσιο διδασκαλίας που διατυπώνεται, μπορούν να αποτελέσουν τις τρεις συνιστώσες ενός διδακτικού εργαλείου, χρήσιμου για τον/ην εκπαιδευτικό, που θα προσπαθήσει να πετύχει μια κατανόηση των σχετικών εννοιών της Μηχανικής από τα παιδιά.

Οι γενικοί άξονες που προτείνονται για την χρήση του εργαλείου είναι: (α) Προετοιμασία του/ης διδάσκοντα/ουσας στην έννοια που θα διδάξει με βάση και τον οδηγό διδακτικής χρήσης του FCI. (β) Χωρισμός των μαθητών/ριών σε ομάδες, ανάθεση σε κάθε ομάδα παιδιών της επεξεργασίας ενός στοιχείου ή κάποιων ερωτήσεων/ερωτήσεων από ένα στοιχείο του οδηγού διδακτικής χρήσης του FCI. (γ) Παρέμβαση του/ης διδάσκοντα/ουσας, προσπάθεια άρσης των παρανοήσεων (αναλυτικότερα δες πλαίσιο διδασκαλίας).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ανίχνευση και ο εντοπισμός των παρανοήσεων δε θα βοηθήσει σημαντικά, αν δε συσχετιστεί με μια πετυχημένη διδακτική αντιμετώπιση τους, σε ένα πλαίσιο που θα προωθεί τη συμμετοχική και αλληλεπιδραστική διδασκαλία Ένα άλλο στοιχείο με ιδιαίτερη σημασία, είναι αυτό που θεωρεί ότι η αντιμετώπιση των παρανοήσεων είναι επιτυχημένη όταν γίνεται μέσα από μια συνολική προσπάθεια που διαπραγματεύεται το σύνολο των εννοιών της κλασικής μηχανικής, μια προσπάθεια που χρειάζεται χρόνο και απαιτεί από τον/ην διδάσκοντα/ουσα καλή γνώση των απαραίτητων διδακτικών τεχνικών που θα προωθήσουν το συμμετοχικό και αλληλεπιδραστικό κλίμα που απαιτείται για μια αποτελεσματική διδασκαλία.

Στοιχεία του οδηγού

A. Κινηματική

1^ο Στοιχείο: Πτώση των σωμάτων, επιτάχυνση της βαρύτητας

Προτείνεται η χρήση των ερωτήσεων 1, 2 και 3 του FCI. (ελεύθερη πτώση, οριζόντια βολή), με σκοπό την κατανόηση των εξής: (α) η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ανεξάρτητη από το βάρος των σωμάτων (ερωτήσεις 1, 2), και (β) η δύναμη της βαρύτητας είναι πρακτικά σταθερή για σχετικά μικρά ύψη (ερώτηση 3).

Στο ζήτημα της βαρύτητας η έρευνα που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι οι μαθητές/ριες διατηρούν ισχυρές τις εξής παρανοήσεις: Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα (1, 2) Η βαρύτητα αυξάνεται κατά τη πτώση των σωμάτων (3). Και οι δυο παρανοήσεις επέδειξαν σημαντική αντοχή στη διδασκαλία και στο χρόνο, με τα ποσοστά τους να παραμένουν μονίμως υψηλά σε όλες τις τάξεις.

2^ο Στοιχείο: Ταχύτητα, επιτάχυνση

Οι ερωτήσεις 19 και 20 του FCI, διαπραγματεύονται τις έννοιες της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Η διδακτική χρήση αυτών των ερωτήσεων μπορεί να βοηθήσει ώστε τα παιδιά να διαφοροποιήσουν τις έννοιες θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση ως εξής: διαχωρισμός θέσης-ταχύτητας (19), διαχωρισμός ταχύτητας-επιτάχυνσης (20).

Η έρευνα βρήκε ότι η παρανόηση για τη μη διάκριση μεταξύ θέσης-ταχύτητας (19) είναι ιδιαίτερα ισχυρή και φαίνεται να μην επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από τη διδασκαλία, ενώ η παρανόηση για τη μη διάκριση μεταξύ ταχύτητας-επιτάχυνσης (19, 20) παρ' όλο που κυμαίνεται σε σχετικά μικρότερα ποσοστά προτιμήσεων, κι' αυτή δείχνει να μην επηρεάζεται σημαντικά από τη διδασκαλία και το χρόνο. Πάντως σε κάθε περίπτωση η διδασκαλία θα πρέπει να στοχεύσει πρώτα στη διάκριση θέσης-ταχύτητας μέσα από εργαστηριακή εμπειρία (χρήση ηλεκτρικού

χρονομέτρη από τα ίδια τα παιδιά), ενώ με ανάλογη εργαστηριακή εμπειρία θα πρέπει να προσεγγιστεί και η διάκριση ταχύτητας-επιτάχυνσης.

3^ο Στοιχείο: Κυκλική κίνηση, κεντρομόλος επιτάχυνση

Οι ερωτήσεις 5 και 18 διαπραγματεύονται την έννοια της κεντρομόλου επιτάχυνσης κατά την κυκλική κίνηση ενός σώματος. Οι παρανοήσεις που βρέθηκαν να ξεχωρίζουν είναι η παρανόηση για το κυκλικό impetus, καθώς κι' αυτή για την φυγόκεντρη δύναμη. Από αυτές φαίνεται να έχει σημαντικότερη επίδραση αυτή που αναφέρεται στο κυκλικό impetus. Ένα στοιχείο που θα πρέπει να πάρει σοβαρά υπ' όψη του ο/η διδάσκων/ουσα είναι η εικόνα που παρουσιάζεται στην α' λυκείου, όπου όλες οι απαντήσεις συγκεντρώνουν ποσοστά σε μια στενή περιοχή 10 έως 25%, χωρίς να ξεχωρίζει καμιά συγκεκριμένη παρανόηση. Αυτό πιθανά δηλώνει ότι το θέμα της κυκλικής κίνησης παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία για τα παιδιά και απαιτεί προσεκτικούς διδακτικούς χειρισμούς που θα πρέπει οπωσδήποτε να λάβουν υπ' όψη τις παρανοήσεις των παιδιών για το impetus και τη φυγόκεντρη δύναμη.

4^ο Στοιχείο: Διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων

Η ερώτηση 9 ασχολείται με τη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων. Η ανάλυση των απαντήσεων της έρευνας έδειξε ότι η σημαντικότερη παρανόηση που διατηρούν τα παιδιά στο θέμα αυτό είναι αυτή που θεωρεί ότι η τελευταία «δύναμη» που ενεργεί καθορίζει την κίνηση του σώματος. Παρανόηση που δείχνει να μην επηρεάζεται καθόλου από το χρόνο και τη διδασκαλία που μεσολαβεί. Άλλη σημαντική παρανόηση αποτελεί η μη διανυσματική σύνθεση ταχυτήτων, η οποία όμως φαίνεται να έχει καλύτερη εξέλιξη στο χρόνο. Κατά συνέπεια η διδασκαλία θα πρέπει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή σε αυτές τις δυο παρανοήσεις και ειδικά στην «η τελευταία δύναμη που ενεργεί στο σώμα καθορίζει την κίνηση του σώματος».

B. Α' νόμος του Νεύτωνα

Ο α' νόμος του Νεύτωνα αντιμετωπίζεται από αρκετές ερωτήσεις σε πολλά και διάφορα πλαίσια εφαρμογής.

5^ο Στοιχείο: Σταθερή κατεύθυνση της ταχύτητας σε σώματα που διακόπτουν απότομα την κυκλική τους κίνηση

Οι ερωτήσεις 6 και 7, διαπραγματεύονται το θέμα της σταθερής κατεύθυνσης της ταχύτητας ενός σώματος όταν σε αυτό δεν ενεργούν δυνάμεις (η έχουν συνισταμένη μηδέν), στο πλαίσιο της κυκλικής κίνησης. Η σημαντικότερη παρανόηση που φαίνεται να διατηρούν τα παιδιά είναι αυτή για την ύπαρξη του κυκλικού impetus, που διατηρεί σταθερά υψηλό ποσοστό σε όλες τις τάξεις και φαίνεται να μην επηρεάζεται καθόλου από τη διδασκαλία και το χρόνο. Η παρανόηση για τη φυγόκεντρη δύναμη δε φαίνεται να απασχολεί τα παιδιά στο πλαίσιο της

συγκεκριμένης ερώτησης. Η διδασκαλία θα πρέπει να δώσει προσοχή στη παρανόηση για το κυκλικό *impetus* μέσα από συζητήσεις και συγκεκριμένα έργα των μαθητών/ριών. Πάντως, έρευνες έχουν δείξει ότι η παρανόηση για το κυκλικό *impetus*, όντας μια ιδιαίτερη μορφή της γενικότερης αντίληψης για το *impetus*, είναι πιθανόν να εγκαταλείπεται «αυτόματα» από τα παιδιά που αντικαθιστούν τη γενική παρανόηση του *impetus* (Hestenes et al. 1992). Οι συγκεκριμένες ερωτήσεις θα μπορούσαν να συνδυαστούν με τις ερωτήσεις 5 και 18 που διαπραγματεύονται την έννοια της κεντρομόλου επιτάχυνσης, καθώς είναι διαπιστωμένο ότι μια συνολική και σύνθετη αντιμετώπιση των παρανοήσεων μάλλον βοηθάει καλύτερα από μια αποσπασματική και μία προς μία αντιμετώπιση.

6^ο Στοιχείο: Σταθερή κατεύθυνση, σταθερό μέτρο ταχύτητας σε κινήσεις χωρίς τριβές

Οι ερωτήσεις 8, 10, 23 και 24 διαπραγματεύονται το ζήτημα της σταθερής κατεύθυνσης ταχύτητας ενός σώματος όταν σ' αυτό δεν ενεργούν δυνάμεις η έχουν συνισταμένη μηδέν, (ερωτήσεις 8 και 23) και το ζήτημα του σταθερού μέτρου ταχύτητας σώματος όταν σ' αυτό δεν ενεργούν δυνάμεις (ερωτήσεις 10, 24), στο πλαίσιο της κίνησης ενός σώματος σε επίπεδο χωρίς τριβές η στο διάστημα. Η ερώτηση 10 εμπλέκει και τον β' νόμο του Νεύτωνα καθώς και την στιγμιαία ώθηση δύναμης, θέμα που ξεφεύγει από τη διδασκαλία στο γυμνάσιο. Από την έρευνα προέκυψε ότι οι σημαντικότερες παρανοήσεις που διατηρούν τα παιδιά είναι: η τελευταία δύναμη που ενεργεί στο σώμα καθορίζει την κίνηση του σώματος (8, 23), απώλεια/ανάκτηση του αρχικού *impetus* (8, 23), βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του *impetus* (8, 10) και κατανάλωση/εξάντληση του *impetus* (10, 24). Ειδικά η παρανόηση για την τελευταία δύναμη που ενεργεί στο σώμα, φάνηκε να παραμένει ανεπηρέαστη από τη διδασκαλία. Ανάλογη συμπεριφορά φαίνεται να έχει και η παρανόηση για το *impetus* με τις διάφορες παραλλαγές της.

7^ο Στοιχείο: Σύνθεση δυνάμεων

Την σύνθεση/εξουδετέρωση δυνάμεων προσπαθούν να αντιμετωπίσουν οι ερωτήσεις 17 και 25, ενώ παράλληλα εμπλέκονται και άλλα θέματα όπως η τριβή (ερώτηση 25) και η βαρύτητα (ερώτηση 17). Οι παρανοήσεις που εμφανίστηκαν στις ιδέες των παιδιών ήταν: κίνηση υπάρχει όταν η ενεργητική δύναμη υπερνικά την αντίσταση (25), η μεγαλύτερη δύναμη που ενεργεί στο σώμα καθορίζει την κίνηση του σώματος (17), και μόνο τα ενεργητικά/ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις (17). Από αυτές ιδιαίτερη αντίσταση απέναντι στη διδασκαλία έδειξαν οι παρανοήσεις για την ενεργητική δύναμη που υπερνικά την αντίσταση και για το ρόλο της μεγαλύτερης δύναμης, που πρακτικά έμειναν εντελώς ανεπηρέαστες στο χρόνο και που φάνηκε να τις πιστεύει ακράδαντα ένα στα δύο παιδιά.

Γ. Β' νόμος του Νεύτωνα

8^ο Στοιχείο: Σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση

Οι ερωτήσεις 21, 22 και 26 διαπραγματεύονται το θέμα σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση, ενώ αντιμετωπίζονται και κάποια θέματα κινηματικής, όπως σταθερή επιτάχυνση προκαλεί παραβολική τροχιά (21) σταθερή επιτάχυνση προκαλεί μεταβολή στο μέτρο της ταχύτητας (22) και σταθερή δύναμη προκαλεί μεταβαλλόμενη ταχύτητα (26). Αυτή η σύνθεση εννοιών πρέπει να αντιμετωπιστεί και από το/τη διδάσκοντα/ουσα που θα πρέπει να προκαλέσει μια ανασκόπηση των εννοιών της κινηματικής, όπως και να δείξει τη σύνδεση της έννοιας δύναμη με την έννοια επιτάχυνση. Οι παρανοήσεις που φάνηκε να διατηρούν οι μαθητές/ριες είναι: η τελευταία δύναμη που ενεργεί στο σώμα καθορίζει το αποτέλεσμα (21), ο συμβιβασμός των «δυνάμεων» καθορίζει την κίνηση (21), βαθμιαία/καθυστερημένη ενίσχυση του impetus (21, 26), απώλεια/ανάκτηση του αρχικού impetus (21), η ταχύτητα ανάλογη με την δύναμη (22, 26), η δύναμη προκαλεί επιτάχυνση μέχρι μια τελική ταχύτητα (22, 26), οι ενεργητικές δυνάμεις εξαντλούνται (22). Για τις παραπάνω παρανοήσεις, η έρευνα έδειξε σαν πιο δύσκολες στη διδακτική αντιμετώπιση τις παρανοήσεις για την τελευταία δύναμη, αυτήν που θεωρεί ότι η δύναμη επιταχύνει ένα σώμα μέχρι μια τελική ταχύτητα και την παρανόηση για την αναλογία μεταξύ ταχύτητας και δύναμης. Οι παρανοήσεις για το impetus και για τη δράση των ενεργητικών δυνάμεων φάνηκε να έχουν μικρότερη επίδραση στις ιδέες των παιδιών στη περίπτωση που στο σώμα υπάρχει ήδη μια δύναμη που ενεργεί πάνω του. Η δυσκολία που έχουν τα παιδιά με αυτά τα θέματα φαίνεται και από την εικόνα των αποτελεσμάτων, όπου τα ποσοστά της πλειοψηφίας των απαντήσεων σε όλες τις ερωτήσεις κυμαίνονται σε μια ζώνη τιμών 15-30%, χωρίς να ξεχωρίζει ιδιαίτερα ούτε η σωστή επιλογή, ούτε και κάποια παρανόηση.

Δ. Γ' νόμος του Νεύτωνα**9^ο Στοιχείο: Η δύναμη ως αλληλεπίδραση, γ' νόμος του Νεύτωνα**

Οι ερωτήσεις 4, 15, 16 και 28 διαπραγματεύονται τα θέματα των στιγμιαίων ωστικών δυνάμεων (δυνάμεις που αναπτύσσονται για μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ των σωμάτων) (ερωτήσεις 4, 28) και των δυνάμεων που δρουν συνεχώς (15 και 16). Οι παρανοήσεις που ανιχνεύονται είναι: «μεγαλύτερη μάζα σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη» (4, 15, 16, 28), «το περισσότερο ενεργό σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη» (15, 16, 28) και ότι «μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις» (15, 16, 28). Από την έρευνα φάνηκε ότι η παρανόηση για το ρόλο της μεγαλύτερης μάζας παρουσιάζεται πολύ ισχυρή, όταν όμως συνδυάζεται με τη παρανόηση για το ρόλο της ενεργότητας των σωμάτων τότε φαίνεται ότι τα παιδιά θεωρούν σαν ισχυρότερο παράγοντα την ενεργότητα του σώματος και όχι τη μάζα. Η παρανόηση ότι μόνο τα ενεργά σώματα ασκούν δυνάμεις φαίνεται να αντιμετωπίζεται σε καλύτερο βαθμό από τη διδασκαλία και

το χρόνο. Κατά συνέπεια ο/η διδάσκων/ουσα θα πρέπει να προσέξει ώστε να εντοπίσει, ποια από τις δυο παρανοήσεις, που εκφράζουν τη γενικότερη παρανόηση για την αρχή της κυριαρχίας, είναι κάθε φορά το εμπόδιο προς τη Νευτώνεια έννοια της αλληλεπίδρασης, που αποτελεί και τον κεντρικό πυρήνα μιας διδακτικής προσέγγισης στον γ' νόμο του Νεύτωνα. Σ' αυτό σημαντική βοήθεια δίνει το FCI με την αποδεδειγμένη ικανότητα που έχει για να διακρίνει λεπτές διαφορές στους συλλογισμούς των παιδιών.

Ε. Είδη δυνάμεων

10^ο Στοιχείο: Παθητικές δυνάμεις, βαρύτητα

Στις ερωτήσεις 11 και 29 διαπραγματεύονται τα ζητήματα: παθητικές δυνάμεις (δυνάμεις που αναπτύσσονται από άψυχα, μη ενεργά σώματα), βαρύτητα (11, 29) και σύνθεση δυνάμεων, εξουδετέρωση δυνάμεων (11). Οι παρανοήσεις που εμφανίζονται σχετικές με τα παραπάνω θέματα είναι: *impetus* που προσφέρεται στο σώμα από το κτύπημα (11), τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις (11, 29), η πίεση του αέρα βοηθάει τη βαρύτητα (29), μη κίνηση σημαίνει ανυπαρξία δύναμης (29). Για τις παραπάνω παρανοήσεις η έρευνα έδειξε σαν πιο σημαντικές τις: (α) «προσφορά *impetus* από κτύπημα», που φαίνεται να επηρεάζεται ελάχιστα από τη διδασκαλία και το χρόνο, (β) «τα εμπόδια δεν ασκούν δυνάμεις» (π.χ. ένα βιβλίο που ισορροπεί σε ένα τραπέζι δε δέχεται δύναμη από το τραπέζι), που φαίνεται να αντιμετωπίζεται σχετικά καλύτερα. Οι άλλες παρανοήσεις φαίνεται να μειώνουν την επίδραση τους στις ιδέες των παιδιών με το χρόνο και την επίδραση της διδασκαλίας. Κατά συνέπεια πάλι αναδεικνύεται η επίδραση του *impetus* στις ιδέες των παιδιών, και δείχνει την αναγκαιότητα της διδακτικής αντιμετώπισης που πρέπει να επιχειρηθεί τόσο σε αυτήν όσο και στην ιδέα ότι τα εμπόδια (άψυχα, ανενεργά σώματα) δεν ασκούν δυνάμεις.

11^ο Στοιχείο: Βαρυτική δύναμη

Οι ερωτήσεις 12, 13 και 14 αντιμετωπίζουν το ζήτημα της βαρυτικής δύναμης και άλλα θέματα που είναι: οριζόντια βολή, παραβολική τροχιά, σύνθεση κινήσεων (12, 14), σταθερή επιτάχυνση προκαλεί παραβολική τροχιά (12, 14), κατακόρυφη βολή προς τα πάνω (13). Οι παρανοήσεις που ανιχνεύτηκαν σ' αυτά τα ζητήματα ήταν: κατανάλωση/εξάντληση *impetus* (12, 13, 14), η βαρύτητα δρα αφού εξαντληθεί το *impetus* (12, 13, 14), η βαρύτητα αυξάνεται κατά τη πτώση των σωμάτων (13), η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν (14). Από τις απαντήσεις των παιδιών στην έρευνα προέκυψε ότι: (α) η άποψη για την κατανάλωση του *impetus* παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη σε όλες τις τάξεις, στοιχείο που δηλώνει ότι η διδασκαλία δεν την αντιμετώπισε επιτυχώς, (β) η άποψη ότι η βαρύτητα δρα μετά την εξάντληση του *impetus* δε φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών, (γ) σημαντική επίδραση φαίνεται να

έχει, όπως έχει φανεί και σε άλλες περιπτώσεις, η άποψη ότι η βαρύτητα αυξάνεται κατά την πτώση των σωμάτων, και (δ) μεγάλο ποσοστό που παραμένει σταθερά ψηλό σε όλες τις τάξεις συγκεντρώνει η άποψη ότι η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν, στοιχείο που έχει εμφανιστεί επανειλημμένα και σε άλλες ερωτήσεις.. Κατά συνέπεια η διδασκαλία θα πρέπει να αντιμετωπίσει με ιδιαίτερη προσοχή τις παρανοήσεις που είναι σχετικές με την κατανάλωση του *impetus*, την αύξηση της βαρύτητας κατά την πτώση των σωμάτων και το ρόλο της μάζας σαν αντίσταση στην κίνηση ενός σώματος.

12^ο Στοιχείο: Δυνάμεις επαφής, τριβή

Η ερώτηση 27 διαπραγματεύεται το θέμα των δυνάμεων επαφής και την άποψη ότι η τριβή αντιτίθεται στη κίνηση ενός σώματος. Οι παρανοήσεις που ανιχνεύθηκαν στην έρευνα ήταν: η μάζα κάνει τα σώματα να σταματούν, η κίνηση προϋποθέτει την ύπαρξη ενεργητικής δύναμης, το *impetus* καταναλώνεται/εξαντλείται και ότι το *impetus* αποθηκεύεται/μεταφέρεται στα σώματα. Από την έρευνα προέκυψε ότι: Η άποψη ότι η μάζα παίζει το ρόλο της αντίστασης στη κίνηση των σωμάτων έχει πολύ σημαντική επίδραση στις ιδέες των παιδιών, ενώ το ποσοστό της παραμένει υψηλό σε όλες τις τάξεις, πράγμα που δηλώνει την ιδιαίτερη αντοχή της παρανόησης απέναντι στο χρόνο και στη διδασκαλία που μεσολαβεί. Σημαντική φαίνεται επίσης να είναι και η επίδραση της άποψης ότι «κίνηση σημαίνει δύναμη». Από τις απόψεις για το ρόλο του *impetus* σημαντική επίδραση φαίνεται να έχει η ιδέα για την κατανάλωση/εξάντληση του *impetus* που διατηρεί αξιολογικά ποσοστά και στους/ις μαθητές/ριες του λυκείου.

13^ο Στοιχείο: Βαρυτική δύναμη, αντίσταση του αέρα

Στην ερώτηση 30 διαπραγματεύονται τα θέματα της βαρυτικής δύναμης και της αντίστασης του αέρα. Οι παρανοήσεις που εντοπίστηκαν είναι: το *impetus* μεταφέρεται στα σώματα μετά από ένα κτύπημα, και ότι μόνο τα ενεργητικά σώματα ασκούν δυνάμεις. Σε αυτήν την ερώτηση η παρανόηση που φαίνεται να κυριαρχεί και να ενισχύει το ποσοστό της με την επίδραση του χρόνου και της διδασκαλίας απέναντι στις άλλες παρανοήσεις αλλά και στη σωστή επιλογή, είναι αυτή που θεωρεί ότι πραγματοποιείται μεταφορά *impetus* σε ένα σώμα με τη βοήθεια ενός κτυπήματος. Το στοιχείο αυτό δηλώνει την προσοχή με την οποία θα πρέπει να προσεγγίσει η διδασκαλία αυτήν την παρανόηση, καθώς και το χρόνο που θα πρέπει να αφιερωθεί μέσα από ποικιλία διδακτικών προσεγγίσεων, για την πετυχημένη αντιμετώπισή της, όχι φυσικά στο πλαίσιο κάποιων διδακτικών ωρών, αλλά μέσα από μια συνολική αντιμετώπιση που θα έχει προοπτική και συνέπεια στο συνολικό χρόνο φοίτησης των παιδιών.

Συνολική αντιμετώπιση φαινομένων

Το FCI παρέχει κάποιες ομάδες ερωτήσεων που είναι κατάλληλες για μια συνολική αντιμετώπιση φαινομένων και απαιτούν μια σύνθετη χρήση διάφορων εννοιών της κλασσικής μηχανικής. Αυτές οι ομάδες ερωτήσεων έχουν ιδιαίτερη αξία αν επεξεργαστούν στο τέλος μιας ενότητας, η στο τέλος της διδασκαλίας κάποιου κύκλου εννοιών. Το σημαντικό με αυτές τις ομάδες ερωτήσεων είναι ότι βασίζονται στη μελέτη/προσέγγιση της εξέλιξης ενός φαινομένου στο χρόνο. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προκληθεί ουσιαστική κατανόηση των εννοιών της μηχανικής στα παιδιά, αφού θα γίνει μια συνολική αντιμετώπιση ενός φυσικού φαινομένου, και θα δοθεί η άποψη του ενιαίου τρόπου με τον οποίο η Μηχανική και γενικότερα η Φυσική αντιμετωπίζει τα φυσικά φαινόμενα. Εξάλλου, ένας τέτοιος τρόπος βοηθάει πολύ και στην αντιμετώπιση των παρανοήσεων, καθώς αυτές αντιμετωπίζονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο μελέτης που προωθεί μια ολιστική εικόνα αντιμετώπισης των φαινομένων της κλασσικής μηχανικής.

Αυτές οι ομάδες ερωτήσεων είναι οι παρακάτω:

Οι ερωτήσεις 8, 9, 10, 11 μελετούν το φαινόμενο ενός δίσκου του hockey που γλιστρά σε λεία οριζόντια επιφάνεια χωρίς τριβές (παγοδρόμιο) και σε κάποια στιγμή δέχεται ένα ελαφρύ κτύπημα. Σε αυτήν την ομάδα ερωτήσεων διαπραγματεύονται οι εξής ενότητες εννοιών: α' νόμος, β' νόμος, είδη δυνάμεων, σύνθεση δυνάμεων.

Οι ερωτήσεις 21, 22, 23, 24 μελετούν το φαινόμενο ενός πυραύλου που κινείται πλαγίως στο διάστημα χωρίς επίδραση δυνάμεων και σε κάποια θέση τίθεται σε λειτουργία η μηχανή του πυραύλου για κάποιο συγκεκριμένο διάστημα. Οι ερωτήσεις που τίθενται κατόπιν έχουν σκοπό την διαπραγμάτευση των εξής εννοιών: α' νόμος, β' νόμος, κινηματική.

Οι ερωτήσεις 25, 26 και 27 μελετούν το φαινόμενο κατά το οποίο μια γυναίκα ασκεί μια δύναμη σε ένα μεγάλο κιβώτιο το οποίο κινείται σε ένα οριζόντιο επίπεδο με τριβές. Αυτή η ομάδα των ερωτήσεων διαπραγματεύεται τις ενότητες: κινηματική, α' νόμος, β' νόμος, σύνθεση δυνάμεων, είδη δυνάμεων

Όλες οι παραπάνω ομάδες ερωτήσεων θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν στα πλαίσια επαναληπτικών μαθημάτων προς το τέλος της διδασκαλίας της ενότητας της κλασσικής μηχανικής, η κάποιων επί μέρους διδακτικών εννοιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλιμήσης, Δ. (2001) Αξιολόγηση των γνωστικών δυσκολιών του μαθήματος της Φυσικής από τους ίδιους τους μαθητές. *Παιδαγωγική επιθεώρηση*, 32/2001, 101-117
- Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπμιχάλης, Κ., Παπασιμπα, Λ. και Χατζητσομπάνης, Θ., (2007). *Φυσική γ' γυμνασίου* Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
- Arons, A., (1992). *Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής*. Αθήνα: Τροχαλία
- 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
- Bernstein, B. (1991). *Παιδαγωγικοί κώδικες και κοινωνικός έλεγχος*. Αθήνα: Αλεξάνδρεια
- Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π. και Τιμοθέου, Γ. (2007). *Φυσική Γενικής παιδείας Α' τάξης ενιαίου λυκείου*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων
- Brown, D. (1989). Student's concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, vol 24, 353-357.
- Brown, D. and Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions by analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction *Instructional Science* 18, 237-261
- Champagne, A., Klopfer, L., and 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), Jan. 1982, 66-71.
- Dykstra, D.I. (1992). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R.F. Duit, F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop, Bremen, Germany, March 4-8, 1991*, 40-58.
- Dykstra, D., Boyle, F. and Monarch, I. (1992). Studying Conceptual Change in Learning Physics. *Science Education* 76(6): 615-652
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. and Scott, P. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, Vol. 23, No. 7, 5-12
- Driver, R., Squires, A., Rushworth., Wood-Robinson, V.(2000). *Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών: Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών*. Αθήνα: τυπωθήτω Γιώργος Δαρδάνος

- Δαφέρμος, Β. (2005). *Κοινωνική Στατιστική με το SPSS*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζητή
- Jimoyiannis, A. and Komis, V. (2003). Investigating Greek Students' Ideas about Forces and Motion. *Research in Science Education* 33, 375-392
- 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. and Hestenes, D. (1987). Modelling instruction in mechanics. *American Journal of Physics* 55, 455-462
- Halloun, I. and Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Hellingman, C. (1989). Do forces have twin brothers? *Physics Education*, vol 24, 36-42.
- Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited. *Physics Education*, vol 27, 113-115
- Hestenes, D. (1986). Toward a modelling theory of physics instruction. *American Journal of Physics* 55(5), 440-454
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, Vol.30, 141-158
- Hestenes, D., (1996). Modeling methodology for physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education* (College Park, August 1996)
- Καρανίκας, Γ., Κόκκοτας, Π., Καριώτογλου, Π. (1996). Συγκριτική μελέτη των αντιλήψεων 4ετών φοιτητών του Π.Τ.Δ.Ε. και μαθητών Ε' και ΣΤ' Τάξης του Δημοτικού σχετικά με την έννοια της Άνωσης στα υγρά. *Παιδαγωγική επιθεώρηση*, 24/96, 240-259
- Κολιάδης, Ε. (2002). *Γνωστική Ψυχολογία. Γνωστική Νευροεπιστήμη και Εκπαιδευτική Πράξη*. Αθήνα: αυτοέκδοση
- Κόκκοτας, Π. (2001). *Διδακτική των φυσικών επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Κολοκοτρώνης, Δ., Σολομονίδου, Χρ. (2002). Αναπαραστάσεις παιδιών 11 – 16 ετών για την αλληλεπίδραση μεταξύ σωμάτων και για τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα. *Η διδασκαλία των ΦΕ στην κοινωνία της πληροφορίας: Πρακτικά Α' Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΛΙΦΕ*, σ. 683-687. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Kuhn, T. (1987). *Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων*. Αθήνα: Σύγχρονα Θέματα.
- Lemeignan, G., Weil-Barais, A. (1997). *Η οικοδόμηση των εννοιών στη φυσική: Η διδασκαλία της μηχανικής*. Αθήνα: τυπωθήτω, Γιώργος Δαρδανός.

- Μακράκης, Β. (2005). *Ανάλυση δεδομένων στην Επιστημονική Έρευνα με τη χρήση του SPSS από τη θεωρία στην πράξη*. Αθήνα: Gutenberg
- Maloney, D. (1984). Rule-governed approaches to physics-Newton's third law *Physics Education*, vol 19, 37-42.
- McClelland, J.A.G. (1984). Alternative frameworks: interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, Vol. 6, 1-6
- McDermott, L. (1991). Students' conceptions and problem solving in mechanics. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C1.html>
- Nussbaum, J. and Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., Gertzog, W. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education* 66(2), 211-227
- Ρούσσοι, Π., Τσαούσης, Γ. (2002). *Στατιστική εφαρμοσμένη στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Ελληνικά γράμματα
- Rumelhart, D.E., Norman, D. (1998). Representation in memory. In Atkinson, R.C. et al. (eds). *Stevens handbook of experimental psychology*: Vol. 2 Learning and cognition. (2nd ed.) N. York: Wiley, 511-587
- Savinainen, A. and Scott, P. (2002). The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. *Physics Education*, 37(1), 45-52
- Savinainen, A. and Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37(1), 53-58
- Savinainen, A., Scott, P. and Jouni, V. (2004). Using a Bridging Representation and Social Interactions to Foster Conceptual Change: Designing and Evaluating an Instructional Sequence for Newton's Third Law. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: www.interscience.wiley.com
- Σολομωνίδου, Χ. (2000). Η Νευτώνεια μηχανική, λογισμικό για διδακτική αντιμετώπιση. *Επιθεώρηση Φυσικής*, Έκδοση της ένωσης Ελλήνων Φυσικών, περίοδος γ', τόμος Η', τεύχος 31, 29-42
- Σταυρίδου, Ε. (1995). *Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης*. Αθήνα: Σαββάλας
- Scott, P., Asoco, H., Driver, R. (1991). Teaching for conceptual change: A review of strategies. Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. *Proceedings of an International Workshop*. R. Duit, F. Goldberg, H. Niederer (Editors). Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C5.html>
- Terry, C., & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 291-298

- Trowbridge, D. and McDermott, L. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics* 48(12), 1020-1028
- Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (1999). *Προδιαγραφές Εκπαιδευτικών Βοηθητικών Μέσων Τόμοι I, II, III*. Αθήνα: Γραφείο Προτυποποίησης Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics, *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., Papademetriou, E., (2001). Designing Learning Environments to Promote Conceptual Change in Science. *Learning and Instruction*, vol. 11, August 2001, 381-419
- Vosniadou, S., Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view, *International Journal of Science Education*, vol. 20, No. 10, 1213-1230
- Vosniadou, S., Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585
- Warren, J., (1984). *Understanding Force.*, London: J. Murray
- Watts, M., (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force, *European Journal of Science Education* vol.5,2,217-230

Δικτυακοί τόποι που χρησιμοποιήθηκαν

<http://www.project2061.org>

<http://www.nc.uk.net>

<http://www.pi-schools.gr/programs/depps/>

<http://modeling.asu.edu>

Αντλήθηκε η ανανεωμένη έκδοση του Force Concept Inventory (1995) από τους Halloun, I., Hake, R. and Mosca, E.

Αντλήθηκαν επίσης και τα ευρήματα από την εφαρμογή του FCI στις ΗΠΑ, Findings of the Modeling Workshop Project (1994-00)

www.physics.ohio-state.edu

Αντλήθηκαν τα άρθρα της McDermott

www.interscience.wiley.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

FORCE CONCEPT INVENTORY

(Το βασικό εργαλείο της έρευνας)

Ερωτηματολόγιο κατανόησης βασικών εννοιών της κλασσικής μηχανικής.

Παράκληση:

Μη γράφετε τίποτα πάνω σ' αυτό το ερωτηματολόγιο.

Σημειώστε τις απαντήσεις σας στο **χωριστό φύλο** απαντήσεων που θα σας δοθεί.

Επιλέξτε **μόνον μια** απάντηση για κάθε ερώτηση.

Μην αφήσετε ερώτηση χωρίς να απαντήσετε.

Αποφύγετε να μαντέψετε. Οι απαντήσεις σας θα πρέπει να δείχνουν το **δικό σας** προσωπικό τρόπο σκέψης.

Προγραμματίστε να ολοκληρώσετε τις απαντήσεις σε 30 λεπτά.

Μη ξεχάσετε να συμπληρώσετε τα στοιχεία σας στο φύλο των απαντήσεων.

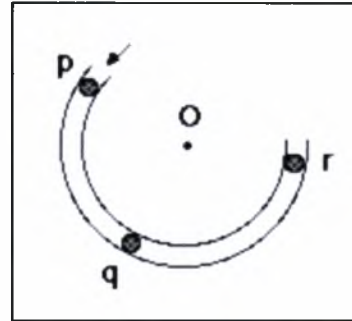
Η επίδοση που θα έχετε σ' αυτό το ερωτηματολόγιο δε θα έχει καμιά επίπτωση στην αξιολόγησή σας στο μάθημα της φυσικής

Ευχαριστούμε πολύ για τη συνεργασία σας.

1. Δυο μεταλλικές μπάλες έχουν το ίδιο σχήμα και μέγεθος αλλά η μια έχει διπλάσιο βάρος απ' ότι η άλλη. Οι μπάλες αφήνονται να πέσουν από την στέγη ενός κτιρίου την ίδια χρονική στιγμή. Ο χρόνος που χρειάζεται να φτάσουν οι μπάλες στο έδαφος θα είναι:
(A) περίπου ο μισός για την βαρύτερη μπάλα απ' ότι για την ελαφρύτερη,
(B) περίπου ο μισός για την ελαφρύτερη μπάλα απ' ότι για την βαρύτερη,
(C) περίπου ο ίδιος και για τις δυο μπάλες,
(D) αξιοσημείωτα μικρότερος για την βαρύτερη μπάλα, αλλά όχι απαραίτητα ο μισός,
(E) αξιοσημείωτα μικρότερος για την ελαφρύτερη μπάλα, αλλά όχι απαραίτητα ο μισός.
2. Οι δυο μεταλλικές μπάλες του προηγούμενου προβλήματος κυλούν σε οριζόντιο τραπέζι με την ίδια ταχύτητα. Σ' αυτήν την κατάσταση:
(A) και οι δυο μπάλες χτυπάν το έδαφος περίπου στην ίδια οριζόντια απόσταση από τη βάση του τραπεζιού,
(B) η βαρύτερη μπάλα χτυπά το έδαφος περίπου στη μισή οριζόντια απόσταση από τη βάση του τραπεζιού, απ' ότι η ελαφρύτερη μπάλα,
(C) η ελαφρύτερη μπάλα χτυπά το έδαφος περίπου στη μισή οριζόντια απόσταση από τη βάση του τραπεζιού, απ' ότι η βαρύτερη μπάλα,
(D) η βαρύτερη μπάλα χτυπά το έδαφος αξιοσημείωτα πλησιέστερα στη βάση του τραπεζιού απ' ότι η ελαφρύτερη, αλλά όχι απαραίτητα στη μισή οριζόντια απόσταση,
(E) η ελαφρύτερη μπάλα χτυπά το έδαφος αξιοσημείωτα πλησιέστερα στη βάση του τραπεζιού απ' ότι η βαρύτερη, αλλά όχι απαραίτητα στη μισή οριζόντια απόσταση.
3. Μια πέτρα που αφήνεται από τη στέγη ενός κτιρίου προς την επιφάνεια της γης:
(A) φτάνει σε μια μέγιστη ταχύτητα, μετά από κάποιο χρόνο από τη στιγμή που αφήνεται να πέσει και μετά πέφτει με σταθερή ταχύτητα,
(B) η ταχύτητα της αυξάνεται καθώς πέφτει, εξαιτίας την βαρυτικής έλξης που γίνεται αξιοσημείωτα ισχυρότερη καθώς η πέτρα πλησιάζει προς τη γη,
(C) η ταχύτητα της αυξάνεται συνεχώς εξαιτίας της πρακτικά, σταθερής δύναμης της βαρύτητας που ενεργεί επάνω της,
(D) πέφτει εξαιτίας της φυσικής τάσης όλων των αντικειμένων να ηρεμούν στην επιφάνεια της γης,
(E) πέφτει εξαιτίας του συνδυασμού των αποτελεσμάτων της βαρυτικής δύναμης που σπρώχνει προς τα κάτω και της δύναμης του αέρα που σπρώχνει προς τα πάνω.
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.

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΣΤΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΑΝΤΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΥΟ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ένας χωρίς τριβές σωλήνας που έχει το σχήμα τμήματος από έναν κύκλο με το κέντρο του στο «Ο». Ο σωλήνας είναι στερεωμένος πάνω σε ένα οριζόντιο τραπέζι. Το τραπέζι το βλέπουμε από πάνω προς τα κάτω. Οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα θεωρούνται αμελητέες. Μια μικρή μπάλα εκσφενδονίζεται με μεγάλη ταχύτητα μέσα στο σωλήνα στο σημείο «p» και εξέρχεται στο σημείο «r».



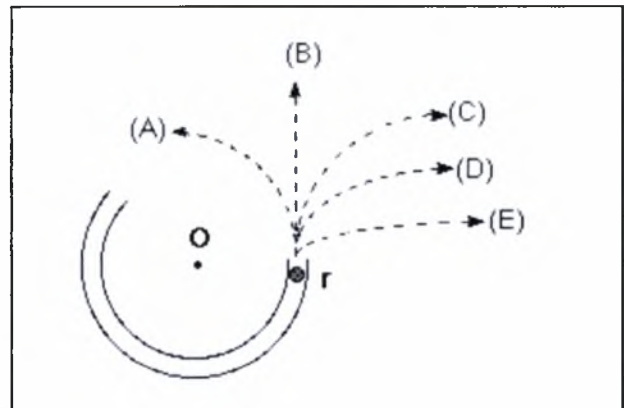
5. Υποθέστε την ύπαρξη των παρακάτω δυνάμεων:

1. Μια προς τα κάτω δύναμη βάρους.
2. Μια δύναμη που ασκείται από το σωλήνα με κατεύθυνση από το q στο O.
3. Μια δύναμη κατά τη κατεύθυνση της κίνησης.
4. Μια δύναμη με κατεύθυνση από το O στο q.

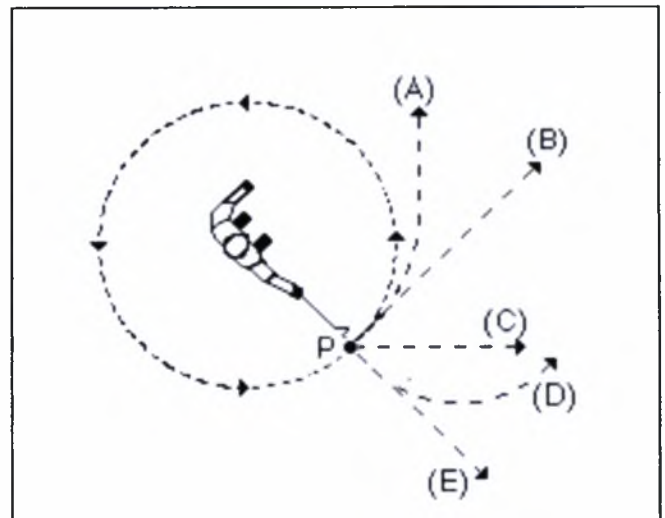
Ποια (ποιες) από τις παραπάνω δυνάμεις δρα (δρουν) πάνω στη μπάλα όταν βρίσκεται μέσα στον χωρίς τριβές σωλήνα στο σημείο «q»;

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

6. Ποια από τις διαδρομές του διπλανού σχήματος είναι περισσότερο πιθανό να ακολουθήσει η μπάλα, αμέσως μόλις βγει από τη σωλήνα στο σημείο «r» και αρχίζει να κινείται πάνω στο χωρίς τριβές τραπέζι;

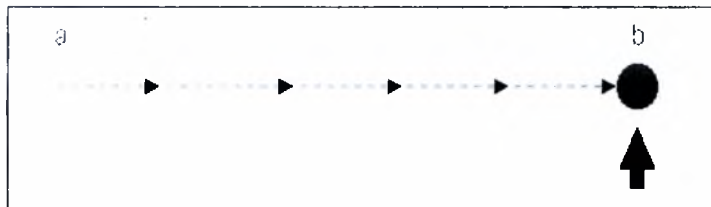


7. Μια ατσαλένια σφαίρα στερεώνεται στην άκρη ανθεκτικού λεπτού σκοινιού και περιστρέφεται σε κυκλική διαδρομή που βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο όπως φαίνεται στο σχήμα. Στο σημείο P, που σημειώνεται στο σχήμα, το σκοινί ξαφνικά σπάει κοντά στη σφαίρα. Αν αυτά τα γεγονότα παρατηρούνται ακριβώς από πάνω όπως στο σχήμα, ποια διαδρομή είναι περισσότερο πιθανό να ακολουθήσει η σφαίρα αμέσως μετά το σπάσιμο του σκοινιού.

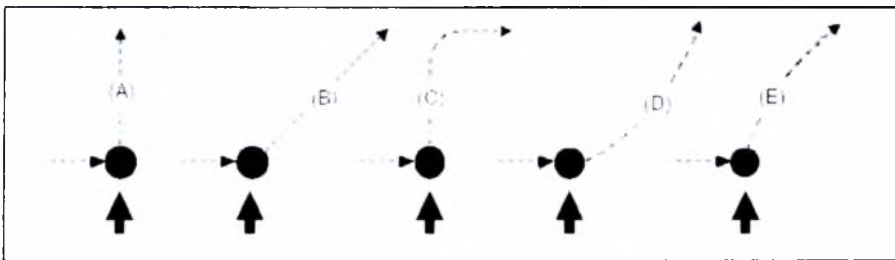


ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΣΤΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΑΝΤΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ (8 έως 11)

Το σχήμα αναπαριστά ένα δίσκο του hockey που γλιστρά με σταθερή ταχύτητα v_0 σε ευθεία γραμμή από το σημείο "a" στο σημείο "b" πάνω σε λεία οριζόντια επιφάνεια χωρίς τριβές. Οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα είναι αμελητέες. Βλέπετε το δίσκο από πάνω προς τα κάτω. Όταν ο δίσκος φτάνει στο σημείο "b", δέχεται ένα ελαφρύ οριζόντιο χτύπημα κατά τη κατεύθυνση του έντονα τυπωμένου βέλους. Αν ο δίσκος ήταν ακίνητος στο σημείο "b", τότε το χτύπημα θα είχε θέσει το δίσκο σε οριζόντια κίνηση με ταχύτητα v_k κατά την κατεύθυνση του χτυπήματος.



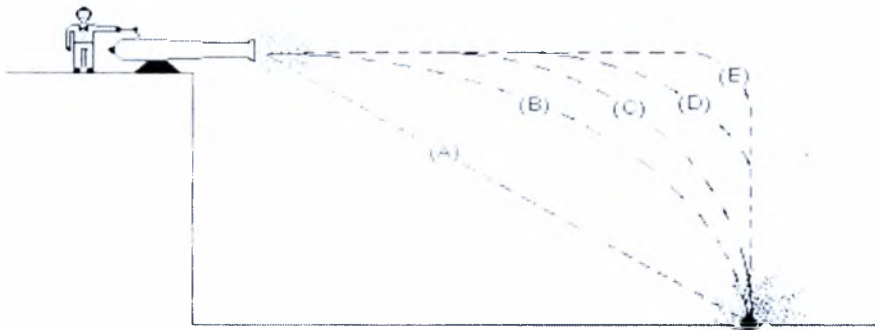
8. Ποιες από τις παρακάτω τροχιές είναι πιθανότερο να ακολουθήσει ο δίσκος αφού δεχτεί το χτύπημα;



9. Η ταχύτητα του δίσκου αμέσως μόλις μετά το χτύπημα που θα δεχτεί είναι:
- (A) ίση με τη ταχύτητα " v_0 " που είχε πριν δεχτεί το χτύπημα.
 (B) ίση με τη ταχύτητα " v_k " που οφείλεται στο χτύπημα και είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα " v_0 ".
 (C) ίση με το αριθμητικό άθροισμα των ταχυτήτων " v_0 " και " v_k ".
 (D) μικρότερη και από τις δυο ταχύτητες " v_0 " ή " v_k ".
 (E) μεγαλύτερη και από τις δυο ταχύτητες " v_0 " ή " v_k ", αλλά μικρότερη από το αριθμητικό άθροισμα αυτών των δυο ταχυτήτων.
10. Κατά μήκος της χωρίς τριβές τροχιά που επιλέξατε στην ερώτηση 8, η ταχύτητα του δίσκου μετά το χτύπημα:
- (A) είναι σταθερή.
 (B) συνεχώς αυξάνεται.
 (C) συνεχώς μειώνεται.
 (D) αυξάνεται για ένα διάστημα και μετά μειώνεται.
 (E) είναι σταθερή για ένα διάστημα και μειώνεται κατόπιν.
11. Κατά μήκος της χωρίς τριβές τροχιάς που επιλέξατε στην ερώτηση 8, η (οι) δύναμη (δυνάμεις) που ενεργούν στο δίσκο μετά το χτύπημα που δέχεται είναι:
- (A) μια δύναμη με φορά προς τα κάτω που οφείλεται στη βαρύτητα.

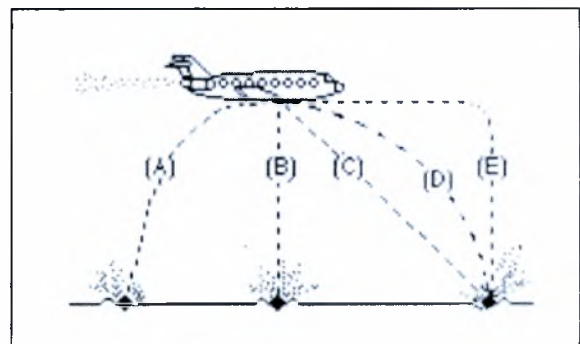
- (B) μια προς τα κάτω δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα και μια οριζόντια δύναμη κατά τη κατεύθυνση της κίνησης.
 (C) μια προς τα κάτω δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα, μια προς τα πάνω δύναμη που ασκείται από την λεία επιφάνεια και μια οριζόντια δύναμη κατά τη κατεύθυνση της κίνησης.
 (D) μια προς τα κάτω δύναμη της βαρύτητας και μια προς τα πάνω δύναμη που ασκείται από την επιφάνεια.
 (E) καμιά. (Δεν ασκούνται δυνάμεις πάνω στο δίσκο.)

12. Μια οβίδα εκτοξεύεται από ένα κανόνι που βρίσκεται στην κορυφή ενός λόφου, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Ποια από τις διαδρομές που σημειώνονται είναι πιθανότερο να ακολουθήσει η οβίδα;



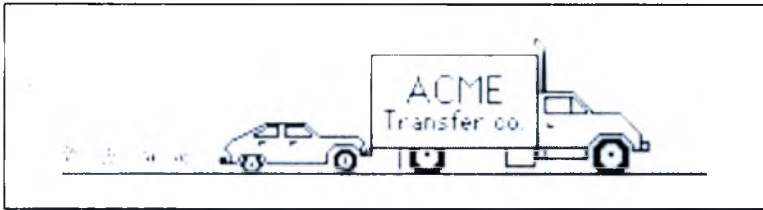
13. Ένα αγόρι πετάει μια ατσαλένια μπάλα προς τα πάνω. Θεωρείστε την κίνηση της μπάλας μόνο μετά τη στιγμή που αυτή φεύγει από τα χέρια του αγοριού, αλλά προτού ακουμπήσει το έδαφος, και υποθέστε ότι οι δυνάμεις που εξασκούνται από τον αέρα είναι αμελητέες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η δύναμη(οι δυνάμεις) 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 επιστρέφει στο έδαφος εξαιτίας της φυσικής τάσης των σωμάτων να ηρεμούν στην επιφάνεια της γης.

14. Μια μπάλα του μπόουλινγκ πέφτει κατά λάθος από τον χώρο αποσκευών ενός αεροπλάνου καθώς αυτό πετάει κατά μήκος οριζόντιας διεύθυνσης. Αν κάποιος παρατηρητής στεκόταν στο έδαφος και παρατηρούσε το αεροπλάνο, όπως φαίνεται στο σχήμα, ποια από τις σημειωμένες διαδρομές ήταν πιθανότερο να ακολουθούσε η μπάλα του μπόουλινγκ αφού θα έπεφτε από το αεροπλάνο;



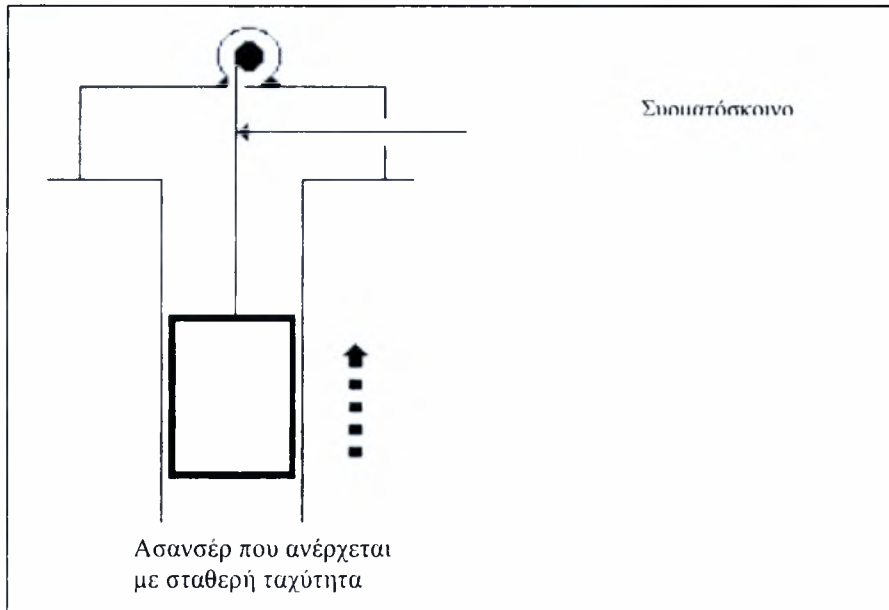
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΣΤΕ ΤΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΑΝΤΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΔΥΟ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ (15 και 16)

Ένα μεγάλο φορτηγό χαλάει στη μέση του δρόμου και δέχεται ένα σπρώξιμο από πίσω από ένα μικρό επιβατικό αυτοκίνητο, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω, ώστε να φτάσει στη πλησιέστερη πόλη.

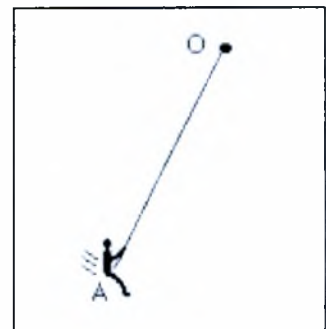


15. Καθώς το αυτοκίνητο, ενώ σπρώχνει το φορτηγό, επιταχύνει ώστε να φτάσει τη ταχύτητα ταξιδιού:
- A. η ποσότητα της δύναμης με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό είναι ίση με αυτή με την οποία το φορτηγό σπρώχνει προς τα πίσω το αυτοκίνητο.
 - B. Η ποσότητα της δύναμης με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό είναι μικρότερη από αυτή με την οποία το φορτηγό σπρώχνει προς τα πίσω το αυτοκίνητο.
 - C. Η ποσότητα της δύναμης με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό είναι μεγαλύτερη από αυτή με την οποία το φορτηγό σπρώχνει προς τα πίσω το αυτοκίνητο.
 - D. Η μηχανή του αυτοκινήτου λειτουργεί, έτσι το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό, αλλά η μηχανή του φορτηγού δεν λειτουργεί, έτσι το φορτηγό δε μπορεί να σπρώξει προς τα πίσω το αυτοκίνητο.
 - E. Ούτε το αυτοκίνητο, ούτε το φορτηγό εξασκούν κάποια δύναμη το ένα στο άλλο. Το φορτηγό σπρώχνεται προς τα μπροστά απλά επειδή βρίσκεται στη πορεία του αυτοκινήτου.
16. Αφού το αυτοκίνητο αποκτήσει τη σταθερή ταχύτητα με την οποία ο οδηγός επιθυμεί να σπρώχνει το φορτηγό:
- A. η δύναμη με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό προς τα μπροστά είναι ίση με η δύναμη με την οποία το φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο προς τα πίσω.
 - B. η δύναμη με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό προς τα μπροστά είναι μικρότερη από τη δύναμη με την οποία το φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο προς τα πίσω.
 - C. η δύναμη με την οποία το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό προς τα μπροστά είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη με την οποία το φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο προς τα πίσω.
 - D. Η μηχανή του αυτοκινήτου λειτουργεί, έτσι το αυτοκίνητο σπρώχνει το φορτηγό, αλλά η μηχανή του φορτηγού δεν λειτουργεί, έτσι το φορτηγό δε μπορεί να σπρώξει προς τα πίσω το αυτοκίνητο.
 - E. Ούτε το αυτοκίνητο, ούτε το φορτηγό εξασκούν κάποια δύναμη το ένα στο άλλο. Το φορτηγό σπρώχνεται προς τα μπροστά απλά επειδή βρίσκεται στη πορεία του αυτοκινήτου.

17. Ένα ασανσέρ ανυψώνεται με σταθερή ταχύτητα με τη βοήθεια συρματόσκοινου όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Οι τριβές θεωρούνται αμελητέες. Σε αυτή την κατάσταση, οι δυνάμεις που ενεργούν στο ασανσέρ έχουν ως εξής:



- A. η προς τα πάνω δύναμη που ασκεί το συρματόσκοινο είναι μεγαλύτερη από την προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
 B. η προς τα πάνω δύναμη που ασκεί το συρματόσκοινο είναι ίση με την προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
 C. η προς τα πάνω δύναμη που ασκεί το συρματόσκοινο είναι μικρότερη από την προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
 D. η προς τα πάνω δύναμη που ασκεί το συρματόσκοινο είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της προς τα κάτω δύναμης του βάρους και μιας προς τα κάτω δύναμης που οφείλεται στον αέρα.
 E. τίποτα από τα παραπάνω. (Το ασανσέρ ανεβαίνει προς τα πάνω επειδή μειώνεται το μήκος του συρματόσκοινου, όχι επειδή μια προς τα πάνω δύναμη ασκείται στο ασανσέρ από το συρματόσκοινο).
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.

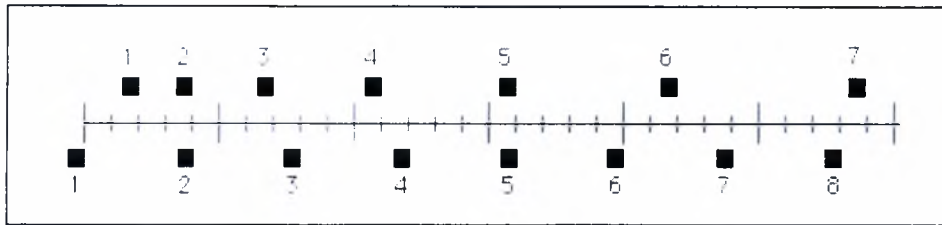


Ποιες από τις παραπάνω δυνάμεις ενεργεί (ενεργούν) στο παιδί όταν βρίσκεται στο σημείο Α;

- 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.

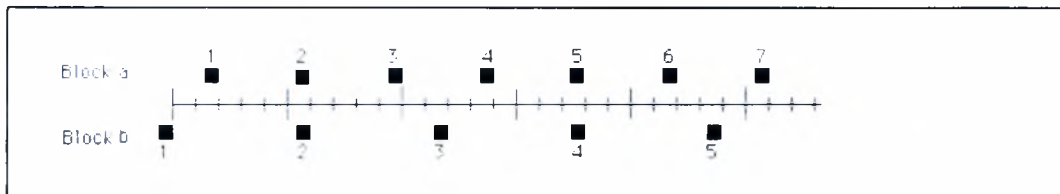
19. Οι θέσεις δυο κυβικών σωμάτων σε μια διαδοχική ακολουθία χρονικών διαστημάτων των 0.20 sec παριστάνεται από τα αριθμημένα τετράγωνα στο σχήμα παρακάτω. Οι κύβοι κινούνται προς τα δεξιά.



Υπάρχει στιγμή κατά την οποία οι κύβοι έχουν την ίδια ταχύτητα;

- A. Όχι
- B. Ναι, τη στιγμή 2.
- C. Ναι, τη στιγμή 5.
- D. Ναι, τις στιγμές 2 και 5.
- E. Ναι, κάποια στιγμή που βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 3 και 4.

20. Οι θέσεις δυο κυβικών σωμάτων σε μια διαδοχική ακολουθία χρονικών διαστημάτων των 0.20 sec παριστάνεται από τα αριθμημένα τετράγωνα στο σχήμα παρακάτω. Οι κύβοι κινούνται προς τα δεξιά.

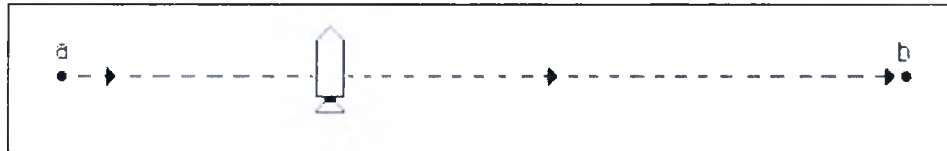


Οι επιταχύνσεις των κύβων σχετίζονται όπως παρακάτω:

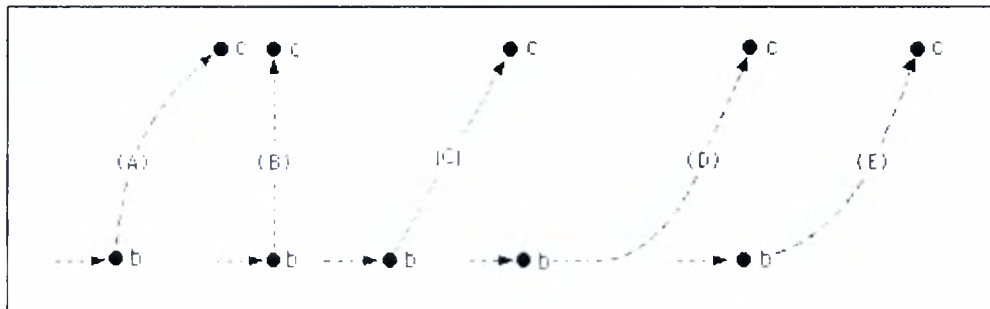
- A. Η επιτάχυνση του (a) είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του (b).
- B. Η επιτάχυνση του (a) είναι ίση με την επιτάχυνση του (b). Και οι δυο επιταχύνσεις είναι μεγαλύτερες του μηδενός.
- C. Η επιτάχυνση του (b) είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του (a).
- D. Η επιτάχυνση του (a) είναι ίση με την επιτάχυνση του (b). Και οι δυο επιταχύνσεις είναι ίσες με το μηδέν.
- E. Δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για να απαντηθεί η ερώτηση.

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΣΤΕ ΤΙΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΑΝΤΗΣΕΤΕ ΤΙΣ ΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ (21 έως 24)

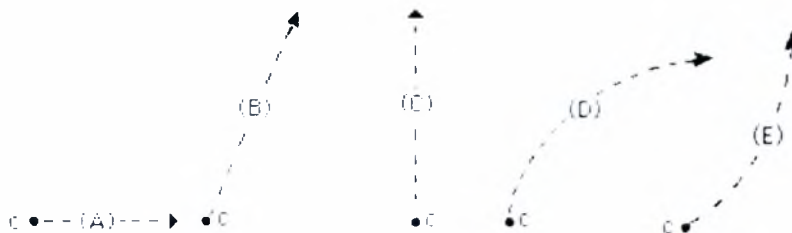
Ένας πύραυλος κινείται πλαγίως σε απομακρυσμένη περιοχή του διαστήματος από το σημείο "a" στο σημείο "b" όπως φαίνεται παρακάτω. Στον πύραυλο δεν ασκείται καμιά εξωτερική δύναμη. Στο σημείο "b" η μηχανή του πυραύλου τίθεται σε λειτουργία και παράγει μια σταθερή ώθηση (δύναμη πάνω στον πύραυλο) που είναι κάθετη στην ευθεία "ab". Η σταθερή ώθηση διατηρείται έως ότου ο πύραυλος φτάσει σ' ένα σημείο "c" του διαστήματος.



21. Ποια από τις παρακάτω διαδρομές αναπαριστά καλύτερα τη διαδρομή του πυραύλου μεταξύ των σημείων "b" και "c";



22. Καθώς ο πύραυλος κινείται από τη θέση "b" στη θέση "c" η ταχύτητά του είναι:
- Σταθερή.
 - Αυξανόμενη συνεχώς.
 - Μειούμενη συνεχώς.
 - Αυξανόμενη για κάποιο διάστημα και κατόπιν σταθερή.
 - Σταθερή για κάποιο διάστημα και μειούμενη στη συνέχεια.
- 23 Στο σημείο "c" η μηχανή του πυραύλου σταματάει να λειτουργεί και η ώθηση μηδενίζεται ακαριαία. Ποια από τις παρακάτω διαδρομές θα ακολουθήσει ο πύραυλος μετά το σημείο "c";



24. Μετά το σημείο “c” η ταχύτητα του πυραύλου είναι:
- A. Σταθερή.
 - B. Αυξανόμενη συνεχώς.
 - C. Μειούμενη συνεχώς.
 - D. Αυξανόμενη για κάποιο διάστημα και κατόπιν σταθερή.
 - E. Σταθερή για κάποιο διάστημα και μειούμενη στη συνέχεια.
25. Μια γυναίκα ασκεί μια σταθερή οριζόντια δύναμη πάνω σε ένα μεγάλο κιβώτιο. Σαν αποτέλεσμα, το κιβώτιο κινείται κατά μήκος ενός οριζοντίου διαπέδου με σταθερή ταχύτητα “ v_0 ”.
- 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.
26. Εάν η γυναίκα του προηγούμενου ερωτήματος διπλασιάσει τη σταθερή δύναμη που ασκεί στο κιβώτιο για να το σπρώξει στην ίδια οριζόντια επιφάνεια, τότε το κιβώτιο κινείται:
- A. με σταθερή ταχύτητα που είναι διπλάσια από τη ταχύτητα “ v_0 ” της προηγούμενης ερώτησης.
 - B. με σταθερή ταχύτητα που είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα “ v_0 ” της προηγούμενης ερώτησης, αλλά όχι απαραίτητα και διπλάσια στο μέγεθος.
 - C. για κάποιο διάστημα με ταχύτητα που είναι σταθερή και μεγαλύτερη από τη ταχύτητα “ v_0 ” της προηγούμενης ερώτησης, και μετά με μια ταχύτητα που αυξάνεται.
 - D. για κάποιο διάστημα με αυξανόμενη ταχύτητα και μετά με σταθερή ταχύτητα.
 - E. με μια συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα.
27. Εάν η γυναίκα στην ερώτηση 25 ξαφνικά σταματήσει να ασκεί να εφαρμόζει μια σταθερή οριζόντια δύναμη στο κιβώτιο, τότε το κιβώτιο :
- A. θα σταματήσει αμέσως.
 - B. θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα για κάποιο διάστημα και μετά σιγά-σιγά θα σταματήσει.
 - C. αμέσως θα αρχίσει να μειώνει τη ταχύτητα του μέχρι να σταματήσει.
 - D. θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα
 - E. θα αυξήσει τη ταχύτητα του για κάποιο χρονικό διάστημα και κατόπιν θα αρχίσει βαθμιαία να τη μειώνει μέχρι να σταματήσει.

28. Στο σχήμα δεξιά ο μαθητής “a” έχει μάζα 95 Kg και ο μαθητής “b” έχει μάζα 77 Kg. Και οι δυο κάθονται σε δυο ακριβώς όμοιες καρέκλες γραφείου ο ένας απέναντι στον άλλον.

Ο μαθητής “a” ακουμπάει τα γυμνά του πόδια πάνω στα γόνατα του μαθητή “b”, όπως φαίνεται. Κατόπιν ο μαθητής “a” σπρώχνει απότομα προς τα έξω με τα πόδια του, προκαλώντας έτσι την κίνηση και των δυο καρεκλών.



Κατά τη διάρκεια του σπρωξίματος και ενώ οι μαθητές/ριες ακουμπούν ακόμα ο ένας πάνω στον άλλον:

- Κανείς δεν ασκεί δύναμη στον άλλον.
 - Ο μαθητής “a” ασκεί δύναμη στο μαθητή “b”, αλλά ο “b” δεν ασκεί δύναμη στον “a”.
 - Κάθε μαθητής ασκεί δύναμη στον άλλον, αλλά ο “b” ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη
 - Κάθε μαθητής ασκεί δύναμη στον άλλον, αλλά ο “a” ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη
 - Κάθε μαθητής ασκεί δύναμη του ίδιου μεγέθους στον άλλον.
29. Μια άδεια καρέκλα γραφείου βρίσκεται σε ηρεμία στο πάτωμα μιας αίθουσας. Θεωρείστε την ύπαρξη των παρακάτω δυνάμεων:
- Μια προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
 - Μια προς τα πάνω δύναμη που ασκείται από το πάτωμα.
 - Μια συνολική δύναμη που ασκείται από τον αέρα.
- Ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις ενεργεί/ενεργούν πάνω στη καρέκλα γραφείου;
- Μόνον η 1.
 - Οι 1 και 2.
 - Οι 2 και 3.
 - Οι 1, 2, και 3.
 - Καμιά από τις δυνάμεις. (Από τη στιγμή που η καρέκλα ισορροπεί, δεν υπάρχουν δυνάμεις που να ασκούνται πάνω της.)
30. Παρά το ότι φυσάει ένας πολύ ισχυρός άνεμος, μια παίκτρια του τένις καταφέρνει να χτυπήσει το μπαλάκι του τένις με τη ρακέτα της, έτσι ώστε το μπαλάκι να περάσει πάνω από το δίχτυ και να προσγειωθεί στη περιοχή της αντιπάλου. Θεωρείστε την ύπαρξη των παρακάτω δυνάμεων:
- Μια προς τα κάτω δύναμη του βάρους.
 - Μια δύναμη από το «χτύπημα».
 - Μια δύναμη που ασκείται από τον αέρα.
- Ποια(ποιες) από τις παραπάνω δυνάμεις ενεργεί/ενεργούν στο μπαλάκι του τένις αφού φύγει από τη ρακέτα της παίκτριας και προτού ακουμπήσει στο έδαφος;
- Μόνον η 1.
 - Οι 1 και 2.
 - Οι 1 και 3.
 - Οι 2 και 3.
 - Οι 1, 2, και 3.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Kruskal-Wallis Test για τη σύγκριση επίδοσης μεταξύ τάξεων με βάση την επίδοση στο FCI ως εξαρτημένη μεταβλητή
Ranks

	taxi foitisis	N	Mean Rank
Bathmos sto FCI	b gym	98	186,04
	g gym	158	221,57
	a lyk	188	333,84
	b lyk	79	266,13
	Total	523	

Test Statistics(b,c)

			bathmos sto FCI
Chi-Square			79,568
Df			3
Asymp. Sig.			,000
Monte Carlo Sig.	Sig.		,000(a)
	99% Confidence Interval	Lower Bound	,000
		Upper Bound	,000

a Based on 10000 sampled tables with starting seed 2000000.

b Kruskal Wallis Test

c Grouping Variable: taxi foitisis

Το κριτήριο δείχνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά, τουλάχιστον μεταξύ δυο ομάδων, στο θέμα της επίδοσης στο FCI.

T-test για φύλο ανά τάξη

T-Test για φύλο, β΄ γυμνασίου

Group Statistics

	fylo mathiti	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	agori	44	6,0000	2,05732	,31015
	koritsi	53	4,9623	1,99964	,27467

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	,024	,876	2,512	95	,014	1,03774	,41319	,21745	1,85802
	Equal variances not assumed			2,505	90,743	,014	1,03774	,41429	,21476	1,86071

T-Test για φύλο, γ΄ γυμνασίου

Group Statistics

	fylo mathiti	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	agori	71	6,6761	2,51154	,29807
	koritsi	87	5,5057	2,28175	,24463

Διερεύνηση της κατανομής εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου.
Με τη συμβολή του F.C.I.

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	,424	,516	3,065	156	,003	1,17031	,38186	,41603	1,92459
	Equal variances not assumed			3,035	143,184	,003	1,17031	,38560	,40811	1,93251

T-Test για φύλο, α' λυκείου

Group Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
fyllo mathiti				
bathmos sto FCI	79	9,7595	3,75266	,42221
	109	7,8073	3,44393	,32987

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	,050	,823	3,694	186	,000	1,95215	,52848	,90957	2,99474
	Equal variances not assumed			3,643	159,395	,000	1,95215	,53579	,89399	3,01032

Διερεύνηση της κατανομής εννοιών της Μηχανικής από μαθητές μιας Γυμνασίου και Λυκείου.
Με τη συμβολή του F.C.I.

T-Test για φύλο β' Λυκείου

Group Statistics

	fylo mathiti	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	agori	33	7,9091	3,88397	,67611
	koritsi	46	6,6739	3,14151	,46319

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	1,366	,246	1,561	77	,123	1,23518	,79147	-,34084	2,81119
	Equal variances not assumed			1,507	59,730	,137	1,23518	,81956	-,40433	2,87469

T-Test για περιοχή σχολείου ανά τάξη

T-Test για περιοχή σχολείου, β΄ γυμνασίου
Group Statistics

	perioxi sxoleiou foitisis	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	astiki	38	5,4474	2,28624	,37088
	agrotiki, imiastiki	60	5,4333	1,94297	,25084

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	1,353	,248	,033	96	,974	,01404	,43164	-,84277	,87084
	Equal variances not assumed			,031	69,475	,975	,01404	,44774	-,87907	,90714

T-Test για περιοχή, γ΄ γυμνασίου
Group Statistics

	perioxi sxoleiou foitisis	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	astiki	105	6,3238	2,51723	,24566
	agrotiki, imiastiki	53	5,4528	2,22370	,30545

Independent Samples Test

Διαρεύνηση της κατανομής εννοιών της Μηχανικής από μαθητές/ριες Γυμνασίου και Λυκείου.
Με τη συμβολή του F.C.I.

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	1,092	,298	2,133	156	,034	,87098	,40833	,06441	1,67755
	Equal variances not assumed			2,222	116,627	,028	,87098	,39198	,09466	1,64730

T-Test περιοχή σχολείου, α' Λυκείου
Group Statistics

	perioxi sxoleiou foitisis	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	astiki	8,9214	3,71477	,31396
	agrotiki, imiastiki	7,7708	3,53848	,51074

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	,019	,891	1,874	186	,063	1,15060	,61402	-,06074	2,36193
	Equal variances not assumed			1,919	85,121	,058	1,15060	,59952	-,04138	2,34257

T-Test για περιοχή σχολείου, β' Λυκείου
Group Statistics

	perioxi sxoleiou foitisis	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
bathmos sto FCI	astiki	47	8,4468	3,72890	,54392
	agrotiki, imiastiki	32	5,3438	2,07301	,36646

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference			
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
bathmos sto FCI	Equal variances assumed	11,082	,001	4,274	77	,000	3,10306	,72609	1,65724	4,54888
	Equal variances not assumed			4,731	74,470	,000	3,10306	,65585	1,79639	4,40973



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091459

