



Ερευνητική Προσέγγιση Μαθητικών
Ιδεών σε Έννοιες της Νευτώνειας
Μηχανικής μετά από Τυπική
Διδασκαλία

Γεώργιος Κ. Καράογλου

ΔΡΑΜΑ 2022

ISBN: 978-618-5468-04-0



**Ερευνητική Προσέγγιση Μαθητικών Ιδεών σε Έννοιες της Νευτώνειας Μηχανικής
μετά από Τυπική Διδασκαλία**

ISBN: 978-618-5468-04-0

Έκδοση

©εκπ@ιδευτικός κύκλος

Συγγραφέας

Γεώργιος Κ. Καράογλου



**Ερευνητική Προσέγγιση των Μαθητικών
Ιδεών σε Έννοιες της Νευτώνειας
Μηχανικής
μετά από Τυπική Διδασκαλία**

Γεώργιος Κ. Καράογλου

ΔΡΑΜΑ 2022

ISBN: 978-618-5468-04-0

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	9
1.1 Η ιστορική προσέγγιση της κινηματικής και της δυναμικής.....	9
1.1.1 Αριστοτελική Θεωρία.....	9
1.1.2 Η συνέχεια της εξέλιξης.....	12
1.1.3 Ο Γαλιλαίος.....	14
1.2 Η Σύγχρονη Μηχανική.....	17
1.3 Διδασκαλία της κινηματικής και της δυναμικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση... 17	
1.3.1 Κινηματική: Οι έννοιες και οι εξισώσεις στα σχολικά εγχειρίδια.....	18
1.3.2 Δυναμική: Οι έννοιες και οι νόμοι στα σχολικά εγχειρίδια.....	22
2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ.....	28
2.1 Εκφράσεις που αναφέρονται στις ιδέες των μαθητών.....	28
2.2 Χαρακτηριστικά και Προέλευση των μαθητικών Αντιλήψεων.....	28
2.3 Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με τη δύναμη και την κίνηση.....	32
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	39
3.1 Τα Εργαλεία των ερευνών.....	39
3.1.1 Ερωματολογία κλειστού τύπου.....	39
3.1.2 Το Ερωματολόγιο Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM).....	40
3.2 Το δείγμα της έρευνας.....	42
3.3 Στόχοι της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα.....	42
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	43
4.1 Αποτελέσματα για κάθε ερώτηση.....	43
4.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	71
4.3 Σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών της Α' Λυκείου με των πρωτοετών φοιτητών.....	77
4.3.1 Σύγκριση του ποσοστού των σωστών απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις που αφορούν τους τρεις νόμους του Newton με τα αντίστοιχα ποσοστά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.....	77
4.3.2 Σύγκριση του ποσοστού των εναλλακτικών απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις που αναφέρονται στους τρεις νόμους του Newton, με τα αντίστοιχα ποσοστά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.....	80
4.4 Συσχέτιση του ποσοστού σωστών απαντήσεων στο τεστ με τη βαθμολογία των μαθητών στις γραπτές εξετάσεις του Ιουνίου στο μάθημα της Φυσικής.....	82
4.5 Συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους.....	86
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	130

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μαθητές πριν ακόμη αρχίσουν τα πρώτα μαθήματα φυσικής στο σχολείο έχουν εργαστεί ασυνείδητα ως πειραματικοί φυσικοί στην καθημερινή τους ζωή εξερευνώντας το φυσικό περιβάλλον τους. Έτσι χωρίς να το επιδιώκουν ή να το αντιλαμβάνονται αποκτούν εμπειρία με τον τρόπο λειτουργίας της επιστήμης, αφού αναγκάζονται να κάνουν υποθέσεις και προβλέψεις, να παρατηρούν τα φυσικά φαινόμενα και μετά από συνεχείς δοκιμές αμφισβητήσεις και απορρίψεις να καταλήγουν σε συμπεράσματα και θεωρίες που στηρίζονται στην «κοινή λογική». Οι ιδέες που προκύπτουν από αυτή τη διεργασία έχουν ελεγχθεί επανειλημμένα όσον αφορά την ικανοποιητική λειτουργία τους στην καθημερινή ζωή, δεν είναι τετριμμένες, και ορισμένες από αυτές υπήρξαν για πολλά χρόνια θεμελιώδεις αρχές της επιστήμης αφού υιοθετήθηκαν στο παρελθόν από σημαντικούς επιστήμονες και φιλοσόφους. Είναι ισχυρά θεμελιωμένες στο νου των μαθητών και πολύ δύσκολα μπορούν να τροποποιηθούν μέσω μιας τυπικής διδακτικής διαδικασίας που προσπαθεί να συμπληρώσει τα κενά των μαθητών με νέες πληροφορίες. Οι προβλέψεις, οι παρατηρήσεις, και τα συμπεράσματα τους κατά τη διδασκαλία επηρεάζονται από τις προϋπάρχουσες ιδέες και τις προσδοκίες τους. Επομένως το αποτέλεσμα της διδασκαλίας δεν εκπληρώνει τους στόχους του διδάσκοντος και του διδακτικού εγχειριδίου. Σε πολλές έρευνες αναφέρεται ότι είναι τόσο δύσκολο οι αρχικές ιδέες των μαθητών να διαφοροποιηθούν με την παραδοσιακή διδασκαλία που ακόμη και όταν αυτές έρχονται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα μιας επίδειξης ή μιας πειραματικής διαδικασίας οι μαθητές αρνούνται να τις αλλάξουν. (McDermott L. 1991, Driver R. κ.α. 1989, Halloun I. & Hestenes D. 1985b)

Τα παιδιά δεν προσέχονται στο σχολείο σαν «λευκά φύλλα» έτοιμα να δεχθούν τις ιδέες, τις έννοιες, και τις διαδικασίες, που επιθυμεί ο δάσκαλος. Οι ιδέες και οι συλλογιστικές δομές των παιδιών που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη τους και αναφέρονται ως «εναλλακτικές αντιλήψεις», «μοντέλα των παιδιών», «πρωταρχικές ιδέες», «σχήματα», κ.τ.λ, φαίνονται χωρίς συνοχή, αλλά είναι ιδιαίτερα σταθερές, διότι επαληθεύτηκαν αρκετές φορές στην καθημερινότητά τους (Driver R. κ.α. 1989, McDermott L. 1998). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παιδιά από διάφορες περιοχές του κόσμου μπορεί να έχουν τις ίδιες ιδέες και να δίνουν παρόμοιες ερμηνείες για

ορισμένα φαινόμενα. Ανεξάρτητες έρευνες που καταλήγουν στα παραπάνω συμπεράσματα επισημαίνουν επίσης ότι υπάρχουν παρόμοια πρότυπα ιδεών που εφαρμόζονται από μαθητές και φοιτητές. (Gunstone F. 1987, Thornton K. και Sokoloff R. 1990)

Τα τελευταία σαράντα περίπου χρόνια απασχολούν την επιστημονική κοινότητα οι προϋπάρχουσες ιδέες των παιδιών σε έννοιες και νόμους του γνωστικού αντικειμένου. Πρώτος ο Ausubel (1968) είχε επισημάνει: «Ο πιο σπουδαίος απλός παράγοντας που επηρεάζει τη μάθηση είναι αυτό που ο μαθητής ήδη γνωρίζει. Εξακρίβωσε το και δίδαξε τον σύμφωνα με αυτό».

Είναι όμως τόσο δύσκολο εγχείρημα η τροποποίηση των ιδεών αυτών; Η απάντηση είναι απλή αν σκεφτούμε το χρόνο και την προσπάθεια που κατέβαλαν φιλόσοφοι και επιστήμονες στο παρελθόν για την αλλαγή αυτών των ιδεών. Ο ίδιος ο Newton χρειάστηκε να ξεπεράσει ένα πλήθος αντιλήψεων με κυρίαρχη αυτή της impetus για να καταλήξει στα τελικά συμπεράσματά του. (Steinberg et al 1990)

Τα αποτελέσματα ερευνών όπως του Clement 1982 και των Hestenes & Halloun 1985b, επιβεβαιώνουν τη δυσκολία του εγχειρήματος για τη μετατροπή των ιδεών των μαθητών αφού ακόμη και μετά το πέρας της διδακτικής διαδικασίας αρνούνται να τις διαφοροποιήσουν.

Εδώ και πολλά χρόνια το ζητούμενο στην επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με την έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών είναι η εύρεση του κατάλληλου διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης ώστε να είναι αντιληπτή και προσεγγίσιμη από τους μαθητές και μέσω μιας εύστοχης εκπαιδευτικής παρέμβασης να προκαλεί τροποποίηση και αναδόμηση των εναλλακτικών αντιλήψεων που ήδη έχουν σχηματιστεί στο νου τους ως αποτέλεσμα της καθημερινής ενασχόλησης τους με τα φυσικά φαινόμενα.

Από τα δυσκολότερα προβλήματα που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες και χρειάστηκαν πολύχρονες προσπάθειες για την προσέγγιση τους είναι αυτά της κίνησης και της δύναμης. Ο Herbert Butterfield στο βιβλίο του «The origins of modern science:1300-1800» επισημαίνει: «Από όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισε και ξεπέρασε η ανθρώπινη σκέψη τα τελευταία χίλια πεντακόσια χρόνια, μια υπήρξε εκπληκτική ως προς

τα χαρακτηριστικά της και ως προς την ευρύτητα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από αυτή: Το πρόβλημα της κίνησης.»

Η παραπάνω έκφραση του Butterfield είναι χαρακτηριστική και αιτιολογεί τις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα που σχετίζονται με την κίνηση και τις αιτίες που την προκαλούν. Πολλά από τα φαινόμενα αυτά αποτελούν αντικείμενο έρευνας από τους μαθητές στη καθημερινότητά τους και καθιστούν τη κινητική και τη δυναμική μια από τις σημαντικότερες γνωστικές περιοχές στη διδασκαλία του μαθήματος της φυσικής στο σχολείο.

Στα πλαίσια της παρούσας ερευνητικής εργασίας θα προσπαθήσουμε να διαπιστώσουμε τη συχνότητα εφαρμογής των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών της Α' Λυκείου καθώς και το βαθμό κατανόησης των εννοιών, των νόμων και των αρχών της κινηματικής και της νευτώνειας δυναμικής από αυτούς, μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής διαδικασίας στο σχολείο.

Περιγράφοντας συνοπτικά το περιεχόμενο αναφέρουμε τα εξής:

Αρχικά γίνεται παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου που βασίστηκε η έρευνα. Ξεκινά με μια ιστορική αναδρομή από την εποχή του Αριστοτέλη μέχρι το Γαλιλαίο περιγράφοντας την εξέλιξη των ιδεών που σχετίζονται με την κίνηση και τη δύναμη στην οποία γίνεται φανερή η σχέση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών με τις ιδέες που απασχόλησαν τους επιστήμονες και τους φιλοσόφους κατά το παρελθόν. Ακολουθεί παρουσίαση της σύγχρονης μηχανικής όπου προσπαθούμε να περιγράψουμε τον τρόπο διάρθρωσης της ύλης που αναφέρεται στην κινηματική και τη δυναμική όπως αυτή έχει διδακτικά μετασχηματιστεί στις σελίδες των σχολικών εγχειριδίων της Β' Γυμνασίου και της Α' Λυκείου.

Η συνέχεια αναφέρεται στις ιδέες των μαθητών. Αρχικά γίνεται μια σύνοψη των όρων που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στη βιβλιογραφία για να εκφράσουν τις ιδέες των μαθητών. Καταγράφονται τα χαρακτηριστικά και καθορίζεται η προέλευση των μαθητικών αντιλήψεων. Τέλος παρουσιάζονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και φοιτητών που σχετίζονται με την κίνηση και τη δύναμη και αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Ακολουθεί η μεθοδολογία της έρευνας. Παρουσιάζονται αρχικά τα στοιχεία που αφορούν τα ερωτηματολόγια κλειστού τύπου ως ερευνητικά εργαλεία, και γίνεται

λεπτομερής περιγραφή του ερωτηματολογίου "Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM)" το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα. Περιγράφεται το δείγμα που έλαβε μέρος στην έρευνα, οι στόχοι και τα ερευνητικά ερωτήματα.

Η συνέχεια αναφέρεται στα αποτελέσματα της έρευνας.

Ξεκινά με ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων ανά ερώτηση όπου γίνεται ειδική αναφορά στις εναλλακτικές ιδέες που αναδεικνύονται σε κάθε περίπτωση. Ακολουθεί ομαδοποίηση των ερωτήσεων ανάλογα με το νόμο την αρχή ή την έννοια που εξετάζουν και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που φωτογραφίζουν το βαθμό κατανόησης των παραπάνω στοιχείων και τις εναλλακτικές ιδέες που κυριαρχούν.

Συγκρίνονται τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων καθώς και των δημοφιλέστερων εναλλακτικών απαντήσεων των μαθητών που αναφέρονται στους τρεις νόμους του Newton με τα αντίστοιχα ποσοστά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων που συμμετείχαν στην έρευνα «Διερεύνηση των Αντιλήψεων των Φοιτητών στις Έννοιες της Νευτώνειας Μηχανικής: Δύναμη και Κίνηση» (Πετροχείλου, Ρίζος 2006) .

Κατόπιν διερευνούμε αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού των σωστών απαντήσεων κάθε μαθητή στο χρησιμοποιούμενο ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου και της ικανότητας επίλυσης ποσοτικών προβλημάτων. Τέλος ελέγχεται η συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους σε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν όμως στον ίδιο νόμο ή αρχή της φυσικής.

Η ερευνητική προσέγγιση ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων και ορισμένες ενδεικτικές προτάσεις αντιμετώπισης των διδακτικών προβλημάτων.

Στο πρώτο παράρτημα παρατίθεται η ελληνική μετάφραση του ερωτηματολογίου Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM) και στο δεύτερο ο πίνακας με τις συχνότητες των απαντήσεων των μαθητών.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

1.1 Η ιστορική προσέγγιση της κινηματικής και της δυναμικής

Δίνοντας στη Φυσική Επιστήμη μια πιο πλατιά έννοια από αυτή που διαθέτει στις μέρες μας μπορούμε να ισχυριστούμε ότι γεννήθηκε την εποχή που ο άνθρωπος έθετε τα πρώτα κοσμολογικά ερωτήματα και τα προσέγγιζε χρησιμοποιώντας εκτός από τη μυθική και τη λογική σκέψη. Από τότε η Φυσική και η Φιλοσοφία αναπόσπαστα συνδεδεμένες διέσχισαν την ελληνική αρχαιότητα. Η γνώση της ιστορικής εξέλιξης των ιδεών προσφέρει εφόδια για την πρόβλεψη και κατανόηση των ιδεών που έχουν οι μαθητές πάνω στις έννοιες των φυσικών επιστημών που στηρίζονται στην αισθησιοκρατική και βιωματική αντίληψη των φαινομένων.

Παρακάτω γίνεται μια αναφορά στις ιδέες που επικράτησαν για την κίνηση και τα αίτια που την προκαλούν από την εποχή του Αριστοτέλη μέχρι το Γαλιλαίο.

1.1.1 Αριστοτελική Θεωρία

Ο Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης γεννήθηκε στα Στάγिरα το 384 π.Χ. Αντιμετώπισε ποιοτικά τα φυσικά φαινόμενα, βασιζόμενος στις αισθήσεις του και όχι σε πειράματα. Οι νεότεροι φυσικοί προσπαθούν να διατυπώσουν νόμους που συνδυάζουν μεταβλητές ώστε να υπολογίζουν τη μια από τις υπόλοιπες, ο Γαλιλαίος προσπαθούσε να μετρήσει το χρόνο πτώσης ενός σώματος και να συνδέσει τη σχέση που έχει αυτός ο χρόνος με το διάστημα που διανύει το σώμα. Ο Αριστοτέλης αντίθετα ενδιαφέρονταν για την απόλυτη κατανόηση του φυσικού φαινομένου, ήταν τελείως ικανοποιημένος που γνώριζε ποιο είναι το βαθύτερο αίτιο που υποχρέωνε ένα σώμα να πέφτει και τι είναι εκείνο που εκπληρώνεται με την προς τα κάτω κίνηση. Θεωρούσε, όπως και όλοι οι αρχαίοι Έλληνες διανοητές, απαραίτητη τη γνώση των βασικών αρχών από τις οποίες διέπεται ένα φυσικό φαινόμενο και πίστευε ότι όλα τα άλλα ακόμη και οι ποσοτικές σχέσεις συνάγονται. (Τριανταφυλλόπουλος 1999)

Οι βασικές παραδοχές της κινητικής θεωρίας του είναι:

1. Η Γη είναι ακίνητη και βρίσκεται στο κέντρο του σύμπαντος
2. Όλα τα σώματα προέρχονται από την ανάμιξη τεσσάρων «πρωταρχικών στοιχείων» (Γη- Ύδωρ- Αήρ- Πυρ) όπου κάποιο από αυτά μπορεί να υπερτερεί.

Τα τέσσερα στοιχεία αποτελούν περισσότερο ιδιότητες των σωμάτων παρά ουσίες.

Κάθε στοιχείο έχει τη «φυσική του θέση». Πιο χαμηλά βρίσκεται το στοιχείο «Γη» πάνω από αυτό το «Ύδωρ» ψηλότερα ο «Αήρ» και πιο ψηλά όλων το «Πυρ».

3. Κάθε κίνηση απαιτεί ένα αίτιο.

Διακρίνει τις κινήσεις σε: «φυσικές», και σε «βίαιες». Αιτία των «φυσικών» κινήσεων είναι μια έμφυτη δύναμη που υπάρχει μόνιμα σε κάθε σώμα (ονομάζεται από τον Αριστοτέλη «κινητήρια δύναμη»), ή η τάση των σωμάτων να αναζητούν τη «φυσική τους θέση», ενώ η αιτία των «βίαιων» κινήσεων βρίσκεται στις δυνάμεις επαφής λόγω της επίδρασης κάποιου εξωτερικού παράγοντα, (ο Αριστοτέλης δεν αναγνώριζε τις δυνάμεις από απόσταση).

Η «φυσική» κίνηση ενός σώματος εξαρτάται: α) από την αναλογία των τεσσάρων πρωταρχικών στοιχείων από τα οποία αποτελείται το σώμα β) από τη θέση του σώματος σε σχέση με τις φυσικές θέσεις των τεσσάρων πρωταρχικών στοιχείων.

Τα βαριά σώματα αποτελούνται κυρίως από τα στοιχεία «Γη» και «Ύδωρ» και έχουν την «κεντρομόλα τάση» να κινούνται προς το κέντρο του σύμπαντος που είναι η Γη. Τα ελαφριά σώματα αποτελούνται κυρίως από τα στοιχεία «Αήρ» και «Πυρ» και έχουν τη «φυγόκεντρο τάση» να απομακρύνονται από τη Γη (ανυψώνονται προς τις ουράνιες περιοχές). (Δαπόντες κ.α. 1993)

Εκτός από την κινητήρια δύναμη που υπάρχει μέσα σε κάθε υλικό σώμα μπορεί να ενεργεί πάνω σε αυτό και μια αντίσταση που εξαρτάται από εξωτερικά αίτια και αντιτίθεται στη φυσική του κίνηση. Όταν η κινητήρια δύναμη είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση παρατηρείται ίδια κίνηση με τη φυσική και η ταχύτητα του σώματος είναι ανάλογη με τη κινητήρια δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με την αντίσταση $v \sim \frac{F}{A}$. Αντίθετα όταν αντίσταση είναι μεγαλύτερη από την κινητήρια δύναμη το σώμα εκτελεί βίαιη κίνηση και η ταχύτητα του σώματος είναι ανάλογη με την αντίσταση και αντιστρόφως ανάλογη με την κινητήρια δύναμη $v \sim \frac{A}{F}$. (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την κινητική θεωρία του Αριστοτέλη είναι:

Για να έχει ένα σώμα ταχύτητα διάφορη του μηδενός θα πρέπει να ασκείται πάνω του μια δύναμη. Όταν η δύναμη αυτή είναι σταθερή και η ταχύτητα του σώματος θα είναι σταθερή.

Αν αφήσουμε από το ίδιο ύψος δύο όμοια σώματα που το ένα είναι βαρύ και το άλλο ελαφρύ, τότε επειδή στο πρώτο η κινητήρια δύναμη είναι μεγαλύτερη θα αποκτήσει μεγαλύτερη ταχύτητα. Άρα θα φτάσει γρηγορότερα στην επιφάνεια της Γης. Συγκεκριμένα αν το ένα είναι τρεις φορές πιο βαρύ από το άλλο θα χρειαστεί το ένα τρίτο του χρόνου σε σύγκριση με το άλλο.

Αν σε ένα κινούμενο σώμα πάψει να ασκείται δύναμη τότε αυτό αμέσως ηρεμεί.

Για τη μετάδοση της δύναμης ο Αριστοτέλης πίστευε ότι το ίδιο το μέσο στο οποίο κινείται το σώμα αποκτά την ιδιότητα να το κινεί. Έτσι όταν πετάμε μια πέτρα προς τα πάνω εξακολουθεί να κάνει βίαιη κίνηση όταν φεύγει από το χέρι μας διότι στην προσπάθειά μας να εκτοξεύσουμε την πέτρα δραστηριοποιούμε τον αέρα μέσα στον οποίο γίνεται η κίνηση της. Η ιδιότητα που αποκτά ο αέρας μεταδίδεται διαδοχικά από το ένα στρώμα στο άλλο όλο και πιο ασθενικά μέχρι που μηδενίζεται και η πέτρα εκτελεί τη φυσική της κίνηση πέφτοντας προς τα κάτω.

Ο Αριστοτέλης απορρίπτει το κενό χρησιμοποιώντας ουσιαστικά το νόμο της αδράνειας. Αν υπήρχε το κενό όλα τα σώματα θα έπεφταν με την ίδια ταχύτητα ανεξάρτητα από το βάρος ή το σχήμα τους, και ένα σώμα που τίθεται σε κίνηση μέσα σε αυτό θα συνέχιζε επ' άπειρο με σταθερή ταχύτητα διότι το κενό έχει παντού τις ίδιες ιδιότητες και δεν υπάρχει λόγος να σταματήσει.

Το πόσο κοντά βρίσκεται ο Αριστοτέλης στην κοινή λογική φαίνεται από το γεγονός ότι ακόμη και σήμερα όσοι δεν κατανοούν επαρκώς τη Νευτώνεια Μηχανική εκφράζουν αρκετές από τις ιδέες του για την κίνηση. Την αντίληψη αυτή ονομάζουμε «Αριστοτελική» και κυριάρχησε για πολλά χρόνια στην επιστημονική σκέψη. (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Είναι αξιοσημείωτη η προσκόλληση των επιστημόνων για περίπου 2000 χρόνια στην θεωρία του Αριστοτέλη. Ακόμη και μετά την ανάπτυξη νέων ιδεών πιο συμβατών με τη λογική, όπως ή ιδέα της παραμένουσας δύναμης από τον Φιλόπονο, υπάρχουν

αναγνωρισμένοι επιστήμονες όπως ο Nicole Oresme που αμφιταλαντεύονται γύρω από τη δυναμική του Αριστοτέλη.

1.1.2 Η συνέχεια της εξέλιξης

Παρακάτω θα κάνουμε μια αναφορά στο έργο των σημαντικότερων επιστημόνων και στη συνεισφορά που είχαν αυτοί στην εξέλιξη των θεωριών που αφορούν την κινηματική και τη δυναμική στη χρονική αυτή περίοδο των 2000 ετών μεταξύ του Αριστοτέλη και του Γαλιλαίου.

Ο Αρχιμήδης 287 π.Χ.

Ορίζει την ταχύτητα σε μια ομαλή κίνηση ως το λόγο του διαστήματος που διανύει το σώμα προς το χρονικό διάστημα που διαρκεί η κίνηση.

Ο Ίππαρχος 190π.Χ.

Υποστηρίζει την άποψη του Αριστοτέλη κατά την οποία η ταχύτητα ενός κινούμενου σώματος είναι ανάλογη με την κινητήρια δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με την αντίσταση $v \sim \frac{F}{A}$. Εισάγει πρώτος την ιδέα της επιταχυνόμενης κίνησης ενός σώματος που πέφτει ελεύθερα μέσα στο πεδίο βαρύτητας. Χρησιμοποιεί για την ερμηνεία της μια δύναμη που αποθηκεύεται στο σώμα και αντιστέκεται στην πτώση του η οποία όμως ελαττώνεται κατά τη διάρκεια της πτώσης και η διαφορά της από το βάρος του σώματος συνεχώς μεγαλώνει με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ταχύτητα του σώματος.

Ο Ιωάννης Φιλόπονος (Γραμματικός) 6^{ος} αιώνας μ.Χ.

Εισάγει την έννοια της παραμένουσας δύναμης, σαν αιτία της κίνησης ενός σώματος που βάλλεται μέσα στο πεδίο βαρύτητας, η οποία αποθηκεύεται στο σώμα κατά τη ρίψη του και εξασθενεί σταδιακά. Η παραπάνω θεωρία θα έχει πολύ μεγάλη επίδραση στους φυσικούς που ακολουθούν μέχρι την εποχή του Γαλιλαίου. Είναι ο πρώτος που πειραματίζεται με την πτώση δύο σωμάτων διαφορετικού βάρους από το ίδιο ύψος και διαπιστώνει ότι ο χρόνος πτώσης είναι σχεδόν ο ίδιος. Διαφωνεί με τον Αριστοτέλη όσον αφορά τη σχέση που συνδέει την ταχύτητα με την κινούσα δύναμη θεωρώντας ότι πρέπει

να ισχύει η σχέση $v \sim (F - A)$ όπου v η ταχύτητα του κινούμενου αντικειμένου, F η κινούσα δύναμη και A η αντίσταση που δέχεται το αντικείμενο. Η σχέση που εισάγει ο Φιλόπονος επιτρέπει την ύπαρξη του κενού ($A=0$). (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Το έργο του Φιλόπονου έγινε αντικείμενο μελέτης για πολλά χρόνια. Σχεδόν τετρακόσια χρόνια μετά ο Άραβας Avicena ενστερνίζεται τις απόψεις του σχετικά με την παραμένουσα δύναμη την οποία αναφέρει με το αραβικό όνομα *mail*. Απορρίπτει όμως την ύπαρξη του κενού στηριζόμενος στην αιτιολόγηση που χρησιμοποίησε ο Αριστοτέλης.

Ο William of Ockham 14^{ος} αιώνας

Αναφέρεται κυρίως για την αντίθεση του στην ιδέα της παραμένουσας δύναμης υποστηρίζοντας ότι η κίνηση δεν χρειάζεται πάντα μια αιτία. Υποστηρίζει ότι ένα σώμα που τίθεται αρχικά σε κίνηση μπορεί να παραμείνει σε αυτή χωρίς να υπάρχει αιτία κίνησης. Είναι ο πρώτος που κατανοεί ότι σε μια κίνηση υπάρχει το κινηματικό και το δυναμικό τμήμα που είναι διάκριτα, και προσπαθεί να εξάγει εξισώσεις κίνησης ανεξάρτητα από τις δυνάμεις που ενεργούν στο σώμα. (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Προσπάθειες για εύρεση των νόμων της κίνησης κάνουν παράλληλα ο John Holland που διατυπώνει τον ορισμό της ελεύθερης ομαλής κίνησης και ο William Heytesbury καθηγητής στο Merton College του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης που διατυπώνει τον ορισμό της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης και συμμετέχει στη διατύπωση του θεωρήματος μέσης ταχύτητας (θεώρημα του Merton): «Ένα σώμα με ταχύτητα u_1 τη χρονική στιγμή t_1 που επιταχύνεται ομαλά μέχρι να αποκτήσει ταχύτητα u_2 τη χρονική στιγμή t_2 διανύει απόσταση d ίδια με την απόσταση που θα διένυε στον ίδιο χρόνο άλλο σώμα που θα είχε σταθερή ταχύτητα ίση με τη μέση τιμή των u_1 και u_2 $\langle u \rangle = (u_1 + u_2)/2$, όπου $\langle u \rangle$ η μέση ταχύτητα. Η απόσταση δίνεται από τον τύπο $d = \langle u \rangle (t_2 - t_1)$ ». (Αντωνίου κ.α. 2006)

Το θεώρημα αυτό απέδειξε στις αρχές του 14^{ου} αιώνα, με τη βοήθεια της γεωμετρίας, ο καθηγητής του Πανεπιστημίου του Παρισιού Nicole Oresme.

Ο Oresme δέχονταν την ύπαρξη του κενού και απέρριπτε τις ιδέες του Φιλόπονου για την παραμένουσα δύναμη υιοθετώντας την Αριστοτελική άποψη ότι το μέσο στο οποίο γίνεται η κίνηση παρέχει τη δύναμη στο κινούμενο σώμα.

Ο Jean Buridan 14^{ος} αιώνας

Απορρίπτει τους νόμους κίνησης του Αριστοτέλη. Αναπτύσσει τη θεωρία της «όρμησης» σύμφωνα με την οποία η αρχική δύναμη που θέτει το σώμα σε κίνηση το τροφοδοτεί με μια ορμή (impetus) η οποία δρά σαν κινούσα δύναμη κατά τη διεύθυνση κίνησης του σώματος και εξασθενεί κατά τη διάρκεια της, σιγά-σιγά.

Η «ορμή» ή «όρμηση» αποδίδεται στην ύλη ως εσωτερική ιδιότητά της, που επιτρέπει σε ένα κινούμενο σώμα να συνεχίσει την κίνησή του και μετά την επίδραση της εξωτερικής δύναμης. (Αντωνίου κ.α. 2006)

Για τον Buridan μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις η «ορμή» να αντιστοιχεί στο γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα του σώματος, τη νευτώνεια ορμή δηλαδή, αλλά τη συγχέει επίσης και με την έννοια της δύναμης. (Stinner, 1994)

Θεωρούσε, την «όρμηση» ενός σώματος διατηρήσιμη ποσότητα και διατύπωσε την αρχή που προσεγγίζει το νόμο της αδράνειας ή το νόμο διατήρησης της ορμής: «Στο σώμα μεταβιβάζεται μια ποσότητα όρμησης, η οποία θα παρέμενε για πάντα εκεί εάν δεν την κατάστρεφε η αντίσταση του μέσου ή μια τάση του σώματος (λόγω του βάρους) προς μια αντίθετη κίνηση». (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Ο Leonardo da Vinci 15^{ος} αιώνας

Υιοθετεί τη θεωρία της «όρμησης» η οποία διδάσκεται στην Ιταλία, στα Πανεπιστήμια της Αναγέννησης.

1.1.3 Ο Γαλιλαίος

Γεννήθηκε το 1564 στην Πίζα της Τοσκάνης. Ήταν ο πρώτος που επεσήμανε ότι τα μαθηματικά θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για μια ακριβή και ποσοτική περιγραφή των φυσικών φαινομένων, αλλά όπως και ο Αριστοτέλης δε διατύπωσε κανένα νόμο με μαθηματική μορφή αλλά μόνο με λόγια. Στα κείμενα του μας δίνει το σκοπό της έρευνάς του: «Στη φύση δεν υπάρχει τίποτα πιο παλιό από την κίνηση. Γι' αυτήν έχουν γραφεί

τόσα και τόσα βιβλία από τους φιλοσόφους. Έχω κι εγώ ανακαλύψει όμως,, μερικές ιδιότητες της κίνησης, που αξίζει να τις αναφέρω, μιας και δεν τις έχει αναφέρει κανένας άλλος μέχρι σήμερα.»

Σε αντίθεση με τον Αριστοτέλη που βάσιζε τα συμπεράσματά του μόνο σε λογικούς συλλογισμούς, ο Γαλιλαίος κατέληγε σε αυτά με βάση πειραματικά δεδομένα, λεπτομερειακές παρατηρήσεις και λογικές αιτιολογήσεις. Ο πειραματικός τρόπος έρευνας θεμελιώθηκε από το Γαλιλαίο γι' αυτό θεωρείται και πατέρας της πειραματικής φυσικής. (Δαπόντες κ.α. 1993)

Προσπάθησε να διατυπώσει τους νόμους της κίνησης και ειδικότερα τους νόμους της πτώσης των σωμάτων μέσα στο πεδίο βαρύτητας της Γης. Στο τελευταίο βιβλίο του «Διάλογος για τις Δυο Νέες Επιστήμες» ορίζει την ευθύγραμμη ομαλή κίνηση την οποία αποκαλεί «φυσική κίνηση», και τονίζει ότι για να κινείται ένα σώμα ομαλά δε χρειάζεται να ασκείται πάνω του δύναμη.

Όρισε την ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση και με τη βοήθεια των πειραμάτων πτώσης σωμάτων από κεκλιμένο επίπεδο που εκτέλεσε κατάφερε να διατυπώσει το νόμο της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης. Αυξάνοντας συνεχώς την κλίση του επιπέδου κατέληξε στην ελεύθερη πτώση των σωμάτων την οποία ενέταξε στις ομαλά επιταχυνόμενες κινήσεις και διατύπωσε το νόμο της. (Hewitt 1997)

Αντιμετώπισε σωστά το πρόβλημα της οριζόντιας βολής αναγνωρίζοντας την παραβολική τροχιά του σώματος και διακρίνοντας τις δυο ανεξάρτητες κινήσεις. Ο ίδιος αναφέρει κατά τη δημοσίευση της λύσης του προβλήματος της οριζόντιας βολής :

«Συνέλαβα με το νου μου ένα κινητό που κινείται σε ένα οριζόντιο επίπεδο, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί όλα τα εμπόδια. Η ομαλή κίνηση σε αυτό το επίπεδο θα ήταν διαρκής αν το επίπεδο εκτεινόταν στο άπειρο. Αλλά εάν υποθέσουμε ότι το επίπεδο τελείωνε κάπου και ότι είχε τοποθετηθεί ψηλά, όταν το κινητό φτάνει στο τέλος προστίθεται στην προηγούμενη ομαλή κίνηση εκείνη η προς τα κάτω τάση που έχει από το βάρος του. Έτσι προκύπτει μια ειδική κίνηση που συντίθεται από την ομαλή οριζόντια και τη φυσική επιταχυνόμενη προς τα κάτω.» (Δαπόντες κ.α. 1993)

Στη δυναμική, ενώ η έννοια της δύναμης απασχόλησε το Γαλιλαίο ως αίτιο της κίνησης δεν κατάφερε τελικά να την προσδιορίσει. Έφτασε όμως πολύ κοντά στη διατύπωση του νόμου της αδράνειας καθώς ισχυρίζεται ότι: «Ένα σώμα που αφήνεται

ελεύθερο πάνω σε οριζόντιο επίπεδο θα παραμείνει σε ηρεμία ακριβώς στο σημείο που το ακουμπάμε πάνω στο επίπεδο. Αν του δώσουμε μια αρχική ταχύτητα πάνω στο οριζόντιο επίπεδο το σώμα θα εξακολουθεί να κινείται με αυτή τη σταθερή ταχύτητα έως ότου κάτι του διαταράξει αυτή την κατάσταση.» (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999)

Επηρεασμένος όμως από τον Αριστοτέλη κάνει το λάθος να εισάγει την κυκλική αδράνεια να θεωρήσει δηλαδή ομαλή (μη επιταχυνόμενη) και την κυκλική κίνηση ενός υλικού σώματος.

Πραγματοποίησε πειράματα ταυτόχρονης ελεύθερης πτώσης σωμάτων με διαφορετικό βάρος όπως μια μπάλα ενός κανονιού και μια σφαίρα πιστολιού και διαπίστωσε ότι φτάνουν στην επιφάνεια της Γης με πολύ μικρή διαφορά χρόνου, την οποία αποδίδει μάλιστα στην αντίσταση του αέρα. Παρατηρεί επίσης, λειτουργώντας διαισθητικά, ότι καθώς η ταχύτητα αυξάνεται θα αυξάνεται και η αντίσταση του αέρα μέχρι να γίνει ίση με το βάρος του σώματος και το σώμα συνεχίσει την πτώση με σταθερή ταχύτητα.

Τέλος μελετώντας την επιταχυνόμενη κίνηση ενός σώματος έρχεται σε επαφή με τη δυναμική της κίνησης. Απορρίπτει την άποψη του Αριστοτέλη για την προωθητική δύναμη που ασκεί το μέσο στη βίαιη κίνηση οι απόψεις του όμως είναι επηρεασμένες από την παραμένουσα δύναμη του Φιλόπονου, καθώς και από τις απόψεις των μεσαιωνικών ερευνητών όπως του Buridan, του Oresme κ.α. (Τριανταφυλλόπουλος Η. 1999; Δαπόντες κ.α. 1993)

Πλησίασε στη διατύπωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα χωρίς όμως να καταλήξει σε αυτόν. Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρησή του ότι αν ένα βλήμα κατά την κίνησή του συναντήσει ένα εμπόδιο στο δρόμο του το χτύπημα θα είναι ανάλογο με τη μεταβολή της σχετικής ταχύτητας βλήματος – στόχου.

1.2 Η Σύγχρονη Μηχανική

Αναζητώντας την καταγωγή της επιστήμης της Μηχανικής οδηγούμαστε στο Μεσαίωνα και παρατηρούμε την αργή διαδικασία ανάπτυξης της, επιβεβαιώνοντας τη ρήση του Thomas Kun για την αργή διαδικασία ολοκλήρωσης ενός επιστημονικού προτύπου. (Kun, 1981)

Η διεργασία κριτικής αμφισβήτησης της Φυσικής του Αριστοτέλη ξεκίνησε τον 14^ο αιώνα με σημαντικούς εκπροσώπους της τον Jean Buridan από τη σχολή του Παρισιού και την ομάδα διανοητών του Merton College από τη σχολή της Οξφόρδης, και κορυφώθηκε από τον Galileo Galilei με τη διατύπωση της αρχής της αδράνειας της ύλης το 17^ο αιώνα, και την τελειοποίηση της διατύπωσης αυτής από τον Descartes λίγο αργότερα. Η θεμελίωση της Κλασικής Μηχανικής έγινε από τον μεγάλο Άγγλο φυσικό και φιλόσοφο Isaac Newton (1642-1717) ο οποίος διαμόρφωσε τη σύγχρονη έννοια της νευτώνειας δύναμης ως εξωτερική στο σώμα που την υφίσταται, με τη δυνατότητα να μεταβάλλει την κίνηση και με ένα διπλό συστημικό χαρακτήρα δράσης – αντίδρασης, διατύπωσε επίσης με σαφήνεια και μαθηματική αυστηρότητα τις πρώτες αρχές της επιστήμης της κίνησης. (Βλάχος κ.α. βιβλίο καθηγητή, 2004), (Κανδεράκης Ν. , 2007) Στη μηχανική περιλαμβάνεται η μελέτη των σχέσεων μεταξύ δύναμης, ύλης και κίνησης. Η περιγραφή της κίνησης ενός σώματος μελετάται στο τμήμα της μηχανικής που αναφέρεται ως κινηματική ενώ η ανάλυση των αιτιών της κίνησης σε άλλο τμήμα τη δυναμική. (Young H. 1992) Η σχέση μεταξύ της κίνησης και των δυνάμεων που την προκαλούν περιγράφεται με τη βοήθεια των νόμων κίνησης του Νεύτωνα που αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο της μηχανικής γι' αυτό αναφέρεται συχνά και ως νευτώνεια μηχανική.

1.3 Διδασκαλία της κινηματικής και της δυναμικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Η κινηματική και η δυναμική καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα της διδασκόμενης ύλης στη Β' Γυμνασίου και στην Α' Λυκείου.

Στη Β' Γυμνασίου η κινηματική βρίσκεται στην αρχή του διδακτικού εγχειριδίου και περιγράφει την κίνηση σε μια διάσταση. Εισάγονται οι έννοιες της χρονικής στιγμής, της θέσης, της μετατόπισης, της στιγμιαίας και της μέσης ταχύτητας. Ακολουθεί η δυναμική, με την έννοια της δύναμης και τη σύνδεση αυτής με την κίνηση και την αλληλεπίδραση. Η πρόταση του παιδαγωγικού ινστιτούτου είναι η διάρκεια της διδασκαλίας να περιοριστεί στις 14 διδακτικές ώρες δηλαδή λιγότερο από δύο μήνες (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο καθηγητή 2006), όμως η διδακτική διαδικασία στα σχολεία συνήθως ξεπερνά τους τρεις μήνες.

Στην Α' Λυκείου η πρώτη ενότητα ανήκει στην κινηματική και περιγράφεται η ευθύγραμμη κίνηση, ακολουθεί η δυναμική σε μια διάσταση, η δυναμική σε δύο διαστάσεις και η βαρύτητα. Οι παραπάνω ενότητες αποτελούν το 65% της ύλης που πρέπει να διδαχθεί στο σχολικό έτος. Η πρόταση του παιδαγωγικού ινστιτούτου είναι η διάρκεια της διδασκαλίας των παραπάνω ενοτήτων να περιοριστεί στις 31 διδακτικές ώρες δηλαδή περίπου τρεις μήνες (Βλάχος, κ.α. βιβλίο καθηγητή, 2004), η διδακτική διαδικασία στα σχολεία συνήθως απαιτεί περισσότερους από πέντε μήνες.

Τα παραπάνω στοιχεία καταδεικνύουν τη θέση και τη σημασία της κινηματικής και της δυναμικής στη σχολική φυσική και παράλληλα τις μαθησιακές δυσκολίες που εμφανίζουν οι μαθητές στην κατανόηση των διδασκόμενων εννοιών.

Παρακάτω παρουσιάζονται ο τρόπος διάρθρωσης της ύλης στα αντίστοιχα κεφάλαια των σχολικών εγχειριδίων, καθώς και οι έννοιες τις κινηματικής και της δυναμικής μετά το διδακτικό μετασχηματισμό που υπέστησαν ώστε να είναι προσεγγίσιμες από τους μαθητές.

1.3.1 Κινηματική: Οι έννοιες και οι εξισώσεις στα σχολικά εγχειρίδια

Η έννοια της κίνησης είναι γενικό κοινό χαρακτηριστικό των σωμάτων. Για τη μελέτη των πιο απλών κινήσεων απαιτούνται βασικές προϋποθέσεις και απλοποιήσεις όπως να αγνοήσουμε την αιτία της κίνησης, να περιοριστούμε στις ευθύγραμμες κινήσεις και να θεωρήσουμε τα σώματα ως υλικά σημεία.

Θέση: πού βρίσκεται το σώμα;

Για τον προσδιορισμό της θέσης πάνω σε μια ευθεία χρησιμοποιούμε μια κλίμακα για παράδειγμα μια μετροταινία, ορίζουμε ένα σημείο, συνήθως το μηδέν, ως σημείο αναφοράς, και παρατηρούμε αν το σώμα βρίσκεται δεξιά ή αριστερά του μηδενός, εκτός από τον αριθμό που δηλώνει την απόσταση από το σημείο αναφοράς χρησιμοποιούμε και ένα πρόσημο για να δηλώσει την κατεύθυνση, το (+) αν το σώμα βρίσκεται δεξιά του μηδενός και το (-) αν βρίσκεται αριστερά. Η θέση είναι διανυσματικό μέγεθος και για να τη συμβολίσουμε χρησιμοποιούμε συνήθως το γράμμα \bar{x} . Για τον προσδιορισμό της θέσης πάνω στο επίπεδο χρειάζονται δύο άξονες και δύο μετροταινίες. Θεωρούμε σημείο αναφοράς το σημείο τομής των αξόνων που συνήθως είναι η αρχή τους (0,0) και κάνουμε δύο μετρήσεις προσδιορίζοντας δύο αριθμούς (x,y) που ονομάζουμε συντεταγμένες. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004), (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Χρονική στιγμή: πότε;

Για να γνωρίζουμε πότε ένα αντικείμενο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θέση χρησιμοποιούμε ένα χρονόμετρο. Η ένδειξη του χρονομέτρου ονομάζεται χρονική στιγμή. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Μετατόπιση:

Η μεταβολή της θέσης ενός κινούμενου σώματος ονομάζεται μετατόπιση. Για να βρούμε τη μετατόπιση ενός κινούμενου σώματος από μια χρονική στιγμή t_1 μέχρι μια άλλη t_2 , αρκεί να γνωρίζουμε τις θέσεις του τις δύο αυτές στιγμές. Αν τη στιγμή t_1 βρίσκεται στη θέση \bar{x}_1 και τη στιγμή t_2 στη θέση \bar{x}_2 τότε η μετατόπιση είναι $\Delta\bar{x} = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$. Η μετατόπιση όπως και η θέση είναι διανυσματικό μέγεθος. Στις ευθύγραμμες κινήσεις όπου η διεύθυνση του διανύσματος της θέσης είναι καθορισμένη η φορά της μετατόπισης προσδιορίζεται από το πρόσημο του Δx (έχοντας επιλέξει μια φορά ως θετική), ενώ το μέτρο από την τιμή του. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Χρονικό διάστημα:

Είναι ο χρόνος που μεσολάβησε μεταξύ δύο χρονικών στιγμών και στη διάρκεια του εξελίσσεται ένα φαινόμενο, συμβολίζεται με Δt και ισούται με: $\Delta t = t_2 - t_1$
(Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Τροχιά της κίνησης:

Είναι η γραμμή που δημιουργείται από το σύνολο των διαδοχικών θέσεων από τις οποίες περνάει το κινούμενο σώμα. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Μέση ταχύτητα:

α) Στην καθημερινή γλώσσα : Αφού γίνει διάκριση μεταξύ του μήκους της διαδρομής και της μετατόπισης δίνεται ο ορισμός. Είναι το πηλίκο του μήκους της διαδρομής που διάνυσε το κινούμενο σώμα σε ορισμένο χρόνο προς το χρόνο αυτό

$$\text{μέση ταχύτητα} = \frac{\text{μήκος διαδρομής}}{\text{χρόνος}} \quad \text{ή} \quad v_{\mu} = \frac{s}{\Delta t}$$

Η ταχύτητα είναι παράγωγο μέγεθος και σύμφωνα με την τελευταία σχέση η μονάδα της στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι το 1 m/s δηλαδή το μέτρο ανά δευτερόλεπτο. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

β) Διανυσματική περιγραφή της ταχύτητας (ή η έννοια της ταχύτητας στη φυσική)

Για να προβλέψουμε τη θέση ενός σώματος που κινείται μετά από ορισμένο χρόνο απαιτείται να γνωρίζουμε και την κατεύθυνση της κίνησής του. Γι' αυτό το λόγο ορίζουμε τη μέση διανυσματική ταχύτητα με βάση τη μετατόπιση του κινητού και όχι το μήκος της διαδρομής του.

$$\text{μέση διανυσματική ταχύτητα} = \frac{\text{μετατόπιση}}{\text{χρόνος}} \quad \text{ή} \quad \vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

Η μέση διανυσματική ταχύτητα έχει κατεύθυνση που συμπίπτει με την κατεύθυνση της μετατόπισης. Στην ευθύγραμμη κίνηση η φορά της ταχύτητας προσδιορίζεται από το πρόσημό της. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Στιγμιαία ταχύτητα:

α) Στην καθημερινή γλώσσα : Είναι η ένδειξη του ταχύμετρου στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

β) Στη γλώσσα της φυσικής: Είναι διανυσματικό μέγεθος και περιλαμβάνει εκτός από την τιμή και την κατεύθυνση. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Ευθύγραμμη Ομαλή Κίνηση:

Είναι η κίνηση που γίνεται σε ευθεία γραμμή προς σταθερή κατεύθυνση με ταχύτητα σταθερού μέτρου, δηλαδή είναι η κίνηση στην οποία η ταχύτητα διατηρείται σταθερή. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Εξισώσεις προσδιορισμού της ταχύτητας και της θέσης (ή της μετατόπισης) στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση:

$$\vec{v} = \text{σταθερή}$$

$$\Delta \vec{x} = \vec{v} \cdot \Delta t \quad (\text{Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004})$$

Επιτάχυνση στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση:

Επιτάχυνση \vec{a} σε μια ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση είναι το διανυσματικό μέγεθος του οποίου η τιμή ισούται με το πηλίκο της μεταβολής $\Delta \vec{v}$ της ταχύτητας δια του χρόνου Δt στον οποίο γίνεται αυτή η μεταβολή.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Μονάδα της επιτάχυνσης στο διεθνές σύστημα είναι το $1 \frac{m}{s^2}$

Η κατεύθυνση της επιτάχυνσης \vec{a} είναι ίδια με την κατεύθυνση της μεταβολής της ταχύτητας $\Delta \vec{v}$.

Η επιτάχυνση στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση είναι σταθερή $\vec{a} = \text{σταθερή}$. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Εξισώσεις προσδιορισμού της ταχύτητας και της θέσης (ή της μετατόπισης) στην ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση:

α) Εξίσωση της ταχύτητας:

$\Delta \vec{v} = \vec{a} \cdot \Delta t$ ή $\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{a}(t - t_0)$ όπου \vec{v}_0 είναι η ταχύτητα (αρχική ταχύτητα) που έχει το κινητό την στιγμή t_0 και \vec{v} η ταχύτητα του τη χρονική στιγμή t . Αν θεωρήσουμε $t_0=0$ τότε η τελευταία σχέση παίρνει τη μορφή $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$

Καθορίζοντας θετική φορά (ίδια με την κατεύθυνση της αρχικής ταχύτητας), και αρνητική φορά (αντίθετη με την κατεύθυνση της αρχικής ταχύτητας) οδηγούμαστε στην αλγεβρική μορφή των παραπάνω εξισώσεων. Στην ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση: $v = v_0 + a \cdot t$ και στην ομαλά επιβραδυνόμενη $v = v_0 - a \cdot t$

β) Εξίσωση της μετατόπισης

Αν θεωρήσουμε ως αρχική χρονική στιγμή τη $t_0=0$ τότε η εξίσωση της θέσης θα είναι:

Για την ομαλά επιταχυνόμενη $\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Για την ομαλά επιβραδυνόμενη $\Delta x = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$

(Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

1.3.2 Δυναμική: Οι έννοιες και οι νόμοι στα σχολικά εγχειρίδια

Δύναμη:

Είναι η αιτία που προκαλεί την κίνηση ή την παραμόρφωση ενός σώματος. Είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο σωμάτων, και όταν τα σώματα είναι σε επαφή ονομάζονται δυνάμεις επαφής ενώ όταν είναι σε απόσταση ονομάζονται δυνάμεις από απόσταση. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Το αποτέλεσμα μιας δύναμης που ασκείται σε ένα σώμα, εξαρτάται από την τιμή της όσο και από την κατεύθυνσή της. Είναι διανυσματικό μέγεθος και η μονάδα μέτρησης της στο διεθνές σύστημα είναι το 1N. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Συνισταμένη δύναμη:

Αν σε ένα σώμα ενεργούν δύο ή περισσότερες δυνάμεις $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots)$ ταυτόχρονα στο ίδιο σημείο του, υπάρχει μια δύναμη που μπορεί να αντικαταστήσει τις δυνάμεις αυτές και να επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα η δύναμη αυτή λέγεται συνισταμένη και συμβολίζεται με $\sum \vec{F}$ και δίνεται από τη μαθηματική σχέση $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$, και οι δυνάμεις που αντικαθιστά λέγονται συνιστώσες της. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Σύνθεση συγγραμμικών δυνάμεων:

α) Αν οι δύο δυνάμεις έχουν ίδια κατεύθυνση η συνισταμένη τους έχει τιμή ίση με το άθροισμα των τιμών των συνιστωσών δυνάμεων και φορά ίδια με τη φορά τους

$$F = F_1 + F_2$$

β) Αν οι δύο δυνάμεις έχουν αντίθετη κατεύθυνση η συνισταμένη τους έχει τιμή ίση με τη διαφορά των τιμών των συνιστωσών δυνάμεων και φορά ίδια με τη φορά της μεγαλύτερης από τις δύο

$$F = F_1 - F_2$$

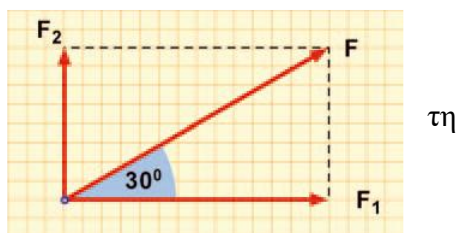
Για τη σύνθεση περισσότερων συγγραμμικών δυνάμεων επιλέγουμε αυθαίρετα μια θετική φορά, προσθέτουμε τα μέτρα των δυνάμεων με θετική φορά, και στη συνέχεια τα μέτρα των δυνάμεων με αρνητική φορά. Αφαιρούμε τα δύο αθροίσματα και υπολογίζουμε το μέτρο της συνισταμένης. Αν το αποτέλεσμα είναι θετικό η συνισταμένη έχει θετική φορά, ενώ αν είναι αρνητικό έχει αρνητική φορά. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Ανάλυση δύναμης σε συνιστώσες:

Συνήθως αναλύουμε μια δύναμη σε δύο κάθετες συνιστώσες τις οποίες υπολογίζουμε με βοήθεια μιας γωνίας

Στο παράδειγμα του διπλανού σχήματος

αναλύουμε τη δύναμη F που σχηματίζει γωνία 30° με τον οριζόντιο άξονα σε δύο συνιστώσες F_1 και F_2 τα μέτρα των οποίων υπολογίζουμε με τη βοήθεια της γωνίας



τη

$$\sigma\upsilon\nu 30^\circ = \frac{F_1}{F} \Rightarrow F_1 = F \cdot \sigma\upsilon\nu 30^\circ \text{ και}$$

$$\eta\mu 30^\circ = \frac{F_2}{F} \Rightarrow F_2 = F \cdot \eta\mu 30^\circ \quad (\text{Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006})$$

Σύνθεση πολλών ομοεπίπεδων δυνάμεων:

Μεταφέρουμε τα διανύσματα των δυνάμεων παράλληλα προς τον εαυτό τους έτσι ώστε να έχουν κοινό σημείο εφαρμογής. Επιλέγουμε κατάλληλο σύστημα ορθογωνίων αξόνων (Oxy) του οποίου η αρχή O, συμπίπτει με το κοινό σημείο εφαρμογής των δυνάμεων, και αναλύουμε όλες τις δυνάμεις σε συνιστώσες που βρίσκονται πάνω στους κάθετους άξονες xx' και yy' . Υπολογίζουμε τη συνισταμένη $\sum \vec{F}_x$ και $\sum \vec{F}_y$ πάνω σε κάθε άξονα όπως αναφέραμε παραπάνω και στη συνέχεια την τιμή της συνολικής δύναμης από τη σχέση $\sum F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$ και την κατεύθυνση από τη σχέση

$$\epsilon\phi\theta = \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \text{ όπου } \theta \text{ η γωνία που σχηματίζει η συνισταμένη με τον οριζόντιο άξονα } xx'.$$

(Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Νόμος Hook:

Η επιμήκυνση ενός ελατηρίου είναι ανάλογη με τη δύναμη που ασκείται σε αυτό. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Αδράνεια των σωμάτων:

Είναι η ιδιότητα των σωμάτων να αντιστέκονται στη μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα:

Αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι μηδέν, τότε το σώμα ηρεμεί ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα ή Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής:

Η επιτάχυνση που αποκτά ένα σώμα με την επίδραση σταθερής συνισταμένης δύναμης είναι ανάλογη με τη δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα του σώματος και έχει την ίδια κατεύθυνση με τη συνισταμένη δύναμη. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Εκφράζεται με τη σχέση: $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$

Διερεύνηση της σχέσης $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$:

α) Αν σε ένα σώμα δεν ασκείται δύναμη ή ασκούνται δυνάμεις με συνισταμένη μηδέν ($\sum \vec{F} = 0$) τότε η επιτάχυνση θα είναι μηδέν ($\vec{a} = 0$). Δηλαδή αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι μηδέν δεν μεταβάλλεται η κινητική κατάσταση του σώματος (ηρεμεί αν αρχικά ηρεμούσε ή κινείται ευθύγραμμα και ομαλά αν αρχικά είχε ταχύτητα). (1^{ος} Νόμος του Νεύτωνα)

β) Αν σε ένα σώμα ασκείται σταθερή δύναμη ίδιας κατεύθυνσης με την ταχύτητά του τότε και η επιτάχυνση που αποκτά είναι σταθερή και το σώμα εκτελεί ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Αν η δύναμη είναι αντίθετης κατεύθυνσης από την ταχύτητα η κίνηση είναι ομαλά επιβραδυνόμενη.

γ) Αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα είναι μεταβαλλόμενη τότε και η επιτάχυνση που αποκτάτο σώμα θα είναι μεταβαλλόμενη. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Βάρος:

Βάρος ενός σώματος είναι η δύναμη με την οποία το έλκει η Γη, συμβολίζεται με \vec{W} , είναι διανυσματικό μέγεθος και αλλάζει από τόπο σε τόπο. (Αντωνίου, κ.α. βιβλίο μαθητή 2006)

Σε ένα σώμα που πέφτει ελεύθερα ασκείται δύναμη που δίνεται από το θεμελιώδη νόμο της μηχανικής $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$ το σώμα έχει επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας, και η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε αυτό είναι ίση με το βάρος οπότε $\vec{W} = m \cdot \vec{g}$ όπου \vec{g} η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Μονάδα του βάρους στο διεθνές σύστημα είναι το 1N. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Μάζα:

Μέτρο της αδράνειας ενός σώματος αποτελεί η μάζα του που λέγεται αδρανειακή μάζα, και υπολογίζεται από τη σχέση $F = m \cdot a$.

Η μάζα που προκύπτει από τη μέτρηση της δύναμης βαρύτητας που ασκείται πάνω σε αυτή, συγκρίνοντας τη βαρυτική έλξη που δέχεται με την έλξη που δέχεται κάποια άλλη πρότυπη μάζα λέγεται βαρυτική μάζα. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Από πειράματα βρέθηκε ότι η βαρυτική και η αδρανειακή μάζα είναι ίσες.

Μονάδα μάζας είναι το 1kg.

Ελεύθερη Πτώση:

Ελεύθερη πτώση εκτελεί ένα σώμα όταν το αφήσουμε να πέσει από κάποιο ύψος και η μοναδική δύναμη που ενεργεί σ' αυτό είναι το βάρος του, το οποίο θεωρείται σταθερό, ενώ οι αντιστάσεις του αέρα θεωρούνται αμελητέες. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Εξισώσεις της Ελεύθερης Πτώσης:

Αν στις εξισώσεις της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης θέσουμε $v_0 = 0$ και $a = g$ προκύπτουν οι εξισώσεις της ελεύθερης πτώσης:

Εξίσωση της μετατόπισης: $\Delta y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ και

Εξίσωση της ταχύτητας: $v = g \cdot t$ (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Τρίτος Νόμος του Νεύτωνα ή Νόμος Δράσης - Αντίδρασης:

Όταν δύο σώματα αλληλεπιδρούν και το πρώτο ασκεί δύναμη \vec{F} στο δεύτερο, τότε και το δεύτερο ασκεί δύναμη $-\vec{F}$ στο πρώτο.

Τονίζεται ότι οι δυνάμεις της Δράσης - Αντίδρασης ενεργούν σε διαφορετικά σώματα και δεν έχει νόημα να μιλάμε για συνισταμένη αυτών.

Δύο σώματα που αλληλεπιδρούν ανεξάρτητα από τις μάζες τους ή τις ταχύτητες με τις οποίες κινούνται ασκούν το ένα στο άλλο δυνάμεις ίσου μέτρου και αντίθετης κατεύθυνσης. (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

Οριζόντια Βολή:

Όταν ένα σώμα εκτοξευθεί από ορισμένο ύψος με οριζόντια αρχική ταχύτητα v_0 η κίνηση που εκτελεί είναι μια σύνθετη κίνηση που αποτελείται από δύο απλές κινήσεις, μια κατακόρυφη που είναι ελεύθερη πτώση και μια οριζόντια που είναι ευθύγραμμη ομαλή με ταχύτητα v_0 .

Οι δυο κινήσεις εξελίσσονται ταυτόχρονα και στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται από την ταχύτητα του σώματος.

Οι εξισώσεις της κίνησης είναι:

Οριζόντιος άξονας Ox: Το σώμα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση

$$v_x = v_0$$

$$x = v_0 \cdot t$$

Κατακόρυφος άξονας Oy: Το σώμα εκτελεί ελεύθερη πτώση

$$v_y = g \cdot t$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Κάθε στιγμή η ταχύτητα του σώματος είναι: $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$ (Βλάχος, κ.α. βιβλίο μαθητή, 2004)

2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

2.1 Εκφράσεις που αναφέρονται στις ιδέες των μαθητών

Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφορες εκφράσεις για να αποδώσουν τις ιδέες των μαθητών πριν τη διδασκαλία. Γνωστοί στην κοινότητα των επιστημόνων που ασχολούνται με τη διδακτική της φυσικής είναι οι όροι:

- Common sense concept και common sense knowledge (αντιλήψεις κοινής λογικής και γνώση κοινής λογικής) που χρησιμοποιήθηκαν από τους Halloun I. & Hestenes D. (1985 α & β) και θέλουν να δηλώσουν τη γενική αποδοχή των ιδεών αυτών από τους μαθητές και τη βιωματική τους προέλευση
- Preconceptions (πρωτογενείς αντιλήψεις) χρησιμοποιήθηκε από τον Arons το 1990
- Misconceptions (λανθασμένες αντιλήψεις) χρησιμοποιήθηκε από τον Hammer το 1996, προκάλεσε όμως αρνητικές εντυπώσεις σαν χαρακτηρισμός διότι απόρριπτε τις ιδέες των μαθητών θεωρώντας ότι αδικαιολόγητα αυτές αναπτύσσονται στο νου τους, και έτσι η χρήση του περιορίστηκε

• Άλλοι όροι που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς είναι επίσης οι: Alternative framework (εναλλακτικές δομές), προϋπάρχουσα γνώση, κοινές αντιλήψεις, παρανοήσεις, προϊδεάσεις, αναπαραστάσεις, νοητικά μοντέλα, και τέλος πρόδρομες ή εναλλακτικές ιδέες (οι δύο τελευταίοι όροι υιοθετούνται και από τον Knight R. 2006).

2.2 Χαρακτηριστικά και Προέλευση των μαθητικών Αντιλήψεων

Οι μαθητές μεταφέρουν στο σχολείο κανόνες και ιδέες που τους υπαγορεύει η διαίθησή τους, που έχουν χρησιμοποιηθεί, ελεγχθεί, και επιβεβαιωθεί, στην καθημερινή τους ζωή και έτσι είναι ισχυρά εδραιωμένες στο νου τους. Συνήθως τις αποκαλούμε υποτιμητικά «λανθασμένες αντιλήψεις». Οι ιδέες όμως αυτές δεν είναι παράλογες ούτε χαρακτηρίζουν λίγους μόνο μαθητές. Από παιδαγωγική άποψη είναι αναγκαίο να δεχθούμε αυτές τις ιδέες ως «πρωτογενείς αντιλήψεις» που πρέπει να τροποποιήσουμε

μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών και όχι ως «λανθασμένες αντιλήψεις» που πρέπει να αντικατασταθούν με νέες χρησιμοποιώντας τη διάλεξη.

Έρευνες έχουν επανειλημμένα αποκαλύψει ότι οι αντιλήψεις των μαθητών έχουν βαθιές ρίζες και ανθίστανται σθεναρά σε κάθε μεταβολή. Χαρακτηριστικά αναφέρεται από τον Clement, σε έρευνα με φοιτητές το 1982, ότι ακόμη και μετά τη διδασκαλία στην περίπτωση που η κίνηση έχει αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της συνολικής δύναμης υπήρχε ένα υψηλό ποσοστό φοιτητών της τάξης του 75% που τοποθετούσε τη δύναμη στην ίδια κατεύθυνση με την κίνηση. Οι Halloun & Hestenes (1985b) διαπίστωσαν κατά τη διάρκεια συνεντεύξεων ότι πολλές φορές οι μαθητές επέμεναν στις λανθασμένες απόψεις τους ακόμη και μετά την παρακολούθηση επιδείξεων με αποτελέσματα που συγκρούονταν με τις προβλέψεις τους. Αντί να αναρωτηθούν όμως για το αν οι δικές τους απόψεις ήταν σωστές προσπαθούσαν να επιχειρηματολογήσουν ότι η επίδειξη δεν ήταν σχετική με την ερώτηση που τους υποβλήθηκε, γεγονός που αποδεικνύει τη σταθερότητα των ιδεών τους και την μηδαμινή σχεδόν διαφοροποίηση τους από τη διδασκαλία παραδοσιακού τύπου. Εξάλλου όπως αναφέρει ο Α. Κασσέτας (2004): Στο βλέμμα της ανθρώπινης σκέψης προϋπάρχουν θεωρητικές δομές. Ο Πάμπλο Πικάσο έλεγε: Ενίοτε βλέπουμε «αυτό που βλέπουμε», αλλά συχνότερα «βλέπουμε αυτό που ξέρουμε».

Για να δηλώσει τη σταθερότητα αυτών των ιδεών και την αντίσταση σε οποιαδήποτε διαφοροποίησή τους ο Randall Knight (2006) αναφέρει χαρακτηριστικά: Οι περισσότεροι φοιτητές μετά το πέρας των μαθημάτων Εισαγωγικής Φυσικής μπορούν να διατυπώσουν τους νόμους του Newton και να επιλέξουν την κατάλληλη εξίσωση για να επιλύσουν ένα απλό πρόβλημα που θα τους δοθεί. Όμως η διδασκαλία έχει προκαλέσει ελάχιστη ή και μηδενική αλλαγή στις αντιλήψεις τους σχετικά με τον κόσμο ή στον τρόπο με τον οποίο επιχειρηματολογούν για τα φυσικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα είναι οι φοιτητές να ζουν σε δύο παράλληλους κόσμους, τον κόσμο του μαθήματος όπου μαθαίνουν και εφαρμόζουν τις γνώσεις προς ικανοποίηση του διδάσκοντα, και τον πραγματικό (γι' αυτούς) κόσμο που εξακολουθεί να κυβερνάται από τις ίδιες εναλλακτικές ιδέες.

Η παραπάνω σύγχυση επικρατεί είτε διότι ο μαθητής δεν έχει ενσυνείδητα πεισθεί να αλλάξει τις αντιλήψεις του ή εάν ακόμη έχει μερικώς πεισθεί για την επιστημονική

ερμηνεία του φαινομένου κατά τη διδακτική διαδικασία αυτό έγινε μόνο σε θεωρητικό επίπεδο με τη βοήθεια ενός φανταστικού πειράματος που αναφέρθηκε ή μιας επίδειξης που παρουσιάστηκε χωρίς να επιτευχθεί εμπλοκή του μαθητή. Τέλος τα αποτελέσματα δεν συνδέθηκαν με πραγματικές εφαρμογές από την καθημερινή ζωή για να αποκτήσουν νόημα στο νου των μαθητών. Σαν συνέπεια όλων αυτών μόλις οι μαθητές βρεθούν αντιμέτωποι με σύνθετες καταστάσεις και προβλήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή των φυσικών νόμων στο καθημερινό περιβάλλον, επανέρχονται στις δικές τους αντιλήψεις για να τα αντιμετωπίσουν, και όπως λέει χαρακτηριστικά ο Ebison, «Newtonian in mind but Aristotelian at heart». (Κασσέτας 2004)

Παρόμοιες ιδέες και αντιλήψεις ανιχνεύονται σε παιδιά διαφόρων ηλικιών, εθνικοτήτων και μορφωτικού υποβάθρου. Εφόσον όλοι ζουν σε ένα περιβάλλον με τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά δεν είναι παράδοξο να δημιουργούνται κοινές αντιλήψεις στην προσπάθεια για την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Έχει επίσης παρατηρηθεί η διαχρονική ισχύ των αντιλήψεων αν και ορισμένες υπόκεινται σε διαφοροποίηση και μετεξέλιξη καθώς τα παιδιά μεγαλώνουν και υποβάλλονται στη μαθησιακή διαδικασία. (Gilbert K. et al 1982).

Το γεγονός ότι οι αντιλήψεις αυτές είναι κοινές ανάμεσα στους μαθητές δεν σημαίνει ότι κάθε μαθητής έχει απαραίτητα ταυτόχρονα όλες αυτές τις ιδέες. Οι μαθητές δεν είναι συνεπείς στην εφαρμογή των ιδεών αυτών και μπορούν να τις εφαρμόζουν ή όχι ανάλογα με το υπό εξέταση φαινόμενο και ακόμη ανάλογα με τη διατύπωση του προβλήματος. Δεν γνωρίζουν πότε πρέπει να εφαρμόσουν τους νόμους που διδάχθηκαν στο σχολείο και έτσι παρατηρείται μια σύγχυση που πολλές φορές οδηγεί σε αδιάκριτη εφαρμογή νόμων εναλλακτικών ιδεών καθώς και υβριδικών καταστάσεων που προκύπτουν από το συνδυασμό τους. (Halloun & Hestenes 1985α)

Την ίδια διαπίστωση κάνουν στην έρευνά τους και οι Itza-Ortiz κ.α. (2004) σχετικά με την εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Newton από τους σπουδαστές. Ορισμένοι χρησιμοποιούν το δεύτερο νόμο, ενώ άλλοι τις δικές τους προϋπάρχουσες ιδέες (Αριστοτελικές, Μεσαιωνικές) ή και τυχαίους συνδυασμούς αυτών.

Στη καθημερινή ζωή αλλά ακόμη και κατά τη διάρκεια της διδακτικής διαδικασίας που ως στόχο έχει την τροποποίηση και εξάλειψη των εναλλακτικών ιδεών,

αρκετές φορές προκαλούμε αντίθετο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας εκφράσεις που συμβάλουν στην ενίσχυση και τη διατήρησή τους. Ο Arons αναφέρει μερικές από αυτές: «Η δύναμη κινεί το σώμα»: Η έκφραση αναφέρεται συχνά μέσα στην τάξη και οδηγεί τους μαθητές, που ταυτίζουν τη λέξη κινεί με την ταχύτητα, να συνδέουν τη δύναμη με την ταχύτητα ως αίτιο και αποτέλεσμα και να υιοθετούν την αριστοτελική άποψη.

«Η δύναμη υπερνικά την αδράνεια του σώματος»: Ενθαρρύνει τους μαθητές να κατατάσσουν την αδράνεια στις δυνάμεις.

«Η δύναμη προσδίδεται στο σώμα»: Καλλιεργεί την ιδέα της δύναμης που έχει δοθεί, ανήκει ή διαμένει στο κινούμενο σώμα.

«Ασκούμενη δύναμη»: Η έκφραση χρησιμοποιείται συχνά στη διατύπωση προβλημάτων. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή διότι προκαλείται σύγχυση μεταξύ της συνεχούς δράσης και της απότομης ώθησης.

«Υπερνικά η δύναμη μεγαλύτερου μέτρου» και «οι δυνάμεις αλληλοεξουδετερώνονται»: Οι εκφράσεις χρησιμοποιούνται στη σύνθεση των δυνάμεων και μπορεί να οδηγήσουν στην ιδέα της εξαφάνισης ή της απάλειψης ορισμένων δυνάμεων. (Arons 1992)

Εν συντομία ανακεφαλαιώνοντας τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ιδεών των μαθητών μπορούμε να διακρίνουμε:

- Πρόκειται για θολές αντιλήψεις τις οποίες πολλές φορές οι μαθητές εκφράζουν με ανακριβείς και αδιευκρίνιστους όρους οι οποίες δεν είναι καλά διαφοροποιημένες μεταξύ τους, και περιέχουν αντιφάσεις που δεν αναγνωρίζονται από τους μαθητές.
- Είναι παρόμοιες για παιδιά διαφορετικών ηλικιών, εθνικοτήτων και μορφωτικού υποβάθρου, είναι ιδιαίτερα σταθερές και η τυπική διδακτική παρέμβαση δεν προκαλεί καμιά σχεδόν μεταβολή σε αυτές.
- Δεν είναι οργανωμένες στη βάση φυσικών αρχών και νόμων ώστε να αποτελούν ένα συνεκτικό ιστό στον οποίο να προστίθενται νέες πληροφορίες, με συνέπεια στο τέλος των μαθημάτων να απαρτίζουν ένα πλήθος από διακριτά γεγονότα και εξισώσεις χωρίς ιδιαίτερη σύνδεση μεταξύ τους. (Knight R., 2006)

2.3 Εναλλακτικές ιδέες των μαθητών σχετικά με τη δύναμη και την κίνηση.

Η έρευνα των ιδεών των μαθητευομένων δείχνει ότι η δύναμη που θεωρείται πρωταρχική έννοια στην περιγραφή φαινομένων κίνησης αλλά και καταστάσεων ηρεμίας, είναι από τις πιο δύσκολες έννοιες και οι διδακτικές παρεμβάσεις δεν έχουν λύσει το πρόβλημα της διδασκαλίας και μάθησης των δυνάμεων. (Καριώτογλου Π. 2004) Μια μάλλον γενική και αδιαφοροποίητη αντίληψη παρουσιάζουν οι σπουδαστές σχετικά με την κίνηση. Δεν κάνουν σαφή διάκριση μεταξύ της θέσης της ταχύτητας και της επιτάχυνσης καθώς για πολλούς πρόκειται απλά για κίνηση. Η σύγχυση αυτή επισημαίνεται από πολλούς ερευνητές όπως η McDermott και οι συνεργάτες της (1987), και οι Thornton και Sokoloff (1990).

Ο R. Knight αναφέρει ότι σε έρευνα με φοιτητές που παρακολουθούσαν Εισαγωγική Φυσική τέθηκε το πρόβλημα της κίνησης δύο σφαιρών πάνω σε διαφορετικές τροχιές. Η μια σφαίρα κυλούσε ελεύθερα κατά μήκος κεκλιμένης τροχιάς και η άλλη σε οριζόντια με σταθερή ταχύτητα. Ζητήθηκε από τους φοιτητές να υποδείξουν σε ποιες θέσεις οι σφαίρες θα έχουν την ίδια ταχύτητα. Το 50% των φοιτητών επέλεξαν τη στιγμή που η μία σφαίρα προσπερνούσε την άλλη.

Η McDermott και οι συνεργάτες (1991) διαπίστωσαν ότι το 80% των φοιτητών που επρόκειτο να παρακολουθήσουν ένα μάθημα εισαγωγικής φυσικής με χρήση διαφορικού λογισμού, υπέπιπταν σε λάθη όταν τους ζητούσαν να αναγνωρίσουν ή να συγκρίνουν επιταχύνσεις. Το ποσοστό των λανθασμένων απαντήσεων μειώνονταν μόλις στο 60% μετά το τέλος διδασκαλίας παραδοσιακού τύπου. Οι Thornton και Sokoloff (1990) αναφέρουν παρόμοια ποσοστά λανθασμένων απαντήσεων στις επιλογές των φοιτητών, πριν και μετά τη διδασκαλία, σε ερωτήσεις που αφορούσαν ερμηνεία της επιτάχυνσης σε γραφικές παραστάσεις.

Οι δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τις έννοιες της δύναμης και της κίνησης ξεκινούν από τη θολή εικόνα που έχουν για την έννοια της δύναμης. Πολλές φορές συγχέουν τη δύναμη με την αδράνεια, την ισχύ, την ενέργεια, και την ορμή τις οποίες και θεωρούν αιτίες για την κίνηση. Θεωρούν επίσης τη δύναμη ως εσωτερική ή αποκτώμενη

ιδιότητα των σωμάτων και όχι ως προϊόν αλληλεπίδρασης, και τροφοδοτούνται από τους εμπειρικούς κανόνες που οι περισσότεροι υιοθετούν για να περιγράψουν την κίνηση, και το πλήθος των εναλλακτικών ιδεών που τους υπαγορεύει η κοινή λογική όπως έγινε και με τους μεγάλους επιστήμονες του παρελθόντος ως το δέκατο έβδομο αιώνα.

Επικεντρώνουν την προσοχή τους στην εφαρμοζόμενη δύναμη από τον ενεργό παράγοντα και όχι στο σώμα που τη δέχεται έτσι αμελούν τη νευτώνεια ιδέα της συνολικής δύναμης. (Knight 2006).

Παρακάτω αναφέρονται οι ιδέες των μαθητών σχετικά με τη δύναμη και κίνηση:

- Η κίνηση απαιτεί την ύπαρξη δύναμης, ή εναλλακτικά η δύναμη προκαλεί κίνηση.

Για να υπάρχει κίνηση απαιτείται δύναμη με κατεύθυνση ίδια με αυτή της κίνησης. Η παραπάνω είναι από τις πλέον χαρακτηριστικές ιδέες των μαθητών και στηρίζεται στην αδιάψευστη καθημερινή εμπειρία τους όπου λόγω των τριβών και των αντιστάσεων δεν υπάρχει κίνηση χωρίς την εφαρμογή δύναμης προς την ίδια κατεύθυνση. Η ιδέα εξάλλου της δύναμης πάνω στη κατεύθυνση της κίνησης ήταν ενσωματωμένη στην αριστοτελική κοσμοθεωρία και μια από τις ακλόνητες πεποιθήσεις των ανθρώπων μέχρι το δέκατο έβδομο αιώνα.

Σε έρευνα των Watts και Zybbersztajn (1981), με δεκατετράχρονους μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Αγγλία δόθηκε στα παιδιά μια εικόνα που έδειχνε την εκτόξευση μιας οβίδας, το 85% των μαθητών είχε συνδέσει την κατεύθυνση της δύναμης που δέχεται η οβίδα κατά την κίνησή της με την τροχιά της.

Στην έρευνα του Clement (1982), η πλειονότητα των φοιτητών υποστήριζε ότι δρα μια δύναμη πάνω στην κατεύθυνση κίνησης του απλού εκκρεμούς.

- Αν δεν ασκείται δύναμη σε ένα σώμα τότε αυτό είτε θα παραμένει ακίνητο είτε θα σταματήσει αμέσως να κινείται.

Εφόσον προϋπόθεση της κίνησης είναι η επίδραση δύναμης στην ίδια κατεύθυνση με την κίνηση, ως άμεσο συμπέρασμα προκύπτει ότι απουσία δύναμης δεν θα έχουμε κίνηση. Σε έρευνα του McCloskey και των συνεργατών του (1980), το 27% των φοιτητών Φυσικής καθώς και το 80% των φοιτητών άλλων κατευθύνσεων ισχυρίζονται ότι μια σφαίρα που αφήνεται από το χέρι ενός ανθρώπου που τρέχει ακολουθεί κατακόρυφη τροχιά μη υπολογίζοντας την οριζόντια συνιστώσα της κίνησης.

- Αν ένα σώμα είναι ακίνητο δε συνεπάγεται απαραίτητα ότι συνισταμένη δύναμη που δέχεται είναι ίση με το μηδέν.

Η καθημερινότητα των μαθητών περιλαμβάνει δυνάμεις που λόγω των τριβών είναι αδύνατο να θέσουν σε κίνηση ένα σώμα (για τους μαθητές η τριβή δεν είναι δύναμη αλλά μια απλή επίδραση στην κίνηση του σώματος η αιτία που αναγκάζει τα σώματα να σταματήσουν).

- Γενικά η δύναμη είναι ανάλογη της ταχύτητας.

Η απαίτηση της άσκησης σταθερής δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης ενός σώματος ώστε να διατηρείται η ταχύτητα του σταθερή, και γενικότερα η αναλογία της ταχύτητας με την εφαρμοζόμενη δύναμη, έχει διαπιστωθεί από πλήθος ερευνών και αποτελεί μια από τις πιο χαρακτηριστικές εναλλακτικές ιδέες.

Χαρακτηριστική είναι η έρευνα που έγινε σε Γάλλους, Βέλγους και Άγγλους μαθητές (Viennot 1979), από τους οποίους ζητήθηκε να απαντήσουν στο ερώτημα: ποια είναι η δύναμη που ασκείται στις κινούμενες μπάλες ενός ταχυδακτυλουργού που βρίσκονται στο ίδιο ύψος (σε κάθε μπάλα ήταν δεδομένο το διάνυσμα της ταχύτητας), αλλά σε διαφορετικά σημεία της τροχιάς τους (άνοδος, κάθοδος, μέγιστο ύψος, παραβολική κίνηση, άνοδος με μεγαλύτερη ταχύτητα). Ποσοστό 55% των μαθητών της τελευταίας τάξης του Λυκείου ισχυρίστηκαν δύναμη με μέτρο ανάλογο της ταχύτητας της μπάλας.

Οι μαθητές στην προσπάθεια τους να συνδέσουν την κίνηση με τη δύναμη υιοθετούν ιδέες που έχουν τις ρίζες τους στο παρελθόν και απασχόλησαν μεγάλους επιστήμονες και φιλόσοφους όπως η έννοια της κεκτημένης δύναμης (impetus) η οποία αναπτύχθηκε κατά το Μεσαίωνα από τον Buridan. Στην έρευνα τους οι Halloun I. & Hestenes D. (1985 β) αναφέρουν ότι στην περίπτωση που η κίνηση ενός σώματος προκαλείται από ένα στιγμιαίο χτύπημα, ένας μεγάλος αριθμός μαθητών αποδίδει στο κινούμενο σώμα μια εσωτερική δύναμη που αποθηκεύεται σε αυτό κατά το χτύπημα και είναι υπεύθυνη για την μετέπειτα κίνηση του. Οι μαθητές την αναφέρουν ως ισχύ, δύναμη, ορμή, ταχύτητα, αδράνεια, ή ενέργεια αδιάκριτα. Η εσωτερική αυτή δύναμη που ονομάστηκε «όρμηση» (impetus) από τον Buridan και ανάλογα με την περίπτωση της απέδιδε χαρακτηριστικά δύναμης ή ορμής, καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της κίνησης και μηδενίζεται όταν το σώμα σταματά. Πολλοί φοιτητές αναγνωρίζουν και μια κυκλική impetus όταν το σώμα βγαίνει από ένα κυκλικό δακτύλιο μέσα στον οποίο

κινούνταν, με αποτέλεσμα να προβλέπουν κυκλική τροχιά για το κινούμενο σώμα έξω από το δακτύλιο ή παραβολική τροχιά που είναι αποτέλεσμα της φυσικής τάσης του σώματος για ευθύγραμμη κίνηση και της κυκλικής *impetus*.

Στην ίδια έρευνα οι φοιτητές πιστεύουν ότι όταν οι μηχανές ενός διαστημόπλοιου που αρχικά κινείται με σβηστές μηχανές ενεργοποιούνται, ασκούν μια δύναμη η οποία δρα εναντίον της αρχικής *impetus* και το διαστημόπλοιο ακολουθεί μια συνδυαστική πορεία. Η ιδέα της *impetus* είναι τόσο ισχυρή στους φοιτητές ώστε να υποστηρίζουν σε ποσοστό 30% ότι όταν το διαστημόπλοιο σβήσει τις μηχανές του επιστρέφει στην κατεύθυνση κίνησης που είχε πριν την ενεργοποίηση τους πιστεύοντας σε μια ιδέα διατήρησης της *impetus*. Υπάρχει τέλος ένα 13% που θεωρεί ότι οι μηχανές προσφέρουν μια νέα *impetus* και μετά το σβήσιμο αυτών το διαστημόπλοιο ακολουθεί τροχιά που είναι αποτέλεσμα των δύο *impetus*.

Στο ίδιο πρόβλημα όταν τέθηκε από τον Clement το 1982 σε τμήμα φοιτητών τεχνολογικής κατεύθυνσης που ξεκινούσε μαθήματα εισαγωγικής φυσικής με διαφορικό λογισμό το 89% των φοιτητών ισχυρίστηκαν ότι με την ενεργοποίηση των μηχανών του το διαστημόπλοιο ακολουθεί μια ευθύγραμμη τροχιά που είναι συνδυασμός της αρχικής *impetus* και της ασκούμενης δύναμης από τις μηχανές. Το εκπληκτικό όμως είναι ότι το 62% των απαντήσεων προέβλεπαν ότι το διαστημόπλοιο θα επιστρέψει στην αρχική τροχιά του μετά το σβήσιμο των μηχανών. Στην ίδια έρευνα στο πρόβλημα του πετάγματος ενός σώματος κατακόρυφα προς τα πάνω το 88% φοιτητών σχεδιάζουν μια δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης και την αναφέρουν ως «δύναμη του πετάγματος» ή «δύναμη που μεταβιβάζουμε στο σώμα».

Σε άλλη έρευνα (Arons 1997) ζητήθηκε από τους φοιτητές να προβλέψουν την τροχιά μπίλιας, που αρχικά κινούνται στο εσωτερικό ημιτελούς κυκλικού στεφανιού που βρίσκονταν πάνω σε οριζόντιο τραπέζι, όταν εξερχόταν από αυτό. Ορισμένοι σχεδίασαν μια συνεχιζόμενη τέλεια κυκλική κίνηση και επανείσοδο της μπίλιας στο στεφάνι, ενώ άλλοι μια τάση για κυκλική κίνηση που σταδιακά εξασθενεί με αποτέλεσμα η τροχιά να μετατρέπεται σε ευθεία.

Όπως αναφέρεται από τον R. Knight (2006) για αυτές τις περιπτώσεις: «μια τέτοια δύναμη κίνησης φαίνεται ότι έχει κατά κάποιο τρόπο μνήμη και θυμάται τις προηγούμενες κινήσεις».

Η ιδέα της «όρμησης» αναδεικνύεται και από άλλες έρευνες όπως αυτές του Van Heuvelen (1991α) και της Driver κ.α. (2000) που αναφέρουν ποσοστά σπουδαστών πάνω από 60 % να χρησιμοποιούν την ιδέα της «όρμησης».

Παρακάτω αναφέρουμε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με τους τρεις νόμους του Newton.

1^{ος} Νόμος του Newton

Οι έρευνες των Champagne κ.α. 1980 και Clement 1982 ήταν από τις πρώτες που ανέδειξαν την ισχύ της εναλλακτικής ιδέας των μαθητών σύμφωνα με την οποία: «Για να διατηρείται η ισοταχής κίνηση ενός σώματος πρέπει να ασκείται συνεχώς πάνω του σταθερή δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης». Η προηγούμενη αριστοτελική θεώρηση αποτελεί βασική αντίληψη των μαθητών, οι οποίοι είναι πολύ δύσκολο να σταματήσουν να θεωρούν την ηρεμία απολύτως διαφορετική κατάσταση από την κίνηση και να δεχθούν την ίδια συνθήκη (νόμο αδράνειας) για τις δύο καταστάσεις. Αναγνωρίζουν τις ωθήσεις και τις έλξεις που πρέπει να ασκήσουν οι ίδιοι προκειμένου να κινήσουν ένα σώμα αλλά δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι αυτό το αντικείμενο μπορεί να δέχεται επιπλέον δυνάμεις (όπως η τριβή, και η βαρύτητα) οι οποίες δεν αναγνωρίζονται από αυτούς διότι προέρχονται από άψυχα σώματα.

2^{ος} Νόμος του Newton

Σύμφωνα με τους μαθητές: «Η δύναμη που κινεί ένα σώμα πρέπει να έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα και μέτρο ανάλογο με το μέτρο της ταχύτητας». Προκειμένου να διατηρείται σταθερή η ταχύτητα ενός αντικειμένου οι μαθητές εκφράζουν την αντίληψη ότι είναι αναγκαία η άσκηση σταθερής δύναμης σε αυτό, εύκολα παράγεται η ιδέα ότι για να μεταβληθεί η ταχύτητα του απαιτείται αντίστοιχη μεταβολή της ασκούμενης δύναμης. Έτσι για την αύξηση του μέτρου της ταχύτητας ενός σώματος χρειάζεται να αυξηθεί ανάλογα και η δύναμη που ασκείται σε αυτό πάνω στη κατεύθυνση της κίνησης ενώ για τη μείωση του μέτρου της ταχύτητας πρέπει να ελαττωθεί ανάλογα και το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο σώμα πάντα προς την κατεύθυνση της κίνησης. Παρατηρούμε λοιπόν την ταχύτητα να παίρνει τη θέση της επιτάχυνσης στο δεύτερο νόμο του Newton.

3^{ος} Νόμος του Newton

Οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι ο νόμος αναφέρεται σε δύο διαφορετικές δυνάμεις που η καθεμιά ασκείται σε διαφορετικό σώμα. Οι δυνάμεις κατά τη μελέτη των δύο πρώτων νόμων του Newton, τοποθετούνται στο ίδιο σώμα, έτσι στο νόμο δράσης – αντίδρασης που αλληλεπιδρούν δύο σώματα παρουσιάζονται δυσκολίες στους μαθητές όσον αφορά στην τοποθέτηση των δυνάμεων.

Οι μαθητές θεωρούν τη δύναμη ως συστατικό των σωμάτων έτσι δέχονται ότι το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα ή το σώμα που προκαλεί την κίνηση (σπρώχνει) θα ασκεί κατά την αλληλεπίδραση και τη μεγαλύτερη δύναμη. Οι μαθητές τείνουν να αντιμετωπίσουν μια αλληλεπίδραση ως μια σύγκρουση στην οποία ο ισχυρότερος νικά. Η άποψη αυτή βασίζεται στην καθημερινή εμπειρία όπως αυτή ερμηνεύεται από την κοινή λογική όπου το αποτέλεσμα μιας σύγκρουσης είναι πιο καταστροφικό για το σώμα μικρότερης μάζας και κάνοντας τη σύνδεση του αποτελέσματος με την αιτία συμπεραίνουν ότι το σώμα μεγαλύτερης μάζας ασκεί και μεγαλύτερη δύναμη. Τα αποτελέσματα των ερευνών των Minstrell 1982 και Maloney 1984 επιβεβαιώνουν την παραπάνω θεώρηση, μάλιστα στην τελευταία έρευνα συνοψίζοντας τα αποτελέσματα διατυπώνονται οι παρακάτω αρχές που διέπουν τις ιδέες των μαθητών κατά την αλληλεπίδραση δύο σωμάτων:

- Το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη.
- Αν τα αλληλεπιδρώντα σώματα είναι ακίνητα τότε οι δυνάμεις είναι ίσες, ενώ αν κινούνται το σώμα μεγαλύτερης μάζας ή αυτό που προκαλεί την κίνηση ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη.
- Αν τα αλληλεπιδρώντα σώματα είναι ακίνητα ή κινούνται με σταθερή ταχύτητα οι δυνάμεις είναι ίσες, ενώ αν η κίνηση τους είναι επιταχυνόμενη τη μεγαλύτερη δύναμη την ασκεί το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα ή αυτό που προκαλεί την κίνηση.

Οι Halloun I. & Hestenes D. (1985 β) απέδωσαν στις ιδέες των μαθητών σχετικά με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης δύο σωμάτων τον όρο αρχή της κυριαρχίας. Βασικό στοιχείο της προηγούμενης αρχής είναι ότι το

μεγαλύτερο (ή γρηγορότερο ή πιο ενεργό) σώμα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη από το μικρότερο (ή πιο αργό ή λιγότερο ενεργό).

Οι σπουδαστές χειρίζονται την έννοια της δύναμης σαν εσωτερική ή αποκτώμενη ιδιότητα των σωμάτων παρά σαν αποτέλεσμα της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης όπως αναφέρεται από τον Π. Καριώτογλου (4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φ.Ε. και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση). Αποτέλεσμα αυτής της θεώρησης είναι η άμεση σύνδεση της δύναμης με την ταχύτητα και το μέγεθος του κινούμενου σώματος. Δυσκολίες εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδραση με άψυχα σώματα. Όπως αναφέρει ο Arons (1990) πολλοί μαθητές έχουν την πρωτογενή αντίληψη ότι οι δυνάμεις ασκούνται μόνο από έμψυχα σώματα και αδυνατούν να δεχθούν ότι το τραπέζι ή το πάτωμα ασκούν δύναμη σε κάποιο σώμα, όπως επίσης και στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης με δράση από απόσταση δυσκολεύονται να διακρίνουν τις δύο διαφορετικές δυνάμεις που ασκούνται σε διαφορετικά σώματα λόγω της αδυναμίας τους να αντιληφθούν τη μεταφορά της δύναμης όταν τα σώματα δεν είναι σε επαφή και της αποκλειστικής σχεδόν μελέτης στο στάδιο της ανάπτυξης των εννοιών των δυνάμεων από επαφή.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η αξιολόγηση της μαθησιακής διαδικασίας και κατ' επέκταση της ποιότητας των γνώσεων που αποκτούν οι μαθητές απαιτεί σαφώς καθορισμένους κανόνες και πρότυπα. Απαραίτητη θεωρείται η καθιέρωση μιας λεπτομερούς ταξινόμησης συλλήψεων και διαδικασιών που αναμένεται να αναπτυχθούν από τους μαθητές μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας, καθώς και η θέσπιση των κριτηρίων που θα πιστοποιούν κατά πόσο αυτοί έχουν αναπτύξει κάθε στοιχείο του προσδοκώμενου σχεδιαγράμματος και μέχρι ποιο βαθμό. Η αναγκαιότητα του ελέγχου του βαθμού κατανόησης εννοιών, νόμων και αρχών που μπορεί να καταδείξει τις αδυναμίες της διδακτικής διαδικασίας, οδήγησε στην ανάπτυξη ειδικών ερωτηματολογίων που δύνανται να πιστοποιήσουν το επίπεδο της κατανόησης και να αναδείξουν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών.

3.1 Τα Εργαλεία των ερευνών

3.1.1 Ερωτηματολόγια κλειστού τύπου

Ο βαθμός της εννοιολογικής κατανόησης, η απήχηση των εναλλακτικών ιδεών, και η αξιολόγηση της απόδοσης των διδακτικών μεθόδων σε μεγάλο δείγμα σπουδαστών, ήταν οι κύριες επιδιώξεις των ερευνητών στην προσπάθεια τους για την κατασκευή των τεστ με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής. Τα παραπάνω τεστ κλειστού τύπου όπως αναφέρονται στηρίζονται σε προφορικές συνεντεύξεις με μικρό δείγμα σπουδαστών όπου γίνεται χρήση των ίδιων ερωτήσεων που περιλαμβάνει το εν δημιουργία τεστ και αποσκοπούν στην ανάδειξη των κυριότερων αντιλήψεων τους για την πλαισίωση των πιθανών απαντήσεων σε κάθε ερώτηση. Η δεδομένη αδυναμία τους στην καταγραφή του τρόπου σκέψης των μαθητών καταγράφεται στα μειονεκτήματα των τεστ κλειστού τύπου, η δυνατότητα όμως που παρέχουν στη καταγραφή και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων από μεγάλα δείγματα όπως στην έρευνα του R. Hake (1998) με περισσότερους από 6000 μαθητές τα καθιστούν μοναδικά εργαλεία.

3.1.2 Το Ερωτηματολόγιο Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM)

Το ερωτηματολόγιο με την επωνυμία "Inventory of Basic Conceptions in Mechanics (IBCM)" είναι ένα τεστ με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και αποτελεί το ερευνητικό εργαλείο μας. Είναι ένα τυποποιημένο τεστ και προορίζεται για να εμφανίσει ένα αξιόπιστο στιγμιότυπο των ιδεών των μαθητών σε βασικά θέματα της νευτώνειας μηχανικής χωρίς να απαιτεί αιτιολόγηση των απαντήσεων τους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διδακτικούς και για ερευνητικούς σκοπούς. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό μπορεί να αποτελέσουν κριτήριο για τη σύγκριση διαφορετικών ομάδων μαθητών, και την ταξινόμηση τους σε διαφορετικά τμήματα, στα οποία η διδασκαλία θα προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες τους αλλά και να βοηθήσουν στην αξιολόγηση της διδασκαλίας καθώς στοχεύουν στη διερεύνηση της κατάκτησης από τους μαθητές του βασικού κατώτατου ορίου εννοιολογικής κατανόησης της κλασικής νευτώνειας μηχανικής. Σε αυτό το θεμελιώδες επίπεδο ανήκουν οι ιδέες που απαιτούνται για την κατάρτιση του μοντέλου του ελεύθερου σώματος καθώς και του ομαλά επιταχυνόμενου σώματος. Το πρώτο μοντέλο αναφέρεται σε σώματα που είναι ακίνητα ή εκτελούν ευθύγραμμη ομαλή κίνηση σε δεδομένο αδρανειακό σύστημα αναφοράς, ενώ το δεύτερο σε αντικείμενα που κινούνται σε ευθύγραμμη ή παραβολική τροχιά υπό την επίδραση σταθερής δύναμης.

Το IBCM είναι το πρώτο από μια ομάδα ερωτηματολογίων γνωστά ως Inventories of Basic Conceptions που αναπτύχθηκαν από τον καθηγητή Ibrahim Halloun και τους συνεργάτες του και αφορούν τομείς της φυσικής όπως η μηχανική και ο ηλεκτρισμός, τη βιολογία και τα μαθηματικά. Χρησιμοποιούνται στη Δευτεροβάθμια και την Τριτοβάθμια εκπαίδευση διότι μελετούν βασικές έννοιες που διδάσκονται και στις δύο βαθμίδες εκπαίδευσης, και εξακριβώνουν το βαθμό στον οποίο έχουν καταφέρει οι σπουδαστές να αναπτύξουν την κριτική γνώση παρά τη στείρα και μηχανική απομνημόνευση εννοιών νόμων και αρχών.

Βάση του ερωτηματολογίου Inventory of Basic Conceptions in Mechanics αποτέλεσαν ερωτηματολόγια κλειστού τύπου που έχουν χορηγηθεί σε χιλιάδες σπουδαστές για την αξιολόγηση της εννοιολογικής κατανόησης βασικών εννοιών και αρχών της νευτώνειας μηχανικής. Τα ερωτηματολόγια αυτά είναι το Mechanics Diagnostic Test (MDT) που δημοσιεύθηκε αρχικά στη διατριβή PhD του καθηγητή Ibrahim Halloun το 1984 και μετά

από ένα χρόνο στο περιοδικό American Journal of Physics σε κοινό άρθρο των Halloun και Hestenes, το Force Concept Inventory (FCI) που δημοσιεύθηκε αρχικά το 1992 στο περιοδικό The Physics Teachers από τους Hestenes, Wells, και Swackhamer και αναθεωρήθηκε το 1995 από τους Halloun, Hake, Mosca, και Hestenes και τέλος το Mechanics Baseline Test (MBT) από τους Hestenes & Wells, το 1992. (Halloun 2006)

Το τεστ IBCM περιλαμβάνει 11 προβλήματα στα οποία αντιστοιχούν 33 ερωτήσεις κινηματικής και δυναμικής. Οι ερωτήσεις είναι πολλαπλής επιλογής και υπάρχει μόνο μια σωστή απάντηση για κάθε ερώτηση. Από τις 33 ερωτήσεις οι 10 βρίσκονται στο MDT και είναι αυτές που είχαν αξιολογηθεί ιδιαίτερα θετικά από τους εκπαιδευτικούς που ασχολήθηκαν με το ερωτηματολόγιο, οι 5 ανήκουν στο MDT και στο FCI ταυτόχρονα, οι 8 μόνο στο FCI, οι 8 είναι νέες ερωτήσεις και τέλος οι 2 βρίσκονται στο MBT. Η επιλογή των ερωτήσεων έγινε με σκοπό το ερωτηματολόγιο να επικεντρωθεί στα δύο βασικά πρότυπα του ελεύθερου σώματος και του ομαλά επιταχυνόμενου σώματος.

Δόθηκε προσοχή σε ζητήματα που δεν απασχολούν ιδιαίτερα τους μαθητές κατά τη συνήθη διδασκαλία και δεν θίγονται σε άλλα ερωτηματολόγια όπως η «κατάσταση της αδράνειας» και ο συνυπολογισμός του ταυτόχρονου στον 3^ο νόμο του Νεύτωνα και στη σύνθεση δυνάμεων που ασκούνται στο ίδιο σώμα. Δεν επικεντρώνεται σε θέματα εξακριβωμένα από την έρευνα όπως στη διερεύνηση της συνοχής των ιδεών των σπουδαστών που γινόταν στα MDT και FCI. Η κάθε ερώτηση αντιμετωπίζει μόνο ένα ζήτημα ώστε να μη προκαλείτε σύγχυση στους μαθητές, παράδειγμα η ερώτηση 2 που εξετάζει μόνο την ανοδική κίνηση.

Στις ερωτήσεις που χρησιμοποιούνται και στα προγενέστερα τεστ έγιναν οι παρακάτω τροποποιήσεις:

α) οι πιθανές απαντήσεις που είχαν χαμηλή δημοτικότητα τροποποιήθηκαν ή αντικαταστάθηκαν από περισσότερο εύλογες εναλλακτικές απαντήσεις

β) επαναδιατυπώθηκαν ερωτήσεις και απαντήσεις για τις οποίες υπήρχαν παράπονα από εκπαιδευτικούς και συμμετέχοντες ότι επιφέρουν απόσπαση προσοχής ή σύγχυση. (Halloun 2006)

3.2 Το δείγμα της έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με μαθητές Α Τάξης Γενικού Λυκείου. Στη συμπλήρωση του τεστ συμμετείχαν όλοι οι μαθητές της Α' Λυκείου (40 κορίτσια και 30 αγόρια). Το ερωτηματολόγιο IBCM δόθηκε στους μαθητές δύο εβδομάδες μετά την ολοκλήρωση των σχετικών εδαφίων από το σχολικό εγχειρίδιο, αφού ολοκληρώθηκε η επαναληπτική προσέγγιση των εννοιών και ενημερώθηκαν για την πραγματοποίηση μιας επαναληπτικής δοκιμασίας καθώς και για τη μορφή των ερωτήσεων. Ο διαθέσιμος χρόνος για να απαντήσουν ήταν περίπου 2 διδακτικές ώρες.

3.3 Στόχοι της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα

Στόχος της έρευνας είναι να διαπιστώσουμε τη συχνότητα εμφάνισης των εναλλακτικών ιδεών καθώς και των επιστημονικά ορθών εννοιών και νόμων της Κινηματικής και της Νευτώνειας Δυναμικής από τους μαθητές της Α' Λυκείου μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής διαδικασίας.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται είναι τα εξής:

- Ποια είναι η σχέση μεταξύ του βαθμού κατανόησης των νόμων του Newton από τους μαθητές της Α' Λυκείου και αυτού των νεοεισαχθέντων φοιτητών του τμήματος Φυσικής και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.
- Χρησιμοποιούνται κοινές εναλλακτικές ιδέες σε καταστάσεις που αφορούν τους νόμους του Newton από τους μαθητές της Α' Λυκείου και από τους πρωτοετείς φοιτητές; Αν ναι πως σχετίζεται η αποδοχή τους;
- Πόσο ενδεικτικά είναι τα αποτελέσματα του τεστ κλειστού τύπου με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής για την ικανότητα των μαθητών στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων και την αντιμετώπιση ερωτήσεων που απαιτούν κριτική σκέψη;
- Με πόση συνέπεια εφαρμόζουν οι μαθητές τις ιδέες τους σε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν όμως στον ίδιο νόμο ή αρχή της φυσικής;

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται μια περίληψη του περιεχομένου του ερωτηματολογίου όπως προέκυψε μετά από μετάφραση και προσαρμογή από τους Καράογλου & Ρίζο το 2007, καθώς και οι απαντήσεις των μαθητών στο ερωτηματολόγιο *Inventory of Basic Conceptions in Mechanics*.

Ομαδοποιούνται οι ερωτήσεις ανάλογα με το νόμο ή με την έννοια που αναφέρονται και επιχειρείται σχολιασμός των αποτελεσμάτων για κάθε ομάδα.

Συγκρίνουμε τα % ποσοστά των σωστών απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις του τεστ που αναφέρονται σε κάθε νόμο του Newton ξεχωριστά, με τα % ποσοστά των σωστών απαντήσεων των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για τον αντίστοιχο νόμο.

Εντοπίζουμε τις κοινές εναλλακτικές ιδέες που εκφράζονται από τους μαθητές της

Α' Λυκείου και από τους πρωτοετείς φοιτητές, σε καταστάσεις που αφορούν τους νόμους του Newton και συγκρίνουμε την αποδοχή τους.

Διερευνούμε την πιθανότητα συσχέτισης μεταξύ της εννοιολογικής κατανόησης όπως καταγράφεται από τα αποτελέσματα του τεστ με την ικανότητα των μαθητών στην επίλυση κλασικών ποσοτικών προβλημάτων.

Εξετάζουμε τη συνέπεια των μαθητών όσον αφορά την εφαρμογή των ιδεών τους σε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν όμως στον ίδιο νόμο ή αρχή.

4.1 Αποτελέσματα για κάθε ερώτηση

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται για κάθε ερώτηση χωριστά. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας SPSS και η ομαδοποίηση των απαντήσεων γίνεται με τη βοήθεια ραβδογραμμάτων που προέκυψαν με το πρόγραμμα Microsoft Office Excel. Κάθε ραβδόγραμμα περιέχει τις απαντήσεις για όλες τις ερωτήσεις του προβλήματος που εξετάζεται κατανεμημένες σε τέσσερις στήλες. Η πρώτη στήλη παρουσιάζει το % ποσοστό των μαθητών που απάντησαν σωστά στην ερώτηση, η δεύτερη στήλη το %

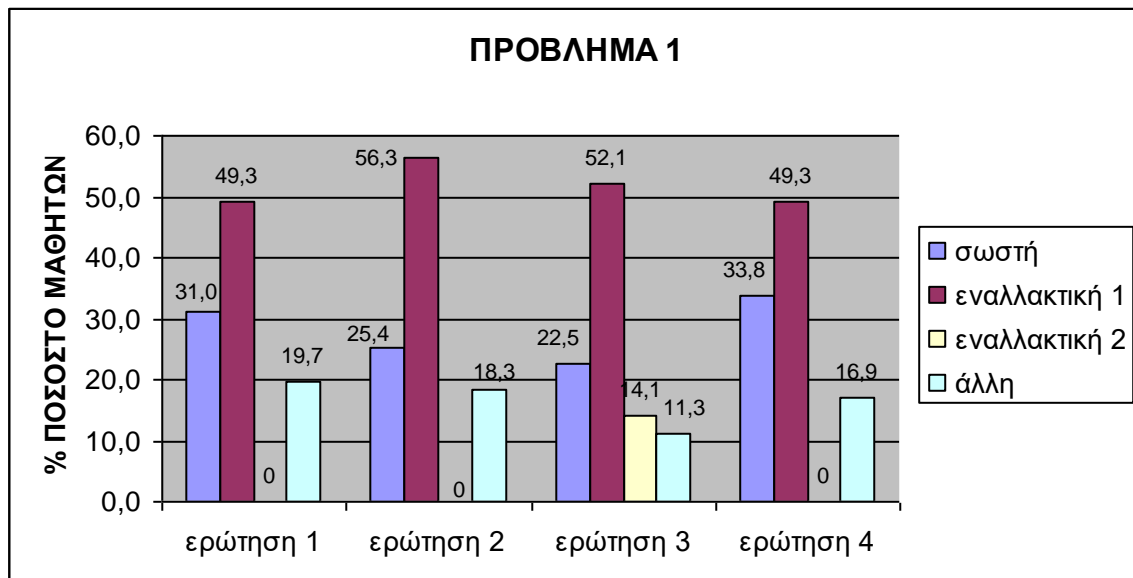
ποσοστό των μαθητών που επέλεξε την πιο δημοφιλή εναλλακτική ιδέα, η τρίτη στήλη υπάρχει στις ερωτήσεις που εμφανίζεται και άλλη αντίληψη αρκετά διαδεδομένη στους μαθητές (σε ποσοστό τουλάχιστο 10%), και τέλος η τελευταία στήλη περιλαμβάνει όλες τις υπόλοιπες απαντήσεις. Ακολουθεί ανάλυση των αποτελεσμάτων και σχολιασμός των απαντήσεων για κάθε ερώτηση.

Η ερώτηση 14 εξαιρέθηκε λόγω προβλήματος που εντοπίστηκε στις πιθανές απαντήσεις.

Πρόβλημα 1: Μελετά την κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω κίνηση μιας πέτρας μετά από την εκτόξευση της από ένα σημείο P.

Στο πρόβλημα αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 1 ως 4.

Στο σχήμα 1 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 1: Οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του πρώτου προβλήματος.

Ερώτηση 1 : Σύγκριση των ταχυτήτων κατά την άνοδο της πέτρας καθώς αυτή διέρχεται από δύο σημεία Q και R με το σημείο Q να βρίσκεται στο μέσο της απόστασης PR ($PQ=QR$).

Η ερώτηση αναφέρεται στον τρόπο μεταβολής της ταχύτητας ενός ομαλά επιταχυνόμενου σώματος σε συνάρτηση με την μετατόπιση του.

Το 31% των μαθητών απάντησε σωστά ότι η ταχύτητα της πέτρας στο σημείο R είναι μικρότερη από την ταχύτητα που είχε στο σημείο Q αλλά όχι η μισή.

Οι μισοί όμως μαθητές, σε ποσοστό 49,3%, θεωρούν ότι το μέτρο της ταχύτητας στο σημείο R είναι το μισό από την ταχύτητα που είχε η πέτρα Q. Δηλαδή επικρατεί η ιδέα ότι στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση η μεταβολή της ταχύτητας είναι ανάλογη με την απόσταση που διανύει το κινούμενο σώμα.

Σημειώνουμε ότι στην ερώτηση αυτή δεν απάντησε ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό μαθητών της τάξης του 10%.

Οι άλλες απαντήσεις δεν μπορούν να ερμηνευθούν.

Ερώτηση 2: Αναφέρεται στις δυνάμεις που ενεργούν στην πέτρα κατά την άνοδο της.

Η ερώτηση ανιχνεύει τις ιδέες των μαθητών όσον αφορά την εμφάνιση των δυνάμεων ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του κινούμενου σώματος με ένα παράγοντα και τη σύνδεση της δύναμης με την κίνηση.

Το 25,4% των μαθητών απαντά σωστά ότι στην πέτρα ασκείται μόνο μια σχεδόν σταθερή κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω δύναμη από τη Γη, εξ' αιτίας της αλληλεπίδρασης της με τη Γη.

Οι περισσότεροι μαθητές όμως 56,3%, υποστηρίζουν ότι ασκούνται δύο δυνάμεις με μέτρο που μειώνεται συνεχώς, μια κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω και μια κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω που ασκείται από τη Γη. Πιστεύουν στην αριστοτελική άποψη ότι για να υπάρχει κίνηση είναι απαραίτητη η ύπαρξη δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνηση με μέτρο ανάλογο της ταχύτητας της πέτρας. Έτσι επιλέγουν και μια κατακόρυφη δύναμη με φορά προς τα πάνω η οποία πιθανόν αποθηκεύεται στο σώμα κατά τη διαδικασία της εκτόξευσης (impetus), στη διάρκεια της κίνησης όμως καταναλώνεται, και μηδενίζεται όπως και η ασκούμενη από τη Γη δύναμη όταν μηδενίζεται και η ταχύτητα. Η τελευταία παρατήρηση φανερώνει και την ύπαρξη της αναλογίας μεταξύ της ταχύτητας του σώματος και της εφαρμοζόμενης σε αυτό δύναμης

που έχει διαπιστωθεί και από πλήθος άλλων ερευνών και αποτελεί χαρακτηριστική εναλλακτική ιδέα μαθητών και φοιτητών σχετικά με τη δύναμη και την κίνηση.

Στις άλλες απαντήσεις με ίδιο ποσοστό 8,5%, ανήκουν και οι μαθητές που υποστηρίζουν ότι στην πέτρα ασκούνται οι δύο προηγούμενες δυνάμεις με σχεδόν σταθερό μέτρο καθώς και αυτοί που επιλέγουν το μέτρο της προς τα πάνω δύναμης να ελαττώνεται ενώ της δύναμης από τη Γη να παραμένει σταθερό.

Παρατηρούμε λοιπόν από μεγάλο ποσοστό μαθητών την ιδέα της εμφάνισης μιας κατακόρυφης με φορά προς τα πάνω δύναμης (με τη μορφή *impetus*) χωρίς να υπάρχει αλληλεπίδραση της πέτρας με κάποιο παράγοντα.

Ερώτηση 3: Τι συμβαίνει με την ταχύτητα και την επιτάχυνση της πέτρας τη στιγμή που φτάνει στο ανώτερο σημείο της τροχιάς της;

Η ερώτηση εξετάζει την κατανόηση καθώς και τη δυνατότητα διάκρισης από τους μαθητές των εννοιών της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Λίγοι είναι οι μαθητές (22,5%), που αναγνωρίζουν ότι στο σημείο αυτό η ταχύτητα μηδενίζεται στιγμιαία ενώ η επιτάχυνση της πέτρας παραμένει σταθερή.

Μεγάλο ποσοστό μαθητών, 66,2%, πιστεύει ότι δεν μπορεί να υπάρχει επιτάχυνση όταν η ταχύτητα γίνεται μηδέν. Από αυτούς το 52,1% θεωρεί ότι μηδενίζονται στιγμιαία η επιτάχυνση και η ταχύτητα, και το 14,1% ότι η ταχύτητα και η επιτάχυνση παραμένουν μηδέν για λίγο χρόνο θεωρώντας ότι η πέτρα σταματά για λίγο στο ανώτερο σημείο της τροχιάς της, συγχέοντας τις έννοιες στιγμιαία και λίγος χρόνος.

Η επιτάχυνση συνδέεται στη σκέψη των μαθητών με την αύξηση της ταχύτητας είναι επομένως δύσκολο να αποδώσουν επιτάχυνση τη στιγμή που το σώμα είναι ακίνητο.

Μερικοί από τους παραπάνω μαθητές πιστεύουν ότι σε αυτό το σημείο δεν ασκούνται δυνάμεις ενώ άλλοι δεν μπορούν να διακρίνουν την έννοια της ταχύτητας και της επιτάχυνσης.

Ερώτηση 4: Σύγκριση των μέτρων των ταχυτήτων της πέτρας όταν περνάει από το σημείο Q κατά την άνοδο και την κάθοδο της.

Ένας στους τρεις μαθητές, ποσοστό 33,8% αναγνωρίζει τη σωστή απάντηση ότι το μέτρο της ταχύτητας της πέτρας είναι το ίδιο όταν περνά από το ίδιο σημείο. Σχεδόν το σύνολο των παραπάνω μαθητών χρησιμοποίησαν την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας για να καταλήξουν στην απάντηση.

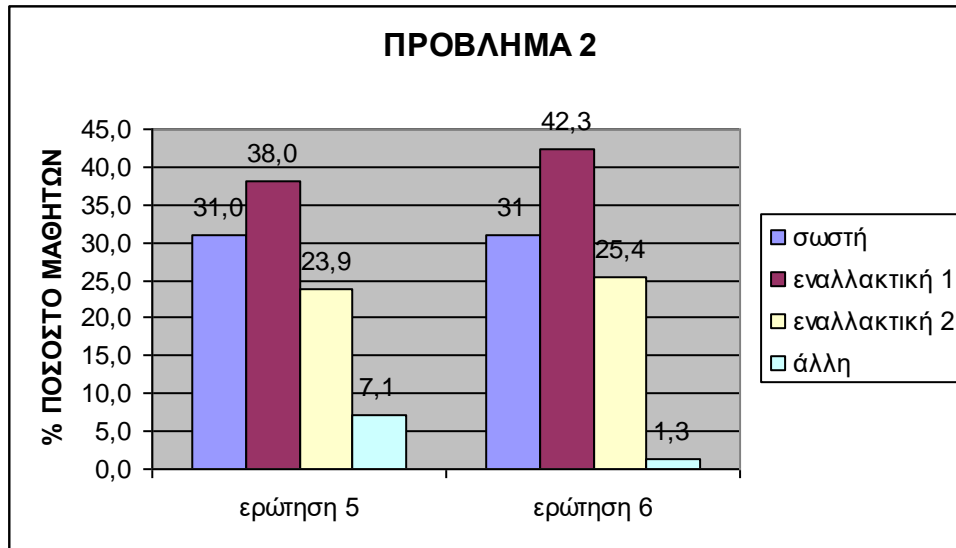
Οι μισοί όμως μαθητές σε ποσοστό 49,3%, διατυπώνουν την άποψη ότι το μέτρο της ταχύτητας της πέτρας είναι μεγαλύτερο στην κάθοδο. Αυτή η εντύπωση οφείλεται στην πεποίθηση των μαθητών για την αναλογία κινούσας δύναμης και ταχύτητας και το συλλογισμό ότι η κινούσα δύναμη είναι μεγαλύτερη στην κάθοδο.

Ένα ποσοστό μαθητών 8,5% που βρίσκεται στις άλλες απαντήσεις υποστηρίζει την άποψη ότι εξαρτάται πόσο ψηλότερα βρίσκεται το ανώτερο σημείο της τροχιάς από το σημείο R η οποία δεν μπορεί να ερμηνευθεί.

Πρόβλημα 2: Ταυτόχρονη ελεύθερη πτώση δύο όμοιων μεταλλικών σφαιρών χωρίς αρχική ταχύτητα και από το ίδιο ύψος (οροφή ψηλού κτιρίου), με τη μια να έχει διπλάσιο βάρος από την άλλη.

Το πρόβλημα διαπραγματεύεται μια κίνηση με σταθερή επιτάχυνση όπου το χρονικό διάστημα της πτώσης και η μεταβολή της ταχύτητας είναι ανεξάρτητα από το βάρος του σώματος. Ελέγχουμε την ισχύ της πολύ διαδεδομένης εναλλακτικής ιδέας: «Τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα με μεγαλύτερη ταχύτητα».

Το πρόβλημα πλαισιώνεται από τις ερωτήσεις 5 και 6. Στο σχήμα 2 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 2: Οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του δεύτερου προβλήματος.

Ερώτηση 5: Σύγκριση των χρόνων πτώσης των δύο σφαιρών.

Το 31% των μαθητών απαντούν σωστά ότι ο χρόνος πτώσης των δύο σφαιρών που πέφτουν με επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας είναι ίδιος διότι είναι ανεξάρτητος από τη μάζα τους και εξαρτάται μόνο από την απόσταση τους από το έδαφος.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών 61,9%, συνδέουν το χρόνο πτώσης των σφαιρών με το βάρος τους. Από αυτούς το 38% συμφωνούν με την αριστοτελική αντίληψη και θεωρούν ότι ο χρόνος πτώσης για τη σφαίρα με το διπλάσιο βάρος είναι ο μισός σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για την πτώση της άλλης, δηλαδή ο χρόνος πτώσης γι' αυτούς είναι αντιστρόφως ανάλογος του βάρους. Η άποψη τους στηρίζεται στη σχέση αναλογίας που θεωρούν ότι υπάρχει μεταξύ της εφαρμοζόμενης δύναμης και της ταχύτητας του σώματος με αποτέλεσμα η σφαίρα με διπλάσιο βάρος να κινείται με διπλάσια ταχύτητα άρα να φθάνει στο έδαφος στο μισό χρόνο σε σχέση με την ελαφρύτερη. Το υπόλοιπο ποσοστό μαθητών 23,9% , υποστηρίζουν ότι χρειάζεται μεγαλύτερο χρόνο η πιο ελαφριά σφαίρα αλλά όχι διπλάσιο, αυτοί συνδέουν το βάρος με

το χρόνο πτώσης με τη λογική όσο μεγαλύτερο βάρος τόσο μικρότερος χρόνος, άλλα όχι με σχέση αντίστροφα ανάλογου όπως οι προηγούμενοι.

Τέλος ένα μικρό ποσοστό μαθητών πιστεύουν ότι ο χρόνος πτώσης της ελαφρύτερης σφαίρας είναι μεγαλύτερος ή ίσος από αυτόν της βαρύτερης ανάλογα με το ύψος από το οποίο πέφτουν. Η άποψη αυτή παραβλέπει την επισήμανση της εκφώνησης για το ψηλό κτίριο και βασίζεται στην πιθανότητα οι δύο σφαίρες να μην προλάβουν να διαφοροποιήσουν τους χρόνους πτώσης τους λόγω του μικρού σχετικά ύψους από το οποίο πέφτουν.

Ερώτηση 6: Πώς μεταβάλλονται οι ταχύτητες των σφαιρών κατά την πτώση τους;

Το 31% των μαθητών απαντά σωστά, σκεπτόμενοι ότι η ταχύτητα για μια κίνηση με σταθερή επιτάχυνση αυξάνεται ανεξάρτητα από τη μάζα του σώματος και επειδή οι χρόνοι πτώσης είναι ίσοι οι σφαίρες φθάνουν στο έδαφος με την ίδια ταχύτητα.

Το 67,7% των μαθητών συνδέουν το βάρος της σφαίρας με την ταχύτητα που αυτή αποκτά.

Οι περισσότεροι μαθητές σε ποσοστό 42,3% συμφωνούν με την άποψη ότι η ταχύτητα κάθε σφαίρας αρχικά αυξάνεται μετά παραμένει σταθερή και τελικά η πιο βαριά φθάνει στο έδαφος με μεγαλύτερη ταχύτητα. Η άποψη αυτή στηρίζεται στην αναλογία δύναμης – ταχύτητας (αρχικά έχουμε αύξηση της ταχύτητας ως ότου επιτευχθεί μια τιμή ανάλογη με το βάρος της κάθε σφαίρας).

Ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών 25,4% δηλώνουν ότι η ταχύτητα κάθε σφαίρας αυξάνεται συνεχώς, συνδέοντας όμως το βάρος με την ταχύτητα θεωρούν ότι η σφαίρα μεγαλύτερου βάρους θα φθάσει στο έδαφος με μεγαλύτερη ταχύτητα.

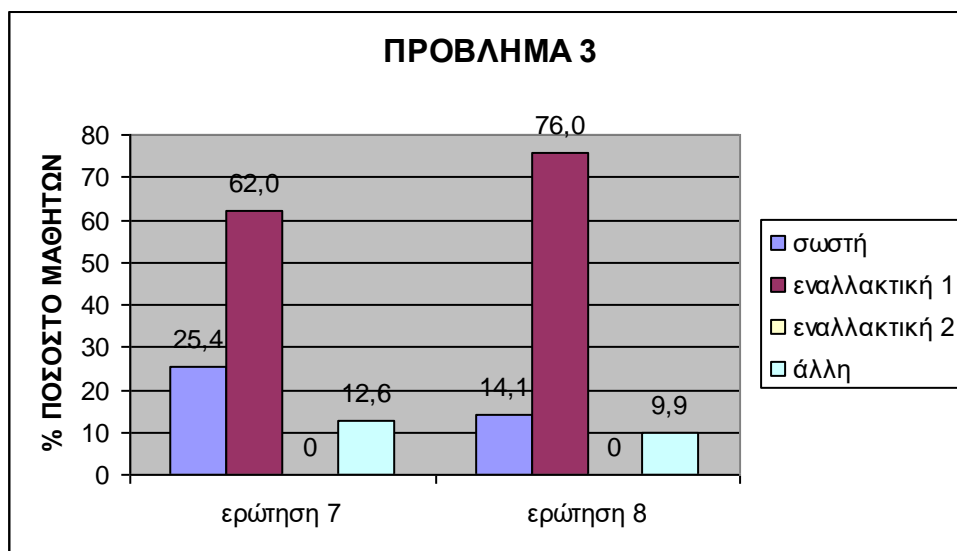
Σε κάθε περίπτωση κυριαρχεί η διαισθητική αντίληψη ότι τα βαριά σώματα πέφτουν γρηγορότερα και με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Πρόβλημα 3: Δίνονται οι διαδοχικές θέσεις δύο τούβλων που κινούνται προς τα δεξιά, και το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων 0,2 δευτερόλεπτα. Στο

πρόβλημα αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 7 και 8 με διαφορετικό όμως σχήμα για την κάθε μια.

Οι ερωτήσεις του προβλήματος ανιχνεύουν την ικανότητα των μαθητών να διακρίνουν την έννοια της θέσης από την ταχύτητα και την έννοια της ταχύτητας από την επιτάχυνση.

Στο σχήμα 3 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών σε κάθε ερώτηση του προβλήματος.



Σχήμα 3: Οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του τρίτου προβλήματος.

Ερώτηση 7: Πότε θα έχουν τα δύο τούβλα την ίδια ταχύτητα;

Μόλις το 25,4% των μαθητών επιλέγει τη σωστή απάντηση ότι τα δύο τούβλα έχουν την ίδια ταχύτητα όταν κινούνται μεταξύ των θέσεων 3 και 4, δηλαδή διακρίνουν τις έννοιες θέση και ταχύτητα και εφαρμόζουν σωστά τη σχέση από την οποία προκύπτει το μέτρο της ταχύτητας.

Η πλειοψηφία των μαθητών σε ποσοστό 62% επιλέγει την περίπτωση κατά την οποία τα δύο τούβλα βρίσκονται την ίδια χρονική στιγμή στην ίδια θέση, (όταν βρίσκονται στις θέσεις 2 και 5). Εκφράζουν την εναλλακτική ιδέα ότι όταν δύο σώματα σε κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση σε δεδομένο αδρανειακό σύστημα αναφοράς και

βρίσκονται την ίδια χρονική στιγμή στην ίδια θέση θα έχουν και την ίδια ταχύτητα. Η ιδέα βασίζεται στη βιοματική εμπειρία όπου όταν ένα αυτοκίνητο επιταχύνει και φθάνει ένα άλλο προπορευόμενο, δημιουργείται ο συλλογισμός «εφόσον το έφθασε θα έχει επιτύχει και την ίδια ταχύτητα με το αρχικά προπορευόμενο αυτοκίνητο.

Οι υπόλοιποι μαθητές δηλώνουν την προτίμηση τους μεμονωμένα στη θέση 2 ή τη θέση 5, επιλογή που δεν μπορεί να εξηγηθεί.

Ερώτηση 8: Να συγκριθούν οι επιταχύνσεις των δύο τούβλων (τα ονομάζουμε P και Q).

Παρατηρούμε ότι ελάχιστοι μαθητές σε ποσοστό μόλις 14,1% απαντούν σωστά ότι οι επιταχύνσεις των δύο τούβλων είναι ίσες και το μέτρο τους είναι μηδέν.

Οι 3 στους 4 μαθητές ποσοστό 76%, επιλέγουν την απάντηση: «η επιτάχυνση του P είναι μικρότερη από την επιτάχυνση του Q». Επικρατεί σύγχυση σχετικά με τις έννοιες ταχύτητα και επιτάχυνση, δεν διερευνούν αν υπάρχει επιτάχυνση, και βλέποντας ότι το τούβλο Q κινείται ταχύτερα, διανύοντας μεγαλύτερη απόσταση από το τούβλο P στον ίδιο χρόνο, συμπεραίνουν ότι το Q θα έχει και τη μεγαλύτερη τιμή επιτάχυνσης.

Η ίδια σύγχυση μεταξύ των εννοιών επικρατεί και στους υπόλοιπους μαθητές αφού παρατηρώντας τα δύο τούβλα να βρίσκονται στην ίδια θέση την ίδια χρονική στιγμή (θέση 2) δηλώνουν ότι υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες οι δύο επιταχύνσεις είναι ίσες και στιγμές που δεν είναι.

Από τις απαντήσεις των μαθητών παρατηρούμε ότι ελάχιστοι είναι αυτοί που διακρίνουν τις έννοιες θέση - ταχύτητα και ταχύτητα - επιτάχυνση. Από τους 18 μαθητές που κατάφεραν να απαντήσουν σωστά για την ταχύτητα στην ερώτηση 7 μόνο οι 2 απαντούν σωστά και στην ερώτηση 8 για την επιτάχυνση των δύο σωμάτων.

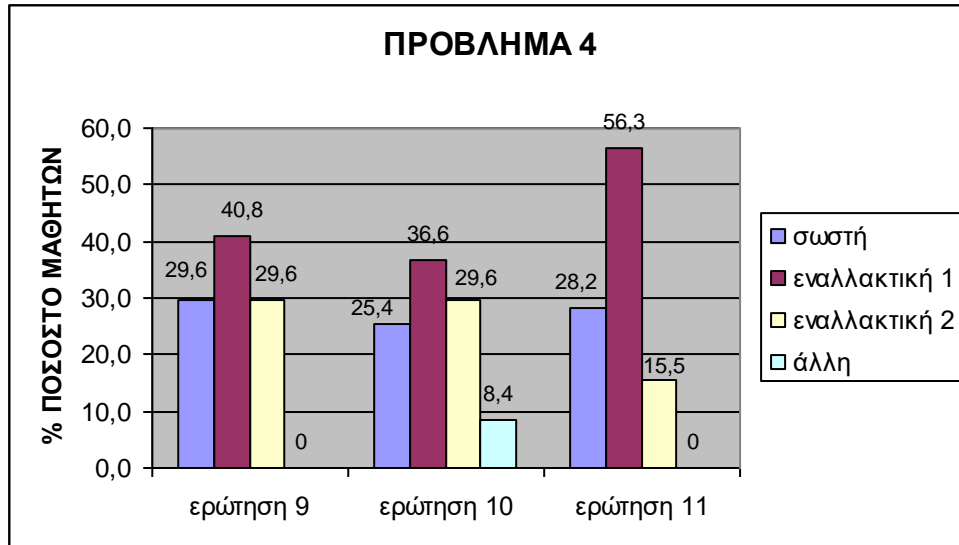
Πρόβλημα 4: Εξετάζει την τροχιά μιας μπίλιας όταν αυτή εξέρχεται από κανάλι σχήματος τεταρτοκύκλιου.

Το κανάλι είναι στερεωμένο στην επιφάνεια οριζόντιου τραπεζιού, η μπίλια ολισθαίνει με μεγάλη ταχύτητα χωρίς τριβές.

Οι ερωτήσεις του προβλήματος διερευνούν την κατανόηση του νόμου της αδράνειας καθώς και την επίδραση του παρελθόντος μιας κίνησης στον τρόπο εξέλιξης της.

Στο πρόβλημα αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 9, 10 και 11.

Στο σχήμα 4 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στο πρόβλημα 4.



Σχήμα 4: Οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του τέταρτου προβλήματος.

Ερώτηση 9: Να γίνει επιλογή της τροχιάς που μοιάζει με αυτή της μπίλιας καθώς εξέρχεται από το κανάλι.

Οι μαθητές σε ποσοστό 29,6% επιλέγουν τη σωστή ευθύγραμμη τροχιά μετά την έξοδο της μπίλιας από το κυκλικό κανάλι.

Οι περισσότεροι όμως, ποσοστό 70,4%, επιλέγουν μια κυκλική κίνηση, σχεδόν τέλεια κυκλική κίνηση (ποσοστό 40,8%), ή μια τάση για κυκλική κίνηση η οποία εξασθενεί με αποτέλεσμα η τροχιά της μπίλιας να καμπυλώνει προς τα αριστερά και σταδιακά να μετατρέπεται σε ευθεία γραμμή (ποσοστό 29,6%). Παρατηρούμε την πλειονότητα των μαθητών να εκφράζει την εναλλακτική ιδέα για μια δύναμη κίνησης (κυκλική impetus), η οποία αποθηκεύεται στη μπίλια και είτε παραμένει αναλλοίωτη

οπότε μετά την έξοδο της από το κυκλικό κανάλι η μπίλια εκτελεί κυκλική τροχιά, είτε ελαττώνεται σταδιακά και η τροχιά από καμπύλη μετατρέπεται σε ευθεία.

Ερώτηση 10: Πως μεταβάλλεται το μέτρο της ταχύτητας της μπίλιας κατά μήκος της τροχιάς της εκτός καναλιού;

Οι σωστές επιλογές για διατήρηση σταθερού μέτρου στην ταχύτητα κατά μήκος της τροχιάς της μπίλιας εκτός καναλιού ανήκουν στο 25,4% των μαθητών. Από τους 18 μαθητές που απάντησαν σωστά μόνο οι 7 προέρχονται από αυτούς που είχαν δώσει σωστή απάντηση και στην προηγούμενη ερώτηση οπότε δέχονται σταθερό το διάνυσμα της ταχύτητας λόγω μη αλληλεπίδρασης της μπίλιας με άλλους παράγοντες. Οι υπόλοιποι 11 μαθητές που απάντησαν σωστά ανήκουν σε αυτούς που είχαν επιλέξει στην προηγούμενη ερώτηση τη συνέχιση της κυκλικής τροχιάς της μπίλιας έξω από το κυκλικό κανάλι. Αυτοί δέχονται ότι με την επίδραση της αποθηκευμένης στη μπίλια δύναμης το μέτρο της ταχύτητας παραμένει σταθερό βάση της εναλλακτικής ιδέας που στηρίζεται στην αναλογία μεταξύ δύναμης – ταχύτητας.

Το 36,6% των μαθητών υποστηρίζει ότι το μέτρο της ταχύτητας της μπίλιας μετά την έξοδο από το κυκλικό κανάλι συνεχώς ελαττώνεται. Εδώ ανήκουν και οι περισσότεροι από τους μαθητές που απάντησαν σωστά στην προηγούμενη ερώτηση (11 από τους 21) διότι διακατέχονται από την εναλλακτική ιδέα ότι χωρίς την επίδραση δύναμης η μπίλια επιβραδύνεται και τελικά σταματά.

Τέλος εμφανίζεται και ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό μαθητών 29,6% που απαντά ότι το μέτρο της ταχύτητας παραμένει σταθερό για λίγο και μετά ελαττώνεται. Εδώ ανήκουν οι περισσότεροι (15 από τους 21) από τους μαθητές που επέλεξαν στην προηγούμενη ερώτηση την τροχιά που καμπυλώνει αριστερά και σταδιακά μετατρέπεται σε ευθεία δηλαδή αυτοί που πιστεύουν στην ύπαρξη μιας δύναμης που καταναλώνεται με το χρόνο.

Ερώτηση 11: Δυνάμεις που ενεργούν στη μπίλια όταν κινείται κατά μήκος της τροχιάς της εκτός καναλιού. (Η ερώτηση περιλαμβάνει μια λίστα δυνάμεων:

F_1 οριζόντια δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης,

F_2 κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω δύναμη ασκούμενη από τη Γη,
 F_3 κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω δύναμη ασκούμενη από το τραπέζι)

Το 28,2% των μαθητών απαντά σωστά επιλέγοντας τις δυνάμεις F_2 , και F_3 , οι 14 από τους 20 μαθητές που επιλέγουν τη σωστή απάντηση είχαν δεχτεί την ευθύγραμμη τροχιά για τη μπίλια στην ερώτηση 9 .

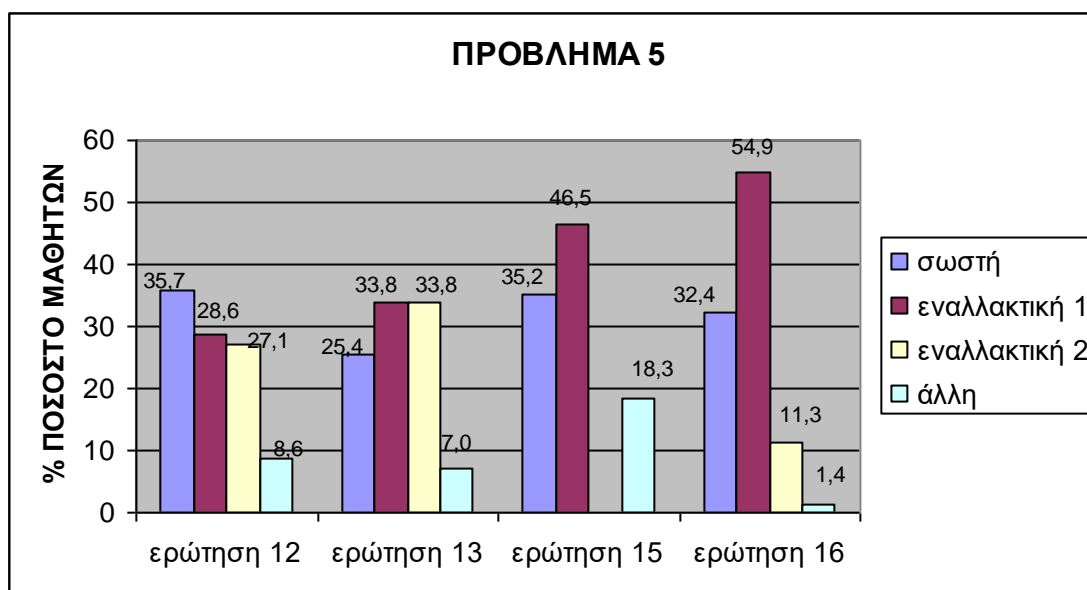
Οι υπόλοιποι μαθητές θεωρούν απαραίτητη μια δύναμη πάνω στην κατεύθυνση της κίνησης. Οι περισσότεροι από αυτούς, σε ποσοστό 56,3%, επιλέγουν τις F_1 , και F_2 . Αυτοί είναι οι μαθητές που πιστεύουν στην ύπαρξη μιας οριζόντιας δύναμης στην κατεύθυνση της κίνησης η οποία στοχεύει να συντηρήσει το είδος της τροχιάς και το μέτρο της ταχύτητας και ταυτόχρονα δεν αναγνωρίζουν ως δύναμη την αντίδραση του τραπεζιού. Παρατηρούμε λοιπόν και την εμφάνιση της εναλλακτικής ιδέας ότι το τραπέζι απλώς παρεμβάλλεται ως εμπόδιο και συγκρατεί τη μπίλια, πιθανώς διότι για πολλούς μόνο τα έμψυχα σώματα μπορούν να ασκούν δυνάμεις.

Εμφανίζεται τέλος ένα 15,5% των μαθητών που επιλέγουν και τις τρεις δυνάμεις.

Πρόβλημα 5: Στο πρόβλημα αντιστοιχούν η ερώτηση 12 που αναφέρεται σε μια μπάλα του μπόουλινγκ η οποία αφήνεται να πέσει ελεύθερα από αεροπλάνο που πετά σε οριζόντια τροχιά (η αντίσταση του αέρα θεωρείται αμελητέα), και οι ερωτήσεις 13, 14, 15 και 16 που αναφέρονται σε ένα μεταλλικό δίσκο που εκτοξεύεται οριζόντια από την άκρη της ταράτσας ενός διάροφου κτιρίου με μεγάλη ταχύτητα v_0 .

Το πρόβλημα εξετάζει τη σύνθεση των κινήσεων και την αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων. Η μελέτη και ανάλυση της ερώτησης 14 παραλείφθηκε λόγω προβλήματος που παρουσιάστηκε στις πιθανές απαντήσεις της ερώτησης.

Στο σχήμα 5 βλέπουμε τις απαντήσεις των μαθητών στις παραπάνω ερωτήσεις.



Σχήμα 5: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του πέμπτου προβλήματος

Ερώτηση 12: Αναφέρεται στη τροχιά που διαγράφει η μπάλα αφού φύγει από το αεροπλάνο, σύμφωνα με ένα ακίνητο παρατηρητή στο έδαφος.

Ένας στους τρεις περίπου μαθητές, σε ποσοστό 35,7%, επιλέγουν τη σωστή παραβολική τροχιά για τη μπάλα.

Το 28,6% των μαθητών επιλέγουν την κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω, τροχιά Β. Οι παραπάνω μαθητές είναι σε συμφωνία με την αντίληψη ότι απουσία δύναμης δεν υπάρχει κίνηση και έτσι αποκλείουν οποιαδήποτε οριζόντια συνιστώσα κίνησης και επιλέγουν τροχιά προς την κατεύθυνση της δύναμης του βάρους.

Οι μαθητές σε ποσοστό 27,1% επιλέγουν την τροχιά Δ. Προτιμούν τη γραμμική τροχιά ως το αποτέλεσμα του συνδυασμού της αρχικής impetus και της ασκούμενης δύναμης του βάρους.

Τέλος το 8,6% των μαθητών που εμφανίζονται στις άλλες απαντήσεις επιλέγουν την τροχιά Γ, αυτοί δεν μπορούν να κάνουν σύνθεση των δύο κινήσεων που εκτελεί η μπάλα, ανι' αυτού πιστεύουν ότι κατ' αρχήν η μπάλα κινείται οριζόντια μέχρι να καταναλωθεί η εσωτερική δύναμη (impetus) που είχε αποθηκευτεί σε αυτή και μετά πέφτει κατακόρυφα χωρίς αρχική ταχύτητα.

Ερώτηση 13: Αναφέρεται στην επιλογή της τροχιάς που διαγράφει ο δίσκος μετά την εκτόξευσή του.

Το 25,4% των μαθητών επιλέγει τη σωστή παραβολική τροχιά Β.

Οι μαθητές σε ποσοστό 33,8%, συμφωνούν με την τροχιά Ε που χωρίζει τις δύο κινήσεις σε οριζόντια ως ότου καταναλωθεί η εσωτερική δύναμη (impetus) που είναι αποθηκευμένη στο δίσκο μετά την εκτόξευσή του, και σε μια ελεύθερη πτώση που ακολουθεί. Αυτοί οι μαθητές από τις όμοιες τροχιές Γ και Ε επιλέγουν την Ε λόγω της μεγάλης αρχικής ταχύτητας που αναφέρεται στην εκφώνηση και μη λαμβάνοντας υπόψη τους την αντίσταση του αέρα αφού έτσι γίνεται στο σύνολο των σχολικών ασκήσεων.

Το ίδιο ποσοστό με τους παραπάνω μαθητές 33,8% , επιλέγει την ευθύγραμμη τροχιά Α. Αυτοί προσπαθώντας να κάνουν σύνθεση των κινήσεων επιλέγουν τροχιά που θεωρείται αποτέλεσμα του συνδυασμού της αρχικής impetus και της ασκούμενης δύναμης του βάρους.

Ερώτηση 15: Μεταβολή του μέτρου της ταχύτητας του δίσκου κατά μήκος της τροχιάς του.

Το 35,2% των μαθητών απαντούν σωστά ότι το μέτρο της ταχύτητας του δίσκου αυξάνεται συνεχώς σε όλη τη διαδρομή.

Ποσοστό 46,5% από τους μαθητές υποστηρίζουν την εναλλακτική ιδέα σύμφωνα με την οποία το μέτρο της ταχύτητας αυξάνεται για ένα χρονικό διάστημα και μετά παραμένει σταθερό. Η αιτιολόγηση της άποψης αυτής περιλαμβάνει την κατ' αρχή αύξηση της ταχύτητας λόγω της βαρύτητας και μετά η ταχύτητα παραμένει σταθερή ανάλογη του βάρους.

Στις άλλες απαντήσεις ποσοστό 18,3%, βρίσκονται οι μαθητές που απαντούν πως το μέτρο της ταχύτητας παραμένει σταθερό σε όλη τη διαδρομή, μένοντας πιστοί στην αναλογία της δύναμης με την ταχύτητα, και αυτοί που υποστηρίζουν ότι παραμένει σταθερό για ένα χρονικό διάστημα και μετά αυξάνεται.

Ερώτηση 16: Τη στιγμή που εκτοξεύεται οριζόντια ο δίσκος ένας άλλος όμοιος με τον πρώτο ελευθερώνεται χωρίς αρχική ταχύτητα από την άλλη άκρη της ταράτσας και πέφτει στο έδαφος. Να συγκριθούν οι χρόνοι που απαιτούνται για την πτώση των δύο δίσκων στο έδαφος. Η αντίσταση του αέρα να θεωρηθεί αμελητέα.

Οι μαθητές απαντούν σωστά δηλώνοντας ότι οι δυο χρόνοι είναι ίσοι σε ποσοστό 32,4%.

Η πλειοψηφία των μαθητών σε ποσοστό 54,9% ισχυρίζονται ότι ο δεύτερος δίσκος απαιτεί μικρότερο χρόνο για την πτώση του στο έδαφος. Οι μαθητές αυτοί αδυνατούν να κατανοήσουν την ανεξαρτησία των κινήσεων και θεωρούν το διανυόμενο διάστημα ανάλογο με το χρόνο κίνησης.

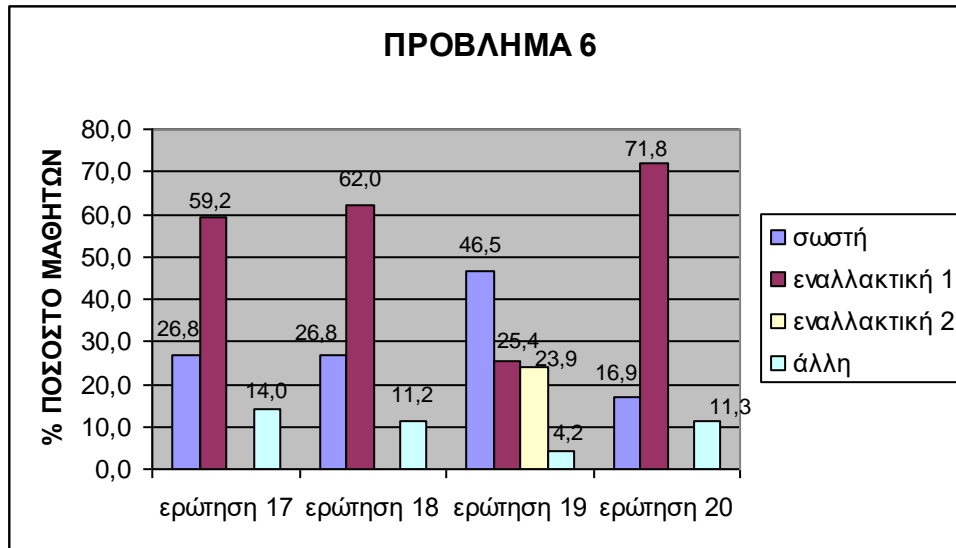
Τέλος ένα ποσοστό 11,3% από τους μαθητές υποστηρίζουν ότι ο δεύτερος δίσκος χρειάζεται μικρότερο ή ίσο χρόνο με τον πρώτο δίσκο ανάλογα με το ύψος του κτιρίου, άποψη που δε μπορεί να αιτιολογηθεί.

Πρόβλημα 6: Αναφέρεται σε λείο μικρό δίσκο του χόκεϋ που γλιστρά χωρίς τριβές και σε ορισμένη κατεύθυνση πάνω σε οριζόντιο επίπεδο πάτωμα. Δεδομένα είναι ότι πάνω στο δίσκο ασκούνται δύο σταθερές δυνάμεις \mathbf{F} , και \mathbf{F}' διαφορετικών μέτρων, καθώς και η κατεύθυνση της δύναμης \mathbf{F} .

Οι ερωτήσεις του προβλήματος αναφέρονται στη σύνθεση των δυνάμεων, και στο δεύτερο νόμο του Newton και στη σχέση της κίνησης με τη δύναμη.

Στο πρόβλημα 6 αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 17, 18, 19, και 20.

Στο σχήμα 6 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 6: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 6.

Ερώτηση 17: Ζητείται η κατεύθυνση της δύναμης F' , ώστε ο δίσκος να κινείται στην κατεύθυνση που έχει οριστεί.

Οι μαθητές σε ποσοστό 26,8% επιλέγουν σωστά η κατεύθυνση της κίνησης να βρίσκεται πάνω στο διάνυσμα που προκύπτει ως άθροισμα των F , και F' .

Περισσότεροι από τους μισούς μαθητές, σε ποσοστό 59,2%, τοποθετούν πάνω στην κατεύθυνση της κίνησης το μεγαλύτερο διάνυσμα της δύναμης που είναι η F' , σύμφωνοι με την εναλλακτική ιδέα που επιτάσσει την κίνηση να γίνεται προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης δύναμης.

Στις άλλες απαντήσεις υπάρχει επίσης και ένα ποσοστό μαθητών 8,5%, που λόγω σύγχυσης τοποθετεί το διάνυσμα της F' έτσι ώστε να ικανοποιείται ο κανόνας του παραλληλογράμμου με τρόπο που η F' να είναι το διανυσματικό άθροισμα της F και του διανύσματος της κατεύθυνσης της κίνησης.

Ερώτηση 18: Εξετάζει το πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα του δίσκου όταν ασκούνται σε αυτόν ταυτόχρονα οι δύο σταθερές δυνάμεις σε όλη τη διαδρομή του.

Το 26,8% των μαθητών απαντά σωστά επιλέγοντας ότι το μέτρο της ταχύτητας αυξάνεται συνεχώς.

Η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών, σε ποσοστό 62%, δηλώνουν ότι η ταχύτητα αυξάνεται για λίγο και παραμένει σταθερή μετά. Τοποθετούν την αύξηση του μέτρου τη στιγμή της επίδρασης των δυνάμεων πάνω δίσκο και κατόπι το μέτρο παραμένει σταθερό σε συμφωνία με την εναλλακτική ιδέα: «Σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή ταχύτητα ανάλογη με αυτή».

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές επιλέγουν σταθερή ταχύτητα συμφωνώντας με την εναλλακτική ιδέα ότι η σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή ταχύτητα (αναλογία δύναμης – ταχύτητας).

Ερώτηση 19: Με δεδομένο να διατηρήσει ο δίσκος την αρχική τροχιά του και την ταχύτητα που επιλέχθηκε στην ερώτηση 18, να εξεταστούν οι παρακάτω επιλογές για τις δυνάμεις \mathbf{F} , και \mathbf{F}' που ασκούνται σε αυτόν.

1. Οι δυνάμεις \mathbf{F} , και \mathbf{F}' ασκούνται μαζί συνεχώς πάνω στο δίσκο.
2. Οι δυνάμεις \mathbf{F} , και \mathbf{F}' ασκούνται μαζί πάνω στο δίσκο μέχρι ένα ορισμένο σημείο και μετά ο δίσκος κινείται χωρίς την επίδραση δυνάμεων.
3. Εναλλάσσονται μεταξύ τους οι δυνάμεις \mathbf{F} , και \mathbf{F}' . Αρχικά ασκείται μόνο η \mathbf{F} στο δίσκο για ένα χρονικό διάστημα, μετά η \mathbf{F}' αντικαθιστά την \mathbf{F} και ασκείται για ίσο χρονικό διάστημα με την εναλλαγή να διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της κίνησης του δίσκου.

Οι μαθητές σε ποσοστό 46,5% απαντούν σωστά ότι οι δύο δυνάμεις ασκούνται μαζί συνεχώς πάνω στο δίσκο. Από τους 34 μαθητές που δίνουν τη σωστή απάντηση, οι 19 είχαν επιλέξει στην προηγούμενη ερώτηση ότι η ταχύτητα αυξάνεται για λίγο και μετά παραμένει σταθερή στην εξέλιξη της κίνησης, οπότε παρατηρούμε την εμφάνιση για μία ακόμη φορά της εναλλακτικής ιδέας σταθερή δύναμη επιφέρει σταθερή ταχύτητα στο κινούμενο σώμα, ένας μαθητής είχε απαντήσει ότι η ταχύτητα παραμένει συνεχώς σταθερή επηρεασμένος από τη σκέψη ότι αρχικά υπήρχε κίνηση του δίσκου, και τέλος οι 14 είχαν δώσει σωστή απάντηση και στην προηγούμενη ερώτηση.

Το 25,4% που επιλέγουν την περίπτωση 2, αυτοί πιστεύουν στην εσωτερική ώθηση (impetus) που αποθηκεύεται στο δίσκο, και έχει τη δυνατότητα να τον κινεί μετά την εφαρμογή των δυνάμεων.

Υπάρχει τέλος ένα ποσοστό μαθητών 23,9% των μαθητών απαντά ότι μπορούν να ισχύουν οι επιλογές 1 και 3, θεωρώντας παρόμοια τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων. Από τους 17 μαθητές που επιλέγουν αυτή την απάντηση οι 5 είχαν επιλέξει αύξηση της ταχύτητας στην ερώτηση 18, ενώ οι 9 είχαν επιλέξει την εναλλακτική απάντηση.

Παρατηρούμε ότι σε σχετικά μεγάλο αριθμό μαθητών διαφεύγει η απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύνθεση των δυνάμεων που είναι η ταυτόχρονη εφαρμογή τους στο ίδιο σώμα.

Ερώτηση 20: Με δεδομένο ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο μία δύναμη πάνω στο δίσκο, τι μπορεί να συμβεί ώστε να διατηρηθεί η τροχιά και η μορφή της ταχύτητας που είχε.

Το 16,9% των μαθητών επιλέγει τη σωστή απάντηση που είναι η συνεχής εφαρμογή μιας σταθερής δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης με τιμή μικρότερη από το άθροισμα των τιμών των \mathbf{F} και \mathbf{F}' , από τους 12 όμως μαθητές που απάντησαν σωστά οι 7 είχαν επιλέξει σταθερή ταχύτητα για το δίσκο στην εξέλιξη της κίνησης σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί τη δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα, και οι υπόλοιποι 5 συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα.

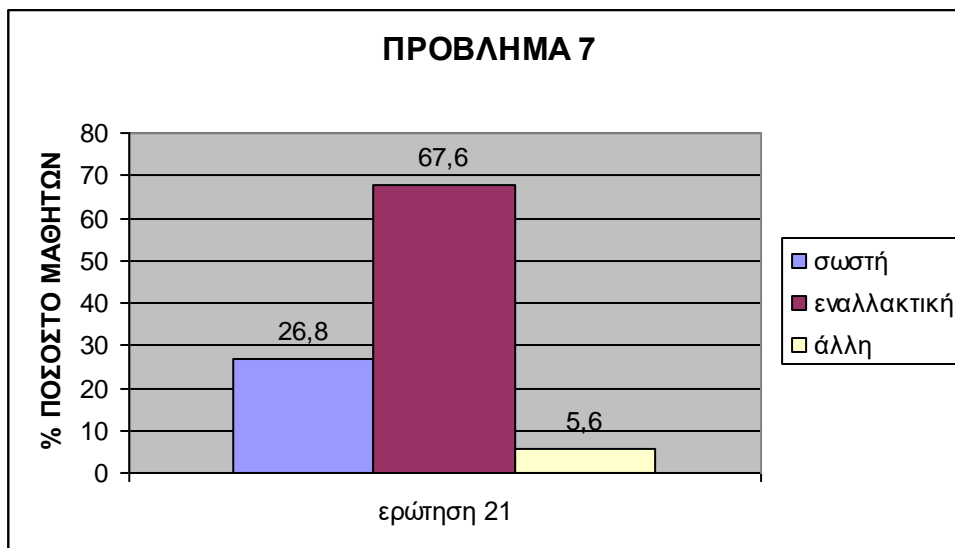
Η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών σε ποσοστό 71,8% υποστηρίζουν ότι ασκείται μόνο μια δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης με τιμή ανάλογη με την ταχύτητα του δίσκου κάθε χρονική στιγμή. Η επιλογή ταυτίζεται με την εναλλακτική ιδέα της αναλογίας της δύναμης με την ταχύτητα.

Στις άλλες απαντήσεις ανήκουν και οι μαθητές σε ποσοστό 9,9% που δηλώνουν ότι ασκείται μια σταθερή δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης με τιμή ίση με το άθροισμα των τιμών των \mathbf{F} και \mathbf{F}' . Σε αυτούς επικρατεί σύγχυση όσον αφορά τους όρους άθροισμα των τιμών και διανυσματικό άθροισμα.

Πρόβλημα 7: Μικρός και λεπτός δίσκος του χόκεϋ δέχεται την επίδραση τεσσάρων δυνάμεων \mathbf{F}_1 , \mathbf{F}_2 , \mathbf{F}_3 , \mathbf{F}_4 οι οποίες ανά δύο έχουν αντίθετες κατευθύνσεις (η \mathbf{F}_1 με την \mathbf{F}_3 , και η \mathbf{F}_2 με την \mathbf{F}_4), και κινείται με σταθερή ταχύτητα στην ίδια κατεύθυνση με την \mathbf{F}_4 .

Στο πρόβλημα αντιστοιχεί η ερώτηση 21 και ελέγχει την κατανόηση του νόμου της αδράνειας.

Στο σχήμα 7 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 21.



Σχήμα 7: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 7.

Ερώτηση 21: Ποια σχέση έχουν μεταξύ τους τα μέτρα των δυνάμεων;

Το 26,8% των μαθητών δίνουν τη σωστή απάντηση σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Newton $F_4 = F_2$ και $F_1 = F_3$.

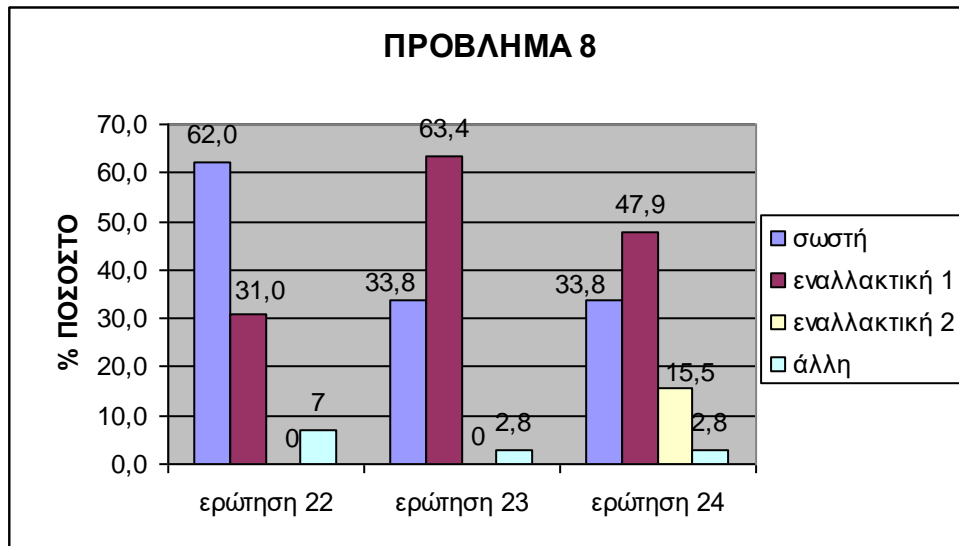
Η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών σε ποσοστό 67,6% επιλέγουν $F_4 > F_2$ και $F_1 = F_3$ δηλαδή μεγαλύτερη δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης εκφράζοντας έτσι την εναλλακτική ιδέα ότι και στην κίνηση με σταθερή ταχύτητα πρέπει να υπάρχει μια δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πρόβλημα 8: Μεγάλο φορτηγό σπρώχνει επιβατικό αυτοκίνητο. Οι ερωτήσεις αναφέρονται στις δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο οχημάτων.

Στόχος του προβλήματος είναι ο έλεγχος της κατανόησης του νόμου Δράσης – Αντίδρασης.

Στο πρόβλημα αυτό αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 22, 23, και 24.

Στο σχήμα 8 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 8: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 8.

Ερώτηση 22: Αναφέρεται στη χρονική στιγμή που το φορτηγό ακουμπάει το αυτοκίνητο και αρχίζει να το σπρώχνει. Οι μαθητές ερωτώνται αν ασκούνται δυνάμεις μεταξύ των οχημάτων και σε ποιο χρονικό σημείο γίνεται η εμφάνιση της μιας δύναμης σε σχέση με την άλλη.

Το 62% των μαθητών απαντά σωστά ότι οι δύο δυνάμεις εμφανίζονται ταυτόχρονα μεταξύ των οχημάτων.

Το 31 % των μαθητών υποστηρίζουν ότι το φορτηγό αρχικά ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο και μετά από λίγη ώρα το αυτοκίνητο αρχίζει να ασκεί δύναμη στο φορτηγό, εκφράζοντας την εναλλακτική ιδέα ότι αρχικά τουλάχιστον δύναμη ασκεί μόνο αυτός που σπρώχνει δηλαδή το ενεργό αίτιο όπως είναι γνωστό.

Στις άλλες απαντήσεις ένα ποσοστό μαθητών ίσο με 7%, απαντούν ότι το φορτηγό ασκεί δύναμη στο επιβατικό αυτοκίνητο αλλά το επιβατικό δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό, συμφωνώντας εν μέρη με την προαναφερόμενη εναλλακτική ιδέα.

Οι επόμενες δύο ερωτήσεις αναφέρονται στο αν ασκούνται δυνάμεις από το ένα στο άλλο όχημα καθώς και στη σύγκριση των μέτρων τους.

Ερώτηση 23: Όταν το φορτηγό αρχίζει να μετακινεί το αυτοκίνητο στον οριζόντιο δρόμο.

Ένας στους τρεις μαθητές σε ποσοστό 33,8% απαντά σωστά ότι τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα. Αξιίζει να αναφέρουμε το γεγονός ότι 17 από τους 24 μαθητές που απαντούν σωστά σε αυτή την ερώτηση είχαν ισχυριστεί και την ταυτόχρονη εμφάνιση δυνάμεων στα δύο οχήματα κατά την αλληλεπίδραση τους στην προηγούμενη, ενώ οι υπόλοιποι 7 είχαν δεχθεί ότι η εμφάνιση της δύναμης από το επιβατικό στο φορτηγό γίνεται με μικρή καθυστέρηση.

Οι περισσότεροι μαθητές σε ποσοστό 63,4%, απαντούν ότι κάθε σώμα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη. Η απάντηση φανερώνει την εναλλακτική ιδέα που κυριαρχεί στους μαθητές, ότι το πιο ενεργό σώμα δηλαδή αυτό με τη μεγαλύτερη μάζα ή αυτό που προκαλεί την κίνηση ασκεί και τη μεγαλύτερη δύναμη, θεωρώντας τη δύναμη ως εσωτερική ιδιότητα των σωμάτων και όχι ως προϊόν της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης.

Ερώτηση 24: Καθώς το φορτηγό σπρώχνει το επιβατικό αυτοκίνητο με μια σταθερή ταχύτητα που έχει αποκτήσει.

Τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα, απαντούν σωστά το 33,8% των μαθητών. Από τους 24 μαθητές που δίνουν την παραπάνω σωστή απάντηση οι 16 είχαν απαντήσει στην προηγούμενη ερώτηση, ότι οι δύο δυνάμεις είχαν ίσα μέτρα όταν το φορτηγό άρχισε να σπρώχνει το επιβατικό στον οριζόντιο δρόμο, ενώ οι υπόλοιποι είχαν ισχυριστεί αρχικά ότι κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο το φορτηγό όμως ασκεί μεγαλύτερη.

Το 47,9% των μαθητών και σε αυτή την περίπτωση στηρίζει την εναλλακτική ιδέα ότι κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο αλλά το φορτηγό ασκεί δύναμη μεγαλύτερου μέτρου.

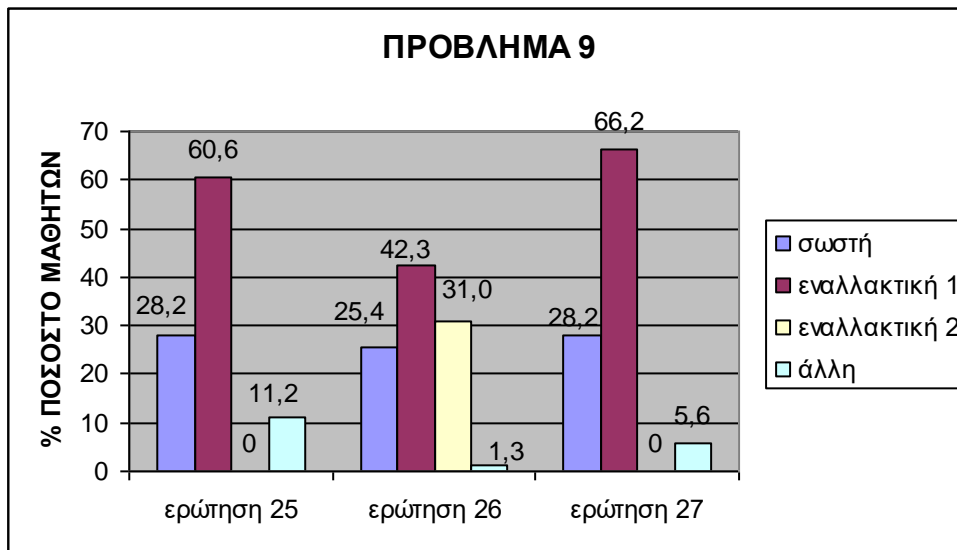
Από τους 34 μαθητές που δίνουν αυτή την απάντηση οι 27 είχαν απαντήσει παρόμοια και όταν αρχίζει το φορτηγό να σπρώχνει το αυτοκίνητο.

Τέλος υπάρχει ένα 15,5% μαθητών που επιλέγει να απαντήσει ότι τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο. Οι μαθητές αυτοί θεωρούν το επιβατικό αυτοκίνητο ως εμπόδιο στην πορεία του φορτηγού και γι' αυτό δεν ασκεί δύναμη, και το φορτηγό κινείται με σταθερή ταχύτητα οπότε δεν δέχεται ούτε ασκεί δύναμη.

Πρόβλημα 9: Αναφέρεται στην κίνηση ενός διαστημόπλοιου με σβηστές μηχανές. Η κίνηση μελετάται από ένα σημείο P, και γίνεται με σταθερή ταχύτητα.

Στο πρόβλημα αυτό αντιστοιχεί η ερώτηση 25, που αναφέρεται στη σχέση της κίνησης με τη δύναμη και στον πρώτο νόμο του Newton, και οι ερωτήσεις 26, και 27. Στις δύο τελευταίες υπάρχει επιπλέον το δεδομένο ότι μπαίνουν σε λειτουργία οι μηχανές του όταν το διαστημόπλοιο φθάσει σε ένα σημείο Q της τροχιάς του και του ασκούν σταθερή δύναμη κάθετη στην ευθεία PQ. Η ερώτηση 26 αφορά τη σύνθεση των κινήσεων και η 27 το δεύτερο νόμο του Newton.

Στο σχήμα 9 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στην ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 9: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 9.

Ερώτηση 25: Ποια ή ποιες δυνάμεις είναι υπεύθυνες για την κίνηση του διαστημοπλοίου μετά το σημείο P;

Δίνεται μια λίστα δυνάμεων:

F₁: Δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης ασκούμενη από πλανήτες ή άλλα ουράνια σώματα.

F₂: Δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης που οφείλεται στην αρχική ώθηση του διαστημοπλοίου πριν φθάσει στο σημείο P.

F₃: Μια εσωτερική ώθηση που αναπτύσσεται σταδιακά από το διαστημόπλοιο καθώς αυτό κινείται πέρα από το σημείο P.

Οι μαθητές σε ποσοστό 28,2% απαντούν σε συμφωνία με τον πρώτο νόμο του Newton ότι το διαστημόπλοιο μπορεί να κινείται με σταθερή ταχύτητα χωρίς την επίδραση δύναμης.

Οι υπόλοιποι όμως μαθητές, λειτουργούν σύμφωνα με την αριστοτελική άποψη και αναγνωρίζουν μια δύναμη ή ένα συνδυασμό δυνάμεων στην κατεύθυνση της κίνησης. Το μεγαλύτερο ποσοστό που φτάνει το 60,6% επιλέγουν μια δύναμη που οφείλεται στην αρχική ώθηση του διαστημοπλοίου πριν ακόμη φθάσει στο σημείο P. Οι παραπάνω μαθητές είναι σύμφωνοι με την εναλλακτική ιδέα της ύπαρξης δύναμης πάνω στην κατεύθυνση της κίνησης, και της εσωτερικής δύναμης (impetus) που αποθηκεύεται στο διαστημόπλοιο.

Από το 11,2% των μαθητών που αναφέρεται στις άλλες απαντήσεις αναγνωρίζουν μια δύναμη στην κατεύθυνση κίνησης ασκούμενη από άλλους πλανήτες (5%), ή ένα συνδυασμό των παραπάνω δυνάμεων οι υπόλοιποι.

Ερώτηση 26: Επιλέξτε τροχιά κίνησης για το διαστημόπλοιο μετά το σημείο Q.

Ένας στους τέσσερεις μαθητές σε ποσοστό 25,4% επιλέγει τη σωστή παραβολική τροχιά κίνησης (απάντηση Δ) για το διαστημόπλοιο μετά την εφαρμογή της δύναμης στο σημείο Q.

Το 42,3% των μαθητών επιλεγούν τροχιά κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω (απάντηση Β), θεωρώντας ότι η κίνηση είναι αποκλειστικό επακόλουθο της δύναμης και

μετά την επίδρασή της, η δύναμη επιβάλλει στο διαστημόπλοιο την τροχιά της (απουσία δύναμης δεν υπάρχει κίνηση στην οριζόντια διεύθυνση).

Οι μαθητές σε ποσοστό 31% επιλέγουν την ευθύγραμμη τροχιά στην απάντηση (Γ) σα συνδυασμό της αρχικής *impetus* και της ασκούμενης δύναμης από τις μηχανές.

Ερώτηση 27: Πως μεταβάλλεται το μέτρο της ταχύτητας κατά μήκος της τροχιάς του διαστημόπλοιου μετά το σημείο Q;

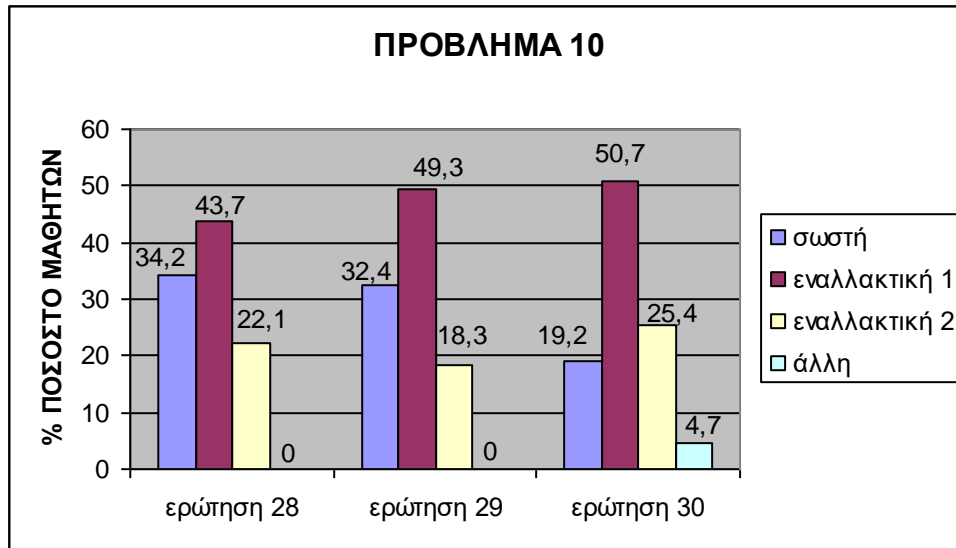
Οι μαθητές σε ποσοστό 28,2% απαντά σωστά ότι η ταχύτητα αυξάνεται συνεχώς.

Οι περισσότεροι μαθητές ποσοστό 66,2%, απαντούν ότι η ταχύτητα αυξάνεται για λίγο και μετά παραμένει σταθερή. Οι μαθητές αυτοί δέχονται ότι με την εφαρμογή της δύναμης η ταχύτητα αυξάνεται κατ' αρχήν και μετά παραμένει σταθερή σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί τη δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα που αποκτά το κινούμενο σώμα.

Πρόβλημα 10: Διαθέτουμε δύο μικρούς δίσκους του χόκεϊ P και Q, με ίσες διαστάσεις, πάνω σε ένα οριζόντιο τραπέζι. Ο δίσκος P έχει διπλάσιο βάρος από τον Q. Οι δύο δίσκοι δέχονται ίσες σταθερές δυνάμεις F μέχρι να φτάσουν στο τέρμα. Δεχόμαστε ότι δεν υπάρχουν τριβές και αντιστάσεις.

Στο πρόβλημα αυτό αντιστοιχούν οι ερωτήσεις 28, 29, και 30 και αφορούν το δεύτερο νόμο του Newton.

Στο σχήμα 10 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στην ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 10: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 10.

Ερώτηση 28: Να συγκριθούν οι χρόνοι που απαιτούνται για να φτάσουν στο τέρμα οι δίσκοι.

Το 34,2% των μαθητών απαντά σωστά ότι ο βαρύτερος δίσκος χρειάζεται περισσότερο χρόνο σε σχέση με τον ελαφρύτερο αλλά όχι διπλάσιο.

Το 43,7% των μαθητών ισχυρίζονται ότι οι δίσκοι χρειάζονται τον ίδιο χρόνο. Οι μαθητές αυτοί ακολουθούν την εναλλακτική ιδέα της αναλογίας δύναμης και ταχύτητας και εφόσον οι δυνάμεις είναι ίσες οι δίσκοι θα αποκτούν την ίδια ταχύτητα και θα χρειάζονται τον ίδιο χρόνο για να φτάσουν στο τέρμα.

Υπάρχει ένα ποσοστό 22,1% από τους μαθητές που επιλέγουν διπλάσιο χρόνο για το βαρύτερο δίσκο σε σχέση με τον ελαφρύτερο. Οι μαθητές αυτοί δίνουν στη δύναμη το νόημα της ορμής και θεωρούν την ταχύτητα ανάλογη με τη δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα του κινούμενου σώματος, οπότε το σώμα διπλάσιας μάζας αποκτά τη μισή ταχύτητα και απαιτεί διπλάσιο χρόνο για να φτάσει στο τέρμα.

Ερώτηση 29: Να συγκριθούν τα μέτρα των ταχυτήτων των δύο δίσκων στη γραμμή τερματισμού.

Το 32,4% των μαθητών απαντούν σωστά ότι το μέτρο της ταχύτητας του βαρύτερου δίσκου είναι μικρότερο από του ελαφρύτερου αλλά όχι το μισό.

Σχεδόν οι μισοί μαθητές, ποσοστό 49,3%, δέχονται ότι οι δύο δίσκοι θα έχουν το ίδιο μέτρο ταχύτητας κατά τον τερματισμό. Από τους 35 μαθητές που δίνουν την απάντηση αυτή οι 23 είχαν ισχυριστεί στην προηγούμενη ερώτηση ότι απαιτείται και ο ίδιος χρόνος για τον τερματισμό των δίσκων και επομένως ακολουθούν πλήρως το συλλογισμό: «η δύναμη είναι ανάλογη της ταχύτητας και εφόσον οι δυνάμεις είναι ίσες οι δίσκοι θα αποκτούν την ίδια ταχύτητα και θα χρειάζονται τον ίδιο χρόνο για να φτάσουν στο τέρμα».

Τέλος υπάρχει ένα ποσοστό 18,3% από τους μαθητές που ισχυρίζονται ότι η ταχύτητα του βαρύτερου δίσκου είναι η μισή από αυτή του ελαφρύτερου, δίνοντας στην ταχύτητα τιμή που είναι ανάλογη της δύναμης και αντιστρόφως ανάλογη της μάζας του δίσκου. Από τους 13 μαθητές που δίνουν αυτή την απάντηση οι 7 είχαν απαντήσει στην προηγούμενη ερώτηση ότι ο βαρύτερος δίσκος χρειάζεται και διπλάσιο χρόνο, οι υπόλοιποι όμως είχαν δώσει τη σωστή απάντηση και δεν μπορεί να αιτιολογηθεί η επιλογή τους.

Ερώτηση 30: Να συγκριθούν τα μέτρα των επιταχύνσεων που αποκτούν οι δύο δίσκοι κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Το 19,2% των μαθητών δίνει τη σωστή απάντηση: «η επιτάχυνση του βαρύτερου δίσκου είναι μισή από την επιτάχυνση του ελαφρύτερου».

Ο ένας στους δύο μαθητές σε ποσοστό 50,7%, απαντά ότι η επιτάχυνση του βαρύτερου δίσκου είναι ίση με του ελαφρύτερου. Από τους 36 μαθητές που δίνουν αυτή την απάντηση οι 23 επιλέγουν στην προηγούμενη ερώτηση την ίδια ταχύτητα για τους δύο δίσκους, και γίνεται φανερό ότι δεν διακρίνουν τις δύο έννοιες.

Τέλος ένα ποσοστό 25,4%, δηλώνει ότι η επιτάχυνση του βαρύτερου δίσκου P είναι μικρότερη από του ελαφρύτερου Q αλλά όχι απαραίτητα η μισή. Από τους 18 μαθητές που δίνουν την τελευταία απάντηση οι μισοί απέδωσαν και στις ταχύτητες την ίδια σχέση απαντώντας στην προηγούμενη ερώτηση ότι και το μέτρο της ταχύτητας του

βαρύτερου δίσκου είναι μικρότερο από αυτό του ελαφρύτερου αλλά όχι το μισό, μη μπορώντας να διακρίνουν τις δύο έννοιες, ενώ οι υπόλοιποι είχαν ισχυριστεί ότι η ταχύτητα του βαρύτερου δίσκου είναι η μισή από αυτή του ελαφρύτερου.

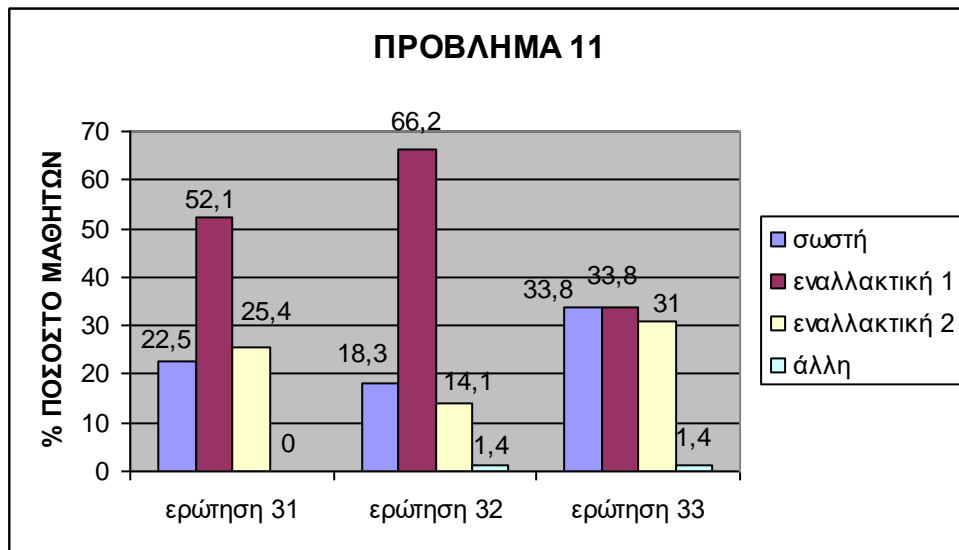
Πρόβλημα 11: Κιβώτιο που βρίσκεται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο δέχεται σταθερή οριζόντια δύναμη F , και μετακινείται με σταθερή ταχύτητα v_0 πάνω στο επίπεδο. Δεδομένες θεωρούνται οι παρακάτω δυνάμεις :

F_1 : το βάρος του κιβωτίου

F_2 : η οριζόντια δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση του κιβωτίου

Στο πρόβλημα αυτό αντιστοιχεί η ερώτηση 31, που αφορά το νόμο αδράνειας, η ερώτηση 32, που αφορά το δεύτερο νόμο του Newton και η 33 που αναφέρεται στη σχέση της κίνησης με τη δύναμη και στο δεύτερο νόμο του Newton.

Στο σχήμα 11 φαίνονται οι απαντήσεις των μαθητών στην ερωτήσεις του προβλήματος.



Σχήμα 11: Απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις του προβλήματος 11.

Ερώτηση 31: Αναφέρεται στη σύγκριση της δύναμης F με τις άλλες δυνάμεις που ασκούνται στο κιβώτιο.

Οι μαθητές σε ποσοστό 22,5% εφαρμόζουν τον πρώτο νόμο του Newton και απαντούν σύμφωνα με αυτόν ότι το μέτρο της δύναμης \mathbf{F} είναι ίσο με το μέτρο της οριζόντιας δύναμης \mathbf{F}_2 που αντιστέκεται στην κίνηση του κιβωτίου.

Περισσότεροι από τους μισούς μαθητές, ποσοστό 52,1%, απαντούν ότι το μέτρο της δύναμης \mathbf{F} είναι μεγαλύτερο από το μέτρο της \mathbf{F}_2 . Οι μαθητές αυτοί είναι σύμφωνοι με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί απαραίτητη την εφαρμογή της μεγαλύτερης δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Οι υπόλοιποι μαθητές ποσοστό 25,4%, ισχυρίζονται ότι το μέτρο της δύναμης \mathbf{F} πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μέτρο καθεμιάς από τις \mathbf{F}_1 ή \mathbf{F}_2 . Παρατηρούμε ότι και αυτοί οι μαθητές συμφωνούν με την παραπάνω πολύ δημοφιλή εναλλακτική ιδέα επιπρόσθετα όμως συνδέοντας την καθημερινή τους εμπειρία, που τους οδηγεί στην ιδέα «τα βαρύτερα αντικείμενα απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη για να μετακινηθούν», πιστεύουν ότι η δύναμη \mathbf{F} πρέπει να υπερνικήσει και το βάρος για να κινείται το κιβώτιο.

Ερώτηση 32: Αν διπλασιάσουμε το μέτρο της δύναμης \mathbf{F} που ασκούμε στο κιβώτιο, ποια θα είναι η μορφή της ταχύτητας που αποκτά αυτό;

Το 18,3% των μαθητών απαντούν σωστά σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Newton, ότι το κιβώτιο θα κινείται με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα.

Οι περισσότεροι από τους μαθητές σε ποσοστό 66,2%, ισχυρίζονται ότι το κιβώτιο θα κινείται με σταθερή ταχύτητα η οποία έχει διπλάσιο μέτρο από την αρχική ταχύτητα κίνησης του v_0 . Από τις απαντήσεις των μαθητών γίνεται άμεσα αντιληπτή η εναλλακτική ιδέα ότι για να κινείται ένα σώμα με ταχύτητα που μεταβάλλεται πρέπει να ασκείται σε αυτό δύναμη που να υφίσταται την ίδια μεταβολή, ή διαφορετικά η δύναμη που ασκείται στο σώμα είναι ανάλογη με την ταχύτητα που αποκτά αυτό, έτσι εφόσον διπλασιάζεται η δύναμη θα διπλασιάζεται και η ταχύτητα του κιβωτίου.

Υπάρχουν τέλος ορισμένοι μαθητές, σε ποσοστό 14,1%, που υποστηρίζουν ότι το κιβώτιο κινείται για λίγο με ταχύτητα που αυξάνεται, και στη συνέχεια με ταχύτητα σταθερού μέτρου. Οι μαθητές αυτοί ισχυρίζονται μια αρχική αύξηση της ταχύτητας μέχρι

να επιτευχθεί τιμή ανάλογη της τιμής της ασκούμενης δύναμης, οπότε επέρχεται και σταθεροποίηση της ταχύτητας. Συμφωνούν δηλαδή ουσιαστικά με την εναλλακτική ιδέα που εκφράζεται από τους προηγούμενους.

Ερώτηση 33: Πως επηρεάζεται η κίνηση του κινούμενου κιβωτίου αν σταματήσουμε να ασκούμε δύναμη σε αυτό;

Το 33,8% των μαθητών απαντούν σωστά εφαρμόζοντας το δεύτερο νόμο του Newton, ότι το κιβώτιο αρχίζει να επιβραδύνεται μέχρι που σταματά,.

Το ίδιο ακριβώς ποσοστό των μαθητών 33,8%, απαντούν σύμφωνα με την αριστοτελική λογική ότι το κιβώτιο θα σταματήσει αμέσως μετά την παύση της δύναμης.

Τέλος ένα ποσοστό μαθητών 31%, υποστηρίζει ότι το κιβώτιο θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα για λίγο και στη συνέχεια θα επιβραδύνεται μέχρι να σταματήσει. Αυτοί οι μαθητές επηρεάζονται από τη θεωρία της όρμησης (impetus) του Buridan και θεωρούν ότι στο κιβώτιο αποθηκεύεται μια εσωτερική δύναμη (όρμηση) κατά την εφαρμογή πάνω σε αυτό της δύναμης F , η οποία στη συνέχεια του επιτρέπει να κινείται για λίγο με σταθερή ταχύτητα και μετά επιβραδυνόμενα μέχρι να καταναλωθεί.

4.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

1^{ος} Νόμος του Newton (Νόμος της Αδράνειας)

Οι ερωτήσεις 9, 10, 11, 21, 25, και 31 αποτελούν εφαρμογές του νόμου της αδράνειας.

Στις 21, 25, και 31 αναφέρεται στην εκφώνηση ότι η κίνηση πραγματοποιείται με σταθερή ταχύτητα. Το ποσοστό των μαθητών που συμφωνούν με τον πρώτο νόμο του Newton και ισχυρίζονται ότι δεν απαιτείται η εφαρμογή δύναμης στο κινούμενο με σταθερή ταχύτητα σώμα είναι 25,5%. Αντίθετα ποσοστό μεγαλύτερο από 70% των

μαθητών θεωρούν απαραίτητη την εφαρμογή δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης για να διατηρείται η ταχύτητα σταθερή, και μάλιστα πιστεύουν ότι η σταθερή ταχύτητα θα είναι ανάλογη της ασκούμενης δύναμης.

Στην ερώτηση 9 απαιτείται να αντιληφθούν οι μαθητές ότι με την έξοδο της μπίλιας από το δακτύλιο η συνισταμένη των δυνάμεων που της ασκούνται είναι μηδέν. Η πλειοψηφία των μαθητών δεν αναγνωρίζει ότι η συνολική δύναμη στη μπίλια μετά την έξοδο της από το δακτύλιο είναι μηδέν (μόνο το 29,6% των μαθητών απαντούν σωστά αναγνωρίζοντας το γεγονός αυτό, και επιλέγει ευθύγραμμη τροχιά για τη μπίλια). Οι περισσότεροι πιστεύουν ότι αποθηκεύεται στη μπίλια μια δύναμη από την προηγούμενη κίνηση της μέσα στο δακτύλιο η οποία και την αναγκάζει να εκτελέσει καμπύλη τροχιά και έξω από το δακτύλιο (κυκλική impetus), (ερώτηση 11). Έτσι ακόμη και το μέτρο της ταχύτητας, στην κίνηση εκτός δακτυλίου, μειώνεται για την πλειοψηφία των μαθητών λόγω κατανάλωσης αυτής της αποθηκευμένης δύναμης (ερώτηση 10).

Το 26% των μαθητών κατά μέσο όρο με σφάλμα $\pm 1\%$ ανταποκρίνονται και εφαρμόζουν τον πρώτο νόμο του Newton.

2^{ος} Νόμος Newton

Στην αξιολόγηση της εφαρμογής του δεύτερου νόμου Newton συνεισφέρουν οι ερωτήσεις 2, 6, 27, 18, 28, 29, 30, 32 και 33.

Το 27% των μαθητών κατά μέσο όρο με σφάλμα $\pm 2\%$ εφαρμόζουν σωστά το δεύτερο νόμο του Newton και επιλέγουν ως αποτέλεσμα της εφαρμογής συνισταμένης δύναμης σε ένα σώμα τη μεταβολή της κατεύθυνσης ή του μέτρου της ταχύτητας του.

Μεγάλο είναι το ποσοστό των μαθητών (περισσότεροι από τους μισούς μαθητές) που θεωρεί την ταχύτητα ανάλογη με την ασκούμενη δύναμη. Δηλαδή για να αυξάνεται το μέτρο της ταχύτητας πρέπει να αυξάνεται ανάλογα και το μέτρο της δύναμης που ασκείται προς την κατεύθυνση της ταχύτητας, και για να ελαττώνεται το μέτρο της ταχύτητας πρέπει να ελαττώνεται ανάλογα και το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο σώμα και διατηρεί όμως πάντα την κατεύθυνση της ταχύτητας.

Ένα ποσοστό μαθητών, που προσεγγίζει το 20%, (ερωτήσεις 28 και 29), συγχέει την έννοια της δύναμης με την ορμή και θεωρεί ότι η ταχύτητα που αποκτά ένα σώμα με την επίδραση μιας δύναμης είναι ανάλογη με τη δύναμη και αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα του κινούμενου σώματος.

3^{ος} Νόμος Newton (Νόμος Δράσης – Αντίδρασης)

Η ερώτηση 22 αξιολογεί το ταυτόχρονο στην εμφάνιση των δυνάμεων μεταξύ των αλληλεπιδρώντων σωμάτων. Οι ερωτήσεις 23 και 24 αξιολογούν τη σχέση των μέτρων των δυνάμεων κατά την αλληλεπίδραση των σωμάτων. Οι απαντήσεις του 33,8% των μαθητών σε αυτές τις ερωτήσεις βρίσκονται σε συμφωνία με τον τρίτο νόμο του Newton, ενώ για την πλειοψηφία των μαθητών (ποσοστό 55%) το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα θα ασκεί και τη μεγαλύτερη δύναμη.

Σύνθεση δυνάμεων

Οι ερωτήσεις 17, 21, και 31 αξιολογούν την ικανότητα των μαθητών να πραγματοποιούν σύνθεση δυνάμεων που ασκούνται ταυτόχρονα στο ίδιο αντικείμενο. Το ποσοστό των μαθητών που ανταποκρίνεται με επιτυχία είναι 28%.

Περισσότεροι από τους μισούς μαθητές πιστεύουν ότι η κίνηση είναι αποτέλεσμα της δύναμης με το μεγαλύτερο μέτρο και τοποθετούν τη μεγαλύτερη δύναμη πάνω στη κατεύθυνση της κίνησης.

Αλληλεπίδραση και δύναμη

Οι ερωτήσεις 2, 11, 25 και 33 ανιχνεύουν τη σύνδεση της έννοιας της δύναμης με την αλληλεπίδραση. Η εμφάνιση της δύναμης προϋποθέτει την αλληλεπίδραση ενός σώματος με ένα παράγοντα, και η δύναμη συντηρείται μόνο κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης.

Το ποσοστό των μαθητών που απαντούν σωστά σε αυτές τις ερωτήσεις είναι 28,9%. Αντίθετα στις απαντήσεις των παραπάνω ερωτήσεων, εμφανίζεται ένας αριθμός μαθητών που αντιστοιχεί σε ποσοστό πάνω από το 60%, που εκφράζει την αντίληψη ότι η κίνηση προϋποθέτει την ύπαρξη δύναμης προς την ίδια κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει απαραίτητα αλληλεπίδραση του κινούμενου αντικειμένου με κάποιο παράγοντα.

Σύνθεση κινήσεων – Αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων

Τη σύνθεση κινήσεων αξιολογούν οι ερωτήσεις 12, 13 και 26. Το ποσοστό των σωστών απαντήσεων κατά μέσο όρο είναι 28,8%. Δύο είναι οι κύριες αντιλήψεις των μαθητών, στην πρώτη επιλέγουν τη γραμμική τροχιά ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της αρχικής *impetus* και της ασκούμενης δύναμης, και η δεύτερη είναι σε συμφωνία με την αντίληψη ότι απουσία δύναμης δεν υπάρχει κίνηση και έτσι αποκλείουν οποιαδήποτε οριζόντια συνιστώσα κίνησης και επιλέγουν τροχιά πάνω στη κατεύθυνση της ασκούμενης δύναμης.

Η αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων εφαρμόζεται σωστά στην ερώτηση 16 από το 32,4% των μαθητών, οι υπόλοιποι δεν αναγνωρίζουν τις δύο ανεξάρτητες κινήσεις και απαντούν με βάση την αναλογία διανυόμενου διαστήματος και χρόνου.

Δύναμη και είδος τροχιάς

Υπό την επίδραση σταθερής δύναμης το κινούμενο σώμα ακολουθεί:

- α) ευθύγραμμη τροχιά εάν η αρχική του ταχύτητα είναι μηδέν (ερωτήσεις 28, 29) ή αν ο φορέας της δύναμης βρίσκεται στην ίδια διεύθυνση με αυτόν της αρχικής ταχύτητας (ερωτήσεις 2, 18, 31, 32, 33)
- β) παραβολική τροχιά όταν ο φορέας της δύναμης είναι κάθετος στη διεύθυνση της αρχικής ταχύτητας (ερωτήσεις 12, 13, και 26).

Ο μέσος όρος των μαθητών που επιλέγουν παραβολική τροχιά φτάνει το 28,8%, η γραμμική τροχιά προτιμάται όπου υπάρχει σαν εναλλακτική επιλογή.

Χαρακτηριστικά μεγέθη μιας κίνησης

Ταχύτητα σε μια ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση:

A) Η ερώτηση 1 ανιχνεύει τις απόψεις των μαθητών σχετικά με τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η μεταβολή της ταχύτητας.

Η μεταβολή της ταχύτητας είναι ανάλογη με τη διάρκεια της κίνησης για το 31% των μαθητών. Αντίθετα, το 49% συμφωνεί με την εναλλακτική ιδέα ότι η μεταβολή της ταχύτητας είναι ανάλογη με τη διανυόμενη απόσταση.

B) Για δεδομένη τιμή επιτάχυνσης η μεταβολή της ταχύτητας είναι ανεξάρτητη από τη μάζα του επιταχυνόμενου σώματος.

Στην ερώτηση 6 απαντούν σωστά και συμφωνούν με την παραπάνω πρόταση το 31% των μαθητών, αντίθετα το 67% των μαθητών υποστηρίζουν ότι η βαρύτερη σφαίρα πέφτει με τη μεγαλύτερη ταχύτητα.

Γ) Κατά την άνοδο και πτώση ενός σώματος που εκτοξεύεται κατακόρυφα προς τα πάνω και κινείται με την επίδραση μόνο του βάρους του, η κίνηση θεωρείται συμμετρική προς τις δύο κατευθύνσεις.

Στην ερώτηση 4 που ανιχνεύει την παραπάνω ιδέα, απαντούν σωστά ότι το μέτρο της ταχύτητας είναι το ίδιο όταν η πέτρα διέρχεται από το ίδιο σημείο το 31% των μαθητών (σχεδόν το σύνολο των παραπάνω μαθητών χρησιμοποίησε την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας για να απαντήσουν), ενώ οι μισοί περίπου από τους μαθητές ισχυρίζονται ότι η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη κατά την πτώση.

Δ) Κατά την κίνηση δύο αντικειμένων προς την ίδια κατεύθυνση, όταν αυτά βρίσκονται στην ίδια θέση την ίδια χρονική στιγμή δεν έχουν απαραίτητα και την ίδια ταχύτητα.

Η ερώτηση 7 ανιχνεύει τις απόψεις των μαθητών σχετικά με την παραπάνω πρόταση. Οι απαντήσεις δείχνουν ότι μόνο το 25% των μαθητών απαντούν σωστά, η μεγάλη πλεοψηφεία (ποσοστό 62%) συμφωνεί με την εναλλακτική ιδέα που επιτάσσει

την ισότητα των δύο ταχυτήτων όταν τα κινούμενα αντικείμενα βρίσκονται στην ίδια θέση .

Επιτάχυνση σε μια ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση:

A) Δύο αντικείμενα μπορεί να έχουν την ίδια επιτάχυνση όταν κινούνται με ταχύτητες διαφορετικού μέτρου.

Οι απαντήσεις στην ερώτηση 8 δείχνουν ότι με την παραπάνω πρόταση συμφωνεί μόνο το 14% των μαθητών, ενώ το 76% ισχυρίζονται ότι το αντικείμενο με τη μεγαλύτερη ταχύτητα θα έχει και τη μεγαλύτερη επιτάχυνση.

B) Η επιτάχυνση ενός σώματος που εκτοξεύεται κατακόρυφα προς τα πάνω, κινείται με την επίδραση μόνο του βάρους του, φτάνει στο ανώτερο σημείο της τροχιάς του, και ακολουθεί η πτώση του, δε μεταβάλλεται.

Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 3 που συμφωνούν με την παραπάνω πρόταση προσεγγίζουν το 23%, αντίθετα το 70% υποστηρίζουν ότι η επιτάχυνση μηδενίζεται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς.

Χρονική διάρκεια της κίνησης:

Η χρονική διάρκεια μιας ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης με δεδομένη τιμή επιτάχυνσης δεν εξαρτάται από τη μάζα του επιταχυνόμενου σώματος.

Οι απαντήσεις στην ερώτηση 5, που συμφωνούν με την παραπάνω πρόταση φτάνουν το 31%. Οι περισσότεροι μαθητές, σε ποσοστό που ξεπερνά το 60%, υποστηρίζουν ότι η βαρύτερη σφαίρα απαιτεί λιγότερο χρόνο για την πτώση της.

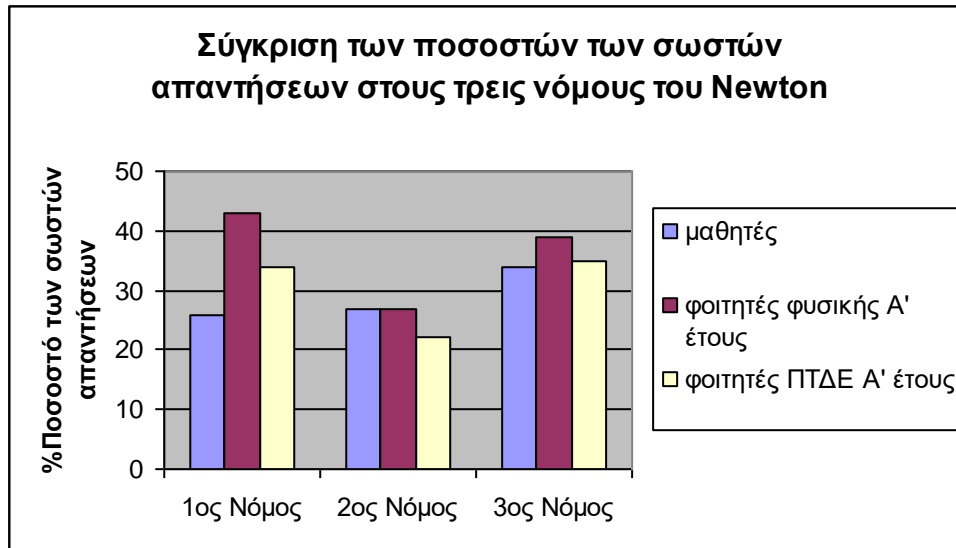
4.3 Σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών της Α' Λυκείου με των πρωτοετών φοιτητών.

Στην ενότητα αυτή θα συγκρίνουμε τα % ποσοστά των σωστών απαντήσεων των μαθητών που αφορούν τους τρεις νόμους του Newton με αυτά των πρωτοετών φοιτητών του φυσικού και του παιδαγωγικού τμήματος (ενότητα 4.3.1), και τα % ποσοστά των κοινών εναλλακτικών απαντήσεων των μαθητών που αφορούν τους τρεις νόμους του Newton με αυτά των πρωτοετών φοιτητών του φυσικού και του παιδαγωγικού τμήματος (ενότητα 4.3.2). Οι συγκρίσεις επιχειρούνται για να διαπιστώσουμε την επίδραση που έχει η περαιτέρω εκπαίδευση και η ηλικιακή ωρίμανση των φοιτητών στην εφαρμογή των Νευτώνειων ιδεών καθώς και στη διατήρηση ή τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών.

4.3.1 Σύγκριση του ποσοστού των σωστών απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις που αφορούν τους τρεις νόμους του Newton με τα αντίστοιχα ποσοστά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να συγκρίνουμε τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές της Α' Λυκείου με αυτά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού, και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Οι απαντήσεις αφορούν ερωτήσεις που αναφέρονται στον πρώτο, δεύτερο, και τρίτο νόμο του Newton. Οι φοιτητές απάντησαν σε ερωτήσεις του τεστ Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) των Thornton & Sokoloff, (1998), σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων το ακαδημαϊκό έτος 2005-2006 από τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Πετροχείλου Ελένη στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Νέες Τεχνολογίες και Έρευνα στη Διδακτική της Φυσικής» του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων φαίνονται στο σχήμα 12.



Σχήμα 12: Ποσοστά σωστών απαντήσεων στους τρεις Νόμους του Newton.

Παρατηρούμε ότι στον πρώτο νόμο του Newton απαντούν σωστά οι μαθητές σε ποσοστό 26% με σφάλμα μέσου όρου $\pm 1\%$, οι φοιτητές του Φυσικού σε ποσοστό 43% με σφάλμα $\pm 3\%$, και οι φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος σε ποσοστό 34% με σφάλμα $\pm 4\%$.

Με τα παραπάνω δεδομένα τίθεται το ερώτημα αν η διαφορά που προέκυψε στους μέσους όρους είναι στατιστικά σημαντική ή οφείλεται στη φυσική διακύμανση των τυχαίων δειγμάτων και σε σφάλματα δειγματοληψίας. Διατυπώνουμε τη μηδενική υπόθεση στο παραπάνω ερώτημα σύμφωνα με την οποία: δεν υπάρχει διαφορά στους μέσους όρους μεταξύ μαθητών και φοιτητών και την εναλλακτική υπόθεση: ο μέσος όρος των μαθητών διαφέρει από αυτόν των πρωτοετών φοιτητών. Προκειμένου να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση και λόγω ότι τα δείγματα δεν παρουσιάζουν κανονικότητα στην κατανομή τους χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας SPSS και συγκεκριμένα τον έλεγχο Mann – Whitney.

Ο έλεγχος αυτός έδειξε ότι στους μαθητές σε σχέση με τους φοιτητές φυσικού η διαφορά στους μέσους όρους $z = -2,334$ είναι στατιστικά σημαντική αφού $p=0,02 < 0,05$ (με επίπεδο σημαντικότητας 5%) συνεπώς απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση ενώ στους μαθητές σε σχέση με τους φοιτητές παιδαγωγικού επαληθεύεται η μηδενική υπόθεση και δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στους μέσους όρους (επιλέγοντας επίπεδο σημαντικότητας 5% έχουμε $p=0,195 > 0,05$).

Στις ερωτήσεις που αναφέρονται στο δεύτερο νόμο του Newton απαντούν σωστά οι μαθητές σε ποσοστό 27% με σφάλμα $\pm 2\%$, οι φοιτητές του Φυσικού σε ποσοστό 27% με σφάλμα $\pm 4\%$, και οι φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος σε ποσοστό 22% με σφάλμα $\pm 5\%$. Η διαφορά στους μέσους όρους δεν είναι μεγάλη. Όπως και παραπάνω για να ελέγξουμε αν η διαφορά αυτή είναι σημαντική χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας SPSS και συγκεκριμένα τον έλεγχο Mann – Whitney.

Ο έλεγχος αυτός έδειξε ότι στους μαθητές σε σχέση με τους φοιτητές φυσικού καθώς και τους φοιτητές παιδαγωγικού επαληθεύεται η μηδενική υπόθεση και δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στους μέσους όρους (επιλέγοντας επίπεδο σημαντικότητας 5% στην πρώτη περίπτωση έχουμε $p=0,566 > 0,05$ και στη δεύτερη $p=0,102 > 0,05$).

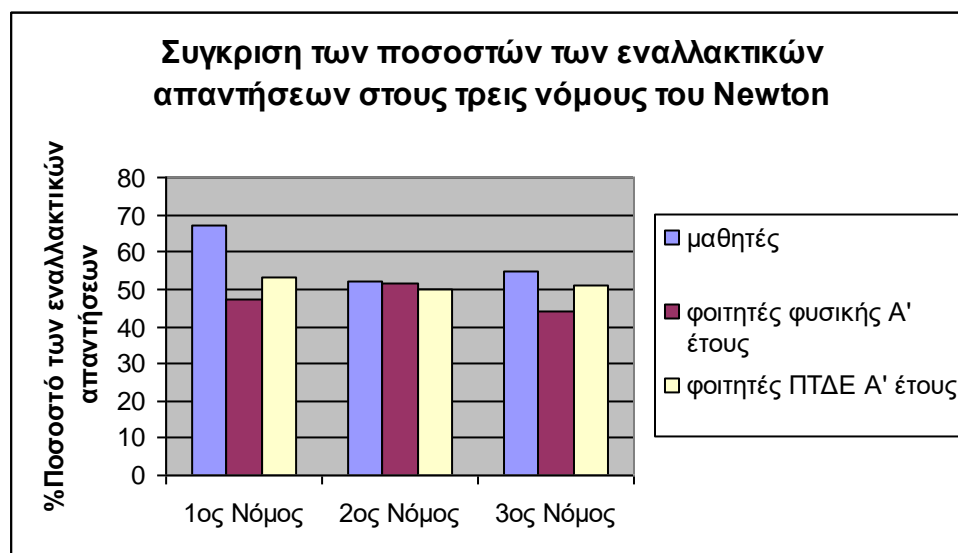
Στον τρίτο νόμο του Newton απαντούν σωστά οι μαθητές σε ποσοστό 34% με σφάλμα $\pm 1\%$, οι φοιτητές του Φυσικού σε ποσοστό 39% με σφάλμα $\pm 1\%$, και οι φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος σε ποσοστό 35% με σφάλμα $\pm 1\%$. Ελέγχουμε και σε αυτή την περίπτωση αν η διαφορά είναι σημαντική χρησιμοποιώντας τον έλεγχο Mann – Whitney.

Ο έλεγχος αυτός έδειξε ότι στους μαθητές σε σχέση με τους μαθητές φοιτητές φυσικού καθώς και τους φοιτητές παιδαγωγικού επαληθεύεται η μηδενική υπόθεση και δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στους μέσους όρους (επιλέγοντας επίπεδο σημαντικότητας 5% έχουμε $p=0,102 > 0,05$).

4.3.2 Σύγκριση του ποσοστού των εναλλακτικών απαντήσεων των μαθητών στις ερωτήσεις που αναφέρονται στους τρεις νόμους του Newton, με τα αντίστοιχα ποσοστά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού και του Παιδαγωγικού τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Στην παρούσα ενότητα θα συγκρίνουμε τα ποσοστά των κοινών εναλλακτικών ιδεών για τις τρεις ομάδες σπουδαστών και για κάθε έναν από τους τρεις νόμους του Newton.

Στο σχήμα 13 φαίνονται τα ποσοστά των σπουδαστών που επιλέγουν την κύρια εναλλακτική ιδέα στους τρεις νόμους του Newton.



Σχήμα 13: Ποσοστά των σπουδαστών που επιλέγουν την κύρια εναλλακτική ιδέα στους τρεις νόμους του Newton

1^{ος} Νόμος Newton (Νόμος της Αδράνειας)

Για να κινείται ένα σώμα με σταθερή ταχύτητα είναι απαραίτητο να ασκείται σε αυτό μια σταθερή δύναμη με τιμή ανάλογη της ταχύτητας και κατεύθυνση ίδια με αυτή της κίνησης.

Το 67% των μαθητών κατά μέσο όρο με σφάλμα $\pm 2\%$ συμφωνεί με την παραπάνω εναλλακτική ιδέα στις περιπτώσεις των ερωτήσεων που η ταχύτητα διατηρείται σταθερή και πρέπει να εφαρμόσουν τον πρώτο νόμο του Newton.

Το 47% των πρωτοετών φοιτητών του τμήματος φυσικής με σφάλμα $\pm 3\%$ και το 53% των πρωτοετών φοιτητών του παιδαγωγικού με σφάλμα $\pm 3\%$ υποστηρίζουν την ίδια εναλλακτική ιδέα με τους μαθητές. Παρατηρούμε μικρότερα ποσοστά επιλογής της εναλλακτικής ιδέας από τους φοιτητές, που οφείλονται στο μικρό αριθμό των φοιτητών που υιοθετούν την ιδέα της όρμησης του Buridan. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί αποτέλεσμα της καλύτερης δυνατότητας που απέκτησαν να κατανοούν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα μιας ερώτησης σε συνδυασμό με την περαιτέρω εφαρμογή και εξοικείωση με τον πρώτο νόμο του Newton κυρίως από τους φοιτητές του Φυσικού τμήματος.

2^{ος} Νόμος Newton

Το 52% των μαθητών (με σφάλμα $\pm 3\%$) σε ερωτήσεις που αναφέρονται στο δεύτερο νόμο του Newton απαντούν σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα: «για να κινείται ένα σώμα με ταχύτητα που μεταβάλλεται πρέπει να ασκείται σε αυτό δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης η οποία να υφίσταται ανάλογη μεταβολή με την ταχύτητα». Δηλαδή όταν αυξάνεται το μέτρο της ταχύτητας πρέπει να αυξάνεται και το μέτρο της δύναμης που ασκείται προς την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα, και όταν ελαττώνεται το μέτρο της ταχύτητας να ελαττώνεται και το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο σώμα και έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας.

Το 51% των πρωτοετών φοιτητών του τμήματος φυσικής (με σφάλμα $\pm 3\%$) και το 50% των πρωτοετών φοιτητών του παιδαγωγικού τμήματος (με σφάλμα $\pm 5\%$) υποστηρίζουν την ίδια εναλλακτική ιδέα με τους μαθητές.

Παρατηρούμε ότι η κύρια εναλλακτική ιδέα είναι πολύ ισχυρή στο χρόνο και εκφράζεται από παραπλήσιο, μεγάλο ποσοστό μαθητών και φοιτητών.

3^{ος} Νόμος Newton

Η κυρίαρχη εναλλακτική ιδέα είναι ότι κατά την αλληλεπίδραση δύο σωμάτων το πιο ενεργό σώμα, δηλαδή αυτό που είναι πιο βαρύ ή αυτό που προκαλεί την κίνηση, θα ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη.

Το 55% των μαθητών (με σφάλμα $\pm 7\%$) υποστηρίζουν την παραπάνω εναλλακτική ιδέα στις απαντήσεις των ερωτήσεων που αναφέρονται στον τρίτο νόμο του Newton.

Την ίδια εναλλακτική ιδέα φαίνεται να επιλέγουν στις απαντήσεις τους οι φοιτητές του Φυσικού σε ποσοστό 44% (με σφάλμα $\pm 6\%$), και του Παιδαγωγικού σε ποσοστό 51% (με σφάλμα $\pm 1\%$).

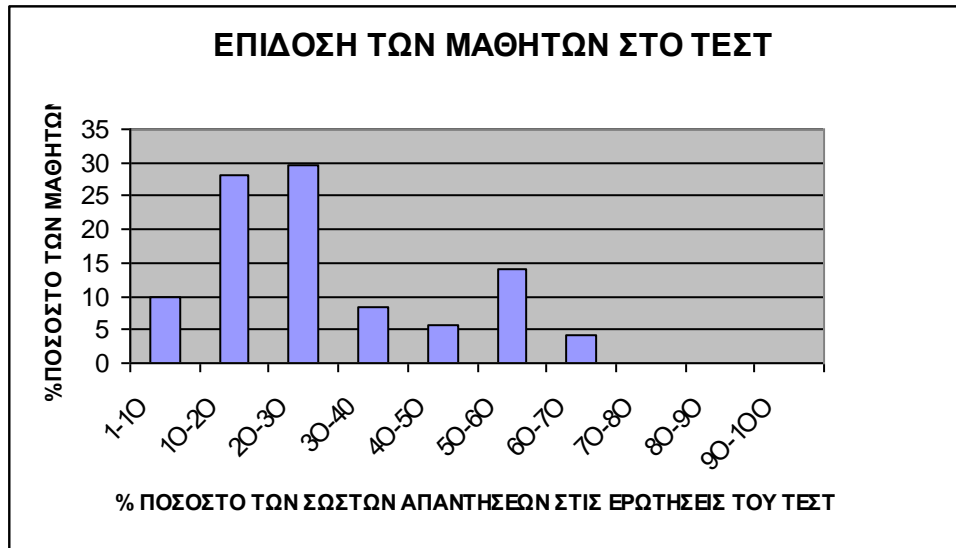
Αξίζει να αναφέρουμε την εμφάνιση μιας δευτερεύουσας εναλλακτικής ιδέας σε παραπλήσια ερώτηση των δύο ερωτηματολογίων. Όταν το όχημα που προκαλεί την κίνηση ενός άλλου αρχικά ακίνητου οχήματος, αποκτά στη συνέχεια σταθερή ταχύτητα και κινείται με αυτή, υποστηρίζεται από το 16% των μαθητών το 23% των φοιτητών του φυσικού και το 11% των φοιτητών του ΠΤΔΕ ότι κανένα όχημα δεν ασκεί δύναμη στο άλλο.

Όπως και στο δεύτερο νόμο παρατηρούμε να καταγράφονται υψηλά ποσοστά επιλογής της κύριας εναλλακτικής ιδέας και στις τρεις ομάδες σπουδαστών που δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

4.4 Συσχέτιση του ποσοστού σωστών απαντήσεων στο τεστ με τη βαθμολογία των μαθητών στις γραπτές εξετάσεις του Ιουνίου στο μάθημα της Φυσικής.

Αρχικά με βάση τα αποτελέσματα που λάβαμε από το τεστ για κάθε μαθητή επιχειρούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό των σωστών απαντήσεων που αντιστοιχούν στον καθένα ώστε να έχουμε μια εικόνα που θα αντικατοπτρίζει το βαθμό κατανόησης των εννοιών, των νόμων και αρχών που είχε θέσει ως μαθησιακό στόχο η εκπαιδευτική διαδικασία.

Στο σχήμα 14 φαίνονται τα ποσοστά επιτυχίας των μαθητών στο σύνολο των ερωτήσεων του τεστ.



Σχήμα 14: Επίδοση των μαθητών στο ερωτηματολόγιο.

Τα χαμηλά ποσοστά των σωστών απαντήσεων που καταγράφονται στις ερωτήσεις του τεστ καταδεικνύουν την αδυναμία των μαθητών στην προσέγγιση των στόχων.

Οι μαθητές σε ποσοστό που φτάνει το 76,1% δεν καταφέρνουν να απαντήσουν σωστά σε περισσότερες από το 40% των ερωτήσεων. Παρατηρούμε επίσης ότι μόνο το 18,2% των μαθητών καταφέρνει να περάσει τη βάση και να συγκεντρώσει ποσοστό πάνω από 50%.

Ο μέσος όρος των σωστών απαντήσεων των μαθητών είναι 28,3% (αντιστοιχεί περίπου σε 9,1 σωστές απαντήσεις ανά μαθητή), με το σφάλμα να φτάνει στο $\pm 1,8\%$.

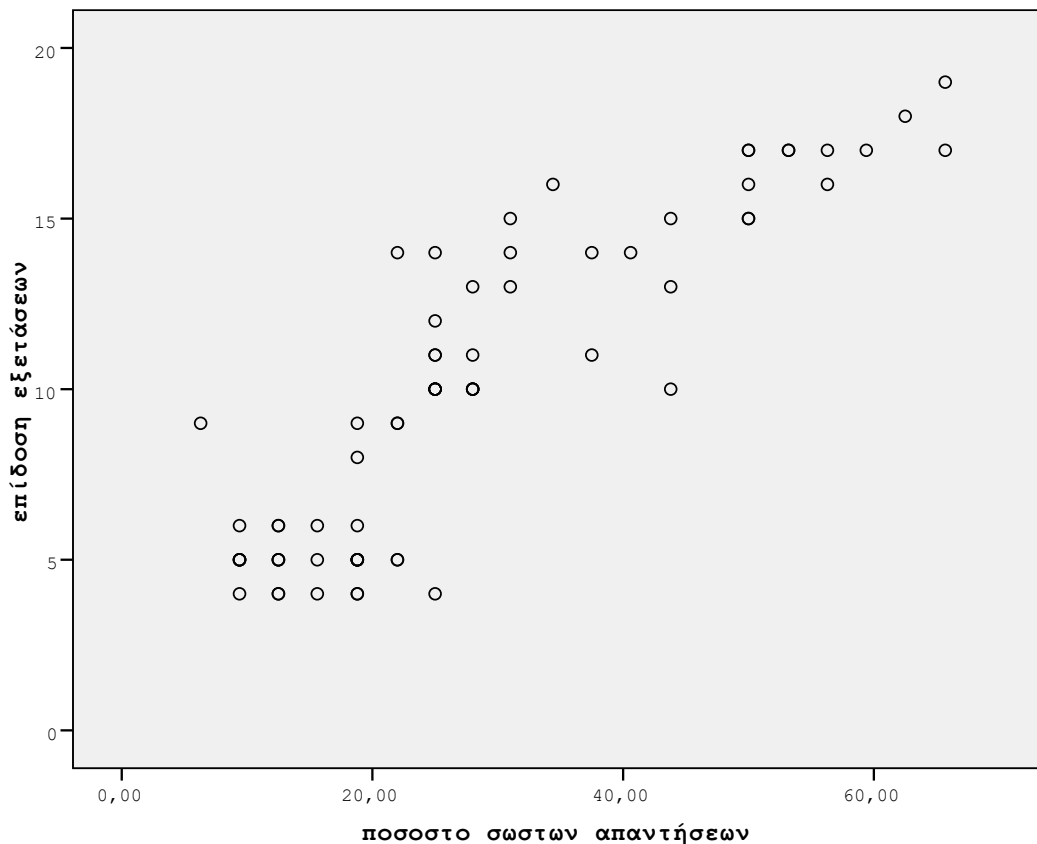
Ειδικότερα διακρίνουμε 14 μαθητές που είχαν τουλάχιστο 16 από τις 32 ερωτήσεις του τεστ σωστές δηλαδή, ποσοστό επιτυχίας μεγαλύτερο ή ίσο του 50%. Στις γραπτές εξετάσεις του Ιουνίου στο μάθημα της Φυσικής, αυτοί οι μαθητές βαθμολογήθηκαν πάνω από 15 με άριστα το 20. Οι 3 μαθητές των οποίων το ποσοστό επιτυχίας ξεπέρασε το 60%, βαθμολογήθηκαν πάνω από 17.

Οι υπόλοιποι 25 μαθητές που πέρασαν τη βάση του 10 στις γραπτές εξετάσεις του Ιουνίου (βαθμολογία από 10 ως 16) είχαν ποσοστό επιτυχίας στο τεστ από 20 ως 50%.

Παρατηρούμε ότι όλοι οι μαθητές που απάντησαν σωστά τουλάχιστο στο 50% των ερωτήσεων του τεστ είχαν επιτυχία και στην επίλυση των τυπικών ποσοτικών προβλημάτων στις γραπτές εξετάσεις.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερή μια σχέση μεταξύ της εννοιολογικής κατανόησης από τους μαθητές, που καθορίζεται με τη βοήθεια των τεστ κλειστού τύπου, και της δυνατότητας επίλυσης ποσοτικών προβλημάτων από αυτούς.

Παρακάτω στο σχήμα 15, φαίνεται το διάγραμμα σκεδασμού όπως προκύπτει από το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων SPSS για τη σχέση μεταξύ του ποσοστού σωστών απαντήσεων του κάθε μαθητή στο τεστ IBCM και του βαθμού του στη Φυσική στις γραπτές εξετάσεις του Ιουνίου. Στο διάγραμμα παρατηρούμε μια αναλογική (γραμμική) σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών (η αύξηση του ποσοστού των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις του τεστ συμβαδίζει γενικά με την αύξηση της βαθμολογίας στις γραπτές εξετάσεις).



$r=0,883>0,81$ και φανερώνει ισχυρή θετική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών η οποία είναι στατιστικά σημαντική αφού προκύπτει πιθανότητα μικρότερη του 1‰.

Επειδή όμως η κατανομή του ποσοστού επιτυχίας στις ερωτήσεις του τεστ παρουσιάζει μια κύρτωση λόγω της συσσώρευσης πολλών μαθητών σε μικρά ποσοστά και επομένως μια εκτροπή από την κανονικότητα, υπολογίσαμε και τον μη-παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Spearman.

Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman $r = 0,878>0,81$ έδειξε επίσης ότι η συνάφεια μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι πολύ ισχυρή και στατιστικά σημαντική αφού προκύπτει πιθανότητα μικρότερη του 1‰ ($p < .001$).

Το μικρό δείγμα που εξετάσαμε συμφωνεί με τις έρευνες του Hake R. το 1998 σε σχολεία και κολέγια στις Η.Π.Α. με ένα δείγμα μεγαλύτερο από 6000 σπουδαστές, οι οποίες έδειξαν ότι αυτοί που είχαν επιτύχει τα καλύτερα αποτελέσματα στο τεστ Force Concept Inventory των Hestenes, Wells, και Swackhamer (1992a) που διεξάγονταν μετά το τέλος των μαθημάτων, συνήθως είχαν και τις καλύτερες επιδόσεις στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων. Τίθεται δηλαδή η εννοιολογική κατανόηση ως προαπαιτούμενη για την ανάπτυξη εκλεπτυσμένων ικανοτήτων επίλυσης προβλημάτων. (Knight R. 2006)

4.5 Συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους.

Παρακάτω διακρίναμε διαφορετικές καταστάσεις που αντιστοιχούν κάθε φορά σε ένα νόμο ή μια αρχή, και προσπαθήσαμε να διαπιστώσουμε αν οι μαθητές μπορούν να διακρίνουν τη σχέση μεταξύ αυτών των καταστάσεων, εξετάζοντας τη συνέπεια εφαρμογής των ιδεών τους σε αυτές.

1^{ος} νόμος του Newton

Στο ερωτηματολόγιο υπάρχουν καταστάσεις (ερωτήσεις: 11, 21, 25, και 31) στις οποίες στα σώματα που κινούνται με σταθερή ταχύτητα (στις ερωτήσεις 21, 25 και 31 αναφέρεται στα δεδομένα ενώ στην ερώτηση 11 όχι) δεν ασκούνται δυνάμεις (ερώτηση 25) ή η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχονται είναι μηδέν (ερωτήσεις 11, 21 και 31).

Η ερώτηση 11 αναφέρεται στις δυνάμεις που ενεργούν σε μια μπίλια που κινείται σε λείο οριζόντιο τραπέζι αφού εξέλθει από κυκλικό κανάλι. Δεν καθορίζεται ρητά από την εκφώνηση η σταθερή ταχύτητα της κίνησης.

Η ερώτηση 25 αναφέρεται στις δυνάμεις που είναι υπεύθυνες για να κινείται με σταθερή ταχύτητα ένα διαστημόπλοιο που έχει τις μηχανές του σβηστές.

Στον πίνακα 1 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 11 και 25 σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Newton ($\Sigma F=0$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα σταθερή δύναμη ($\Sigma F \neq 0$) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 1: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 11	Ερώτηση 25
$\Sigma F=0$	28,2%	28,2%
$\Sigma F \neq 0$	71,8%	71,8%

Παρατηρούμε ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών να επιλέγουν δύναμη στην ίδια κατεύθυνση με την κίνηση.

Στον πίνακα 2 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις την νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 2: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 11	Ερώτηση 25	
$\Sigma F=0$	$\Sigma F=0$	8,4%
$\Sigma F=0$	$\Sigma F \neq 0$	19,7%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F=0$	19,7%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F \neq 0$	50,7%

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε ότι μόλις το 8,4% των μαθητών απαντούν χρησιμοποιώντας την νευτώνεια ιδέα ταυτόχρονα και στις δύο ερωτήσεις, ενώ το 50,7% των μαθητών χρησιμοποιούν την εναλλακτική ιδέα και στις δύο ερωτήσεις. Συνολικά το 59,1% των μαθητών απαντούν με συνέπεια στις ιδέες τους στις δύο ερωτήσεις. Αντίθετα το 39,4% των μαθητών δεν αναγνωρίζουν την ομοιότητα των καταστάσεων και απαντούν επιλέγοντας το νόμο του Newton για τη μια και την εναλλακτική ιδέα για την άλλη ερώτηση εμφανίζοντας ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους.

Στην ερώτηση 31 ένα κιβώτιο δέχεται σταθερή οριζόντια δύναμη \mathbf{F} και κινείται με σταθερή ταχύτητα σε οριζόντιο δάπεδο, ζητείται η σχέση που μπορεί να συνδέει το μέτρο της \mathbf{F} με τη δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση, ή με το βάρος του κιβωτίου. Στην ερώτηση αυτή υπεισέρχονται οι αντιστάσεις στην κίνηση, το βάρος που από αρκετούς μαθητές θεωρείται ότι πρέπει να υπερνικηθεί για να υπάρχει κίνηση, και μια δεδομένη δύναμη \mathbf{F} που είναι υπεύθυνη για την κίνηση, οπότε τη διαφοροποιούν από τις δύο προηγούμενες.

Συγκρίνουμε τις απαντήσεις στην 31 και την 25.

Στον πίνακα 3 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Newton ($\Sigma F=0$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα σταθερή δύναμη ($\Sigma F \neq 0$) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 3: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 31	Ερώτηση 25
$\Sigma F=0$	22,5%	28,2%
$\Sigma F \neq 0$	77,5%	71,8%

Εντυπωσιακό είναι το υψηλό ποσοστό μαθητών που θεωρούν στην ερώτηση 31 ότι η οριζόντια δύναμη F που ασκείται στο κιβώτιο πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση του κιβωτίου. Το 25% από αυτούς υποστηρίζουν ότι η τιμή της F πρέπει να είναι μεγαλύτερη και από το βάρος του κιβωτίου.

Στον πίνακα 4 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις την νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 4: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 25	Ερώτηση 31	
$\Sigma F=0$	$\Sigma F=0$	11,3%
$\Sigma F=0$	$\Sigma F \neq 0$	15,5%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F=0$	11,3%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F \neq 0$	60,5%

Αυξημένο είναι το ποσοστό των μαθητών (συνολικά 71,8%), σε σχέση με το προηγούμενο ζευγάρι απαντήσεων, που αναγνωρίζουν την ομοιότητα των καταστάσεων

και απαντούν με συνέπεια. Παρατηρούμε ότι 11,3% των μαθητών απαντούν σωστά και στις δύο ερωτήσεις χρησιμοποιώντας τη νευτώνεια ιδέα, ενώ ένα υψηλό ποσοστό 60,5% απαντούν με βάση την εναλλακτική ιδέα. Δεν είναι σταθερό στην εφαρμογή των ιδεών του το 26,8% των μαθητών.

Στην ερώτηση 21 ζητείται η σχέση που πρέπει να έχουν τα μέτρα τεσσάρων δυνάμεων που ασκούνται πάνω σε ένα δίσκο ώστε αυτός να κινείται με σταθερή ταχύτητα. Παρατηρούμε ότι στην ερώτηση αυτή δίνεται σχήμα με την παρουσία τεσσάρων δυνάμεων και κίνηση προς την κατεύθυνση της μιας.

Συγκρίνουμε τις απαντήσεις στην 31 και την 21.

Στον πίνακα 5 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Newton ($\Sigma F=0$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα σταθερή δύναμη ($\Sigma F \neq 0$) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 5: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 31	Ερώτηση 21
$\Sigma F=0$	22,5%	26,8%
$\Sigma F \neq 0$	77,5%	67,6%

Στον πίνακα 6 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 6: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 31	Ερώτηση 21	
$\Sigma F=0$	$\Sigma F=0$	10%
$\Sigma F=0$	$\Sigma F \neq 0$	17%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F=0$	11,2%
$\Sigma F \neq 0$	$\Sigma F \neq 0$	56,2%

Μόλις το 10% των μαθητών απαντούν με τη νευτώνεια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις, ενώ το 56,2% χρησιμοποιούν την εναλλακτική ιδέα για να απαντήσουν. Συνολικά αναγνωρίζουν την ομοιότητα και είναι συνεπείς στις ιδέες τους το 66,2% των μαθητών. Αντίθετα το 28,2% των μαθητών απαντούν χρησιμοποιώντας στη μια ερώτηση τη νευτώνεια και στην άλλη την εναλλακτική ιδέα δείχνοντας ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους.

2^{ος} Νόμος του Newton

Στο ερωτηματολόγιο υπάρχουν καταστάσεις (ερωτήσεις 2 και 33) στις οποίες τα σώματα κινούνται με σταθερή επιτάχυνση που οφείλεται σε σταθερή δύναμη με κατεύθυνση αντίθετη με την κίνηση, άλλες (ερωτήσεις 18, 28, 29 και 32) που η επιτάχυνση οφείλεται σε σταθερή δύναμη με κατεύθυνση ίδια με την κατεύθυνση της κίνησης ενώ στις ερωτήσεις 27 και 15 η επιτάχυνση οφείλεται σε σταθερή δύναμη με διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση της κίνησης.

Η ερώτηση 2 αναφέρεται στις δυνάμεις που ενεργούν κατά την κατακόρυφη προς τα πάνω κίνηση μιας πέτρας που εκτοξεύεται από ορισμένο σημείο. Στόχος της είναι να διερευνήσει τη συχνότητα με την οποία εμφανίζεται η απαίτηση της ύπαρξης δύναμης προς την κατεύθυνση της κίνησης ανάλογης με την ταχύτητα της πέτρας. Η μοναδική δύναμη που μπορεί να υπάρχει έχει τα χαρακτηριστικά της impetus.

Η ερώτηση 33 εξετάζει τη μορφή της κίνησης ενός κιβωτίου που ενώ κινείται σε οριζόντιο επίπεδο παύει να δέχεται την επίδραση της δύναμης που το είχε θέσει σε

κίνηση με αποτέλεσμα να ασκείται σε αυτό μόνο η δύναμη της τριβής. Στις απαντήσεις των μαθητών εμφανίζονται σχεδόν με την ίδια συχνότητα οι απόψεις με αριστοτελική και μεσαιωνική καταγωγή. Στη σύγκριση που ακολουθεί μας ενδιαφέρουν οι ιδέες που στηρίζουν την *impetus* όπως και στην ερώτηση 2.

Στον πίνακα 7 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton ($\Sigma F \sim a$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα ($F \sim u$) και προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 7: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 33	Ερώτηση 2
$\Sigma F \sim a$	33,8%	25,4%
$F \sim u$	64,8%	56,3%

Στον πίνακα 8 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 8: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 33	Ερώτηση 2	
$\Sigma F \sim a$	$\Sigma F \sim a$	9,8%
$\Sigma F \sim a$	$F \sim u$	21,1%
$F \sim u$	$\Sigma F \sim a$	15,4%
$F \sim u$	$F \sim u$	33,8%

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε ότι το 9,8% των μαθητών απαντούν σωστά και στις δύο ερωτήσεις κάνοντας χρήση του δεύτερου νόμου του Newton, και το 33,8%

χρησιμοποιούν την εναλλακτική ιδέα της ύπαρξης δύναμης ανάλογης με την ταχύτητα και κατεύθυνσης ίδιας με την κίνηση. Συνολικά εμφανίζει συνέπεια στις απαντήσεις του το 43,6% των μαθητών. Αντίθετα το 36,5% των μαθητών δεν απαντούν με συνέπεια στις ερωτήσεις εφαρμόζοντας το δεύτερο νόμο του Newton στη μία και την αναλογία δύναμης ταχύτητας στην άλλη.

Στην ερώτηση 27 η σταθερή δύναμη ασκείται από τις μηχανές του διαστημόπλοιου κάθετα στη διεύθυνση της αρχικής του κίνησης. Το ζητούμενο είναι ο τρόπος μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας του διαστημόπλοιου.

Στην ερώτηση 32 ασκούμε διπλάσια δύναμη σε σχέση με αυτή που απαιτούνταν για να κινείται με σταθερή ταχύτητα το κιβώτιο πάνω στο οριζόντιο επίπεδο. Το ζητούμενο είναι ο τρόπος μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας του κιβωτίου.

Στον πίνακα 9 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton ($\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα ($\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 9: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 32	Ερώτηση 27
$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	18,3%	28,2%
$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	66,2%	66,2%

Στην ερώτηση 27 με την εφαρμογή της δύναμης οι περισσότεροι μαθητές υποστηρίζουν μια κατ' αρχή αύξηση της ταχύτητας και μετά σταθεροποίηση της με βάση την αναλογία δύναμης – ταχύτητας. Στην ερώτηση 32 που η δύναμη έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα υποστηρίζουν την επίτευξη σταθερής ταχύτητας ανάλογης με τη δύναμη από την πρώτη στιγμή της εφαρμογής της δύναμης.

Στον πίνακα 10 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 10: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 32	Ερώτηση 27	
$\Sigma F \sim a$	$\Sigma F \sim a$	11,3%
$\Sigma F \sim a$	$F \sim u$	7%
$F \sim u$	$\Sigma F \sim a$	12,7%
$F \sim u$	$F \sim u$	47,7%

Απαντήσεις που συμφωνούν με το δεύτερο νόμο του Newton δίνουν και στις δύο ερωτήσεις το 11,3% των μαθητών ενώ απαντούν σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα το 47,7%. Συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζουν οι μαθητές σε ποσοστό 59%. Αντίθετα ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζουν οι μαθητές σε ποσοστό 19,7% και απαντούν χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Στην ερώτηση 18 ένας δίσκος κινείται χωρίς τριβές με την επίδραση ενός συνδυασμού δύο σταθερών δυνάμεων που ασκούνται ταυτόχρονα στο δίσκο. Το ζητούμενο είναι ο τρόπος μεταβολής της ταχύτητας του δίσκου.

Στον πίνακα 11 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 18 και 32 σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton (**$\Sigma F \sim a$**) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα (**$F \sim u$**) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 11: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 32	Ερώτηση 18
$\Sigma F \sim a$	18,3%	26,8%
$F \sim u$	66,2%	62%

Στον πίνακα 12 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 12: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 32	Ερώτηση 18	
$\Sigma F \sim a$	$\Sigma F \sim a$	9,8%
$\Sigma F \sim a$	$F \sim u$	8,5%
$F \sim u$	$\Sigma F \sim a$	17%
$F \sim u$	$F \sim u$	42,2%

Το 9,8% των μαθητών απαντούν και στις δύο ερωτήσεις χρησιμοποιώντας το δεύτερο νόμο του Newton και το 42,2% χρησιμοποιούν και στις δύο ερωτήσεις την εναλλακτική ιδέα. Η συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών φτάνει το 52%. Ασυνεπείς στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζονται οι μαθητές σε ποσοστό 25,5%.

Συγκρίνουμε τις απαντήσεις στις ερωτήσεις 27 και 18.

Στον πίνακα 13 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 18 και 27 σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton (**$\Sigma F \sim a$**) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα ότι πρέπει να ασκείται στο κινούμενο σώμα δύναμη ανάλογη με την ταχύτητα (**$F \sim u$**) προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Πίνακας 13: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 27	Ερώτηση 18
$\Sigma F \sim a$	28,2%	26,8%
$F \sim u$	66,2%	62%

Στον πίνακα 14 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 14: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 27	Ερώτηση 18	
$\Sigma F \sim a$	$\Sigma F \sim a$	14,1%
$\Sigma F \sim a$	$F \sim u$	11,3%
$F \sim u$	$\Sigma F \sim a$	12,7%
$F \sim u$	$F \sim u$	45%

Ποσοστό 14,1% των μαθητών απαντούν σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Newton και στις δύο ερωτήσεις και το 45% απαντούν και στις δύο σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα της αναλογίας της δύναμης με την ταχύτητα. Η συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους φθάνει το 59,1%. Αντίθετα το 24% των μαθητών εμφανίζουν ασυνέπεια χρησιμοποιώντας συνδυασμό των δύο απαντήσεων.

Στην ερώτηση 15 ζητείται ο τρόπος μεταβολής της ταχύτητας μεταλλικού δίσκου που εκτοξεύεται οριζόντια από την ταράτσα ενός κτιρίου. Στην ερώτηση αυτή όπως και στην 27 η σταθερή δύναμη εφαρμόζεται κάθετα στη διεύθυνση της αρχικής κίνησης του σώματος.

Συγκρίνουμε τις απαντήσεις στις ερωτήσεις 27 και 15.

Στον πίνακα 15 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 15 και 27 σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton (**$\Sigma F \sim a$**) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα της αναλογίας της ασκούμενης δύναμης με την ταχύτητα (**$F \sim u$**).

Πίνακας 15: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 27	Ερώτηση 15
$\Sigma F \sim a$	28,2%	35,2%
$F \sim u$	66,2%	46,5%

Στον πίνακα 16 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 16: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 27	Ερώτηση 15	
$\Sigma F \sim a$	$\Sigma F \sim a$	15,5%
$\Sigma F \sim a$	$F \sim u$	9,8%
$F \sim u$	$\Sigma F \sim a$	17%
$F \sim u$	$F \sim u$	35,2%

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε ότι συνολικά το 50,7% των μαθητών απαντούν με συνέπεια εφαρμόζοντας και στις δύο ερωτήσεις το νόμο του Newton (15,5%) ή την εναλλακτική ιδέα (35,2%). Αντίθετα το 26,8% των μαθητών δεν αναγνωρίζει την ομοιότητα των καταστάσεων και δεν εφαρμόζει την ίδια ιδέα, οπότε δεν είναι συνεπείς στην εφαρμογή των ιδεών τους.

Στην ερώτηση 28 ζητείται η σχέση μεταξύ των χρόνων που απαιτούνται από δύο όμοιους δίσκους για να διανύσουν την ίδια απόσταση όταν δέχονται ίσες δυνάμεις. Ο ένας δίσκος έχει διπλάσιο βάρος από τον άλλο. Οι μαθητές συνδέουν το χρόνο με την ταχύτητα με μια σχέση αντίστροφα ανάλογου. Η εναλλακτική ιδέα της αναλογίας δύναμης ταχύτητας

κυριαρχεί και εδώ με τη διαφορά ότι ένα ποσοστό μαθητών θεωρεί επιπρόσθετα την ταχύτητα αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα.

Στην ερώτηση 29 ζητείται η σχέση μεταξύ των μέτρων των ταχυτήτων κατά τον τερματισμό των δίσκων. Οι εναλλακτικές ιδέες δομούνται από τα ίδια χαρακτηριστικά που αναφέραμε παραπάνω.

Στον πίνακα 17 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 28 και 29 σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Newton ($\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$) και σύμφωνα με τις αντιλήψεις ($\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$ και $\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$).

Πίνακας 17: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 28	Ερώτηση 29
$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	35,2%	32,4%
$\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	21,1	18,3
$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	43,7%	49,3%

Στον πίνακα 18 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την ίδια εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 18: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 28	Ερώτηση 29	
$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	12,6%
$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$ ή $\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	22,5%
$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$ ή $\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	$\Sigma \mathbf{F} \sim \mathbf{a}$	15,6%
$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	$\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	1,4%
$\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	2,8%
$\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	$\mathbf{u} \sim \mathbf{F}/m$	9,8%
$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	$\mathbf{F} \sim \mathbf{u}$	32,3%

Συνέπεια στις ιδέες τους επιλέγοντας και τις δύο φορές απάντηση που στηρίζεται στο δεύτερο νόμο του Newton ή στην ίδια εναλλακτική ιδέα εμφανίζει το 54,7% των μαθητών, ενώ το 42,3% εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους και απαντούν χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ιδεών.

3^{ος} Νόμος Newton

Τρεις είναι οι ερωτήσεις που αναφέρονται στον τρίτο νόμο: η 22, η 23 και η 24. Το πρόβλημα περιλαμβάνει ένα φορτηγό που σπρώχνει ένα επιβατικό αυτοκίνητο. Η ερώτηση 22 αναφέρεται στο πότε και σε ποιο σώμα από τα αλληλεπιδρώντα εμφανίζονται δυνάμεις όταν το φορτηγό αρχίζει να σπρώχνει το αυτοκίνητο. Οι ερωτήσεις 23 και 24 ασχολούνται με το ποιο από τα δύο αλληλεπιδρώντα σώματα ασκεί δύναμη στο άλλο καθώς και με τη σύγκριση των μέτρων των δύο δυνάμεων (διερευνούν την εναλλακτική ιδέα της αρχής της κυριαρχίας στους μαθητές σε δύο διαφορετικές καταστάσεις). Στην 23 το φορτηγό αρχίζει να μετακινεί το αυτοκίνητο και στην 24 το σπρώχνει με σταθερή ταχύτητα.

Στον πίνακα 19 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 22 και 23 σύμφωνα με τον 3^ο νόμο του Newton (τα δύο αλληλεπιδρώντα σώματα ασκούν ταυτόχρονα το ένα στο άλλο δυνάμεις με ίσα μέτρα) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που υπαγορεύει το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα ή τη μεγαλύτερη ταχύτητα ασκεί δύναμη και μάλιστα με μεγαλύτερη τιμή.

Πίνακας 19: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν την νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 22	Ερώτηση 23
3 ^{ος} N.N.	62%	33,8%
Αρχή της κυριαρχίας	38%	63,4%

Στον πίνακα 20 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο

απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 20: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 22	Ερώτηση 23	
3 ^{ος} Ν.Ν	3 ^{ος} Ν.Ν	23,9%
3 ^{ος} Ν.Ν	Αρχή της κυριαρχίας	38%
Αρχή της κυριαρχίας	3 ^{ος} Ν.Ν	7%
Αρχή της κυριαρχίας	Αρχή της κυριαρχίας	22,5%

Παρατηρούμε το 23,9% των μαθητών να υιοθετεί το ταυτόχρονο της εμφάνισης των δυνάμεων παράλληλα με την ισότητα των μέτρων τους κατά την αλληλεπίδραση των οχημάτων, και το 22,5% να δέχεται ότι το πιο ενεργό (το φορτηγό που προκαλεί την κίνηση και έχει τη μεγαλύτερη μάζα) ασκεί πρώτο δύναμη και μάλιστα μεγαλύτερου μέτρου. Συνολικά το 46,4% των μαθητών εφαρμόζει τις ιδέες του με συνέπεια. Αντίθετα το 45% των μαθητών εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους αφού απαντούν χρησιμοποιώντας στη μια ερώτηση το νόμο δράσης – αντίδρασης και στην άλλη την εναλλακτική ιδέα.

Τέλος συγκρίνουμε τις απαντήσεις στις ερωτήσεις 23 και 24 για να διαπιστώσουμε το βαθμό συνέπειας στην εφαρμογή των ιδεών των μαθητών για την αλληλεπίδραση σε δύο διαφορετικές καταστάσεις κίνησης των αλληλεπιδρώντων σωμάτων.

Στον πίνακα 21 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 23 και 24 σύμφωνα με τον 3^ο νόμο του Newton (τα δύο αλληλεπιδρώντα σώματα ασκούν ταυτόχρονα το ένα στο άλλο δυνάμεις με ίσα μέτρα) και σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα: «η δύναμη που ασκεί το βαρύτερο σώμα έχει μεγαλύτερη τιμή».

Πίνακας 21: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν τη νευτώνεια ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 24	Ερώτηση 23
3 ^{ος} Ν.Ν.	33,8%	33,8%
Αρχή της κυριαρχίας	47,9%	63,4%

Στον πίνακα 22 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τη νευτώνεια ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό των δύο ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 22: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 24	Ερώτηση 23	
3 ^{ος} Ν.Ν	3 ^{ος} Ν.Ν	22,5%
3 ^{ος} Ν.Ν	Αρχή της κυριαρχίας	7%
Αρχή της κυριαρχίας	3 ^{ος} Ν.Ν	11,2%
Αρχή της κυριαρχίας	Αρχή της κυριαρχίας	36,6%

Το 22,5% των μαθητών απαντούν και στις δύο ερωτήσεις με βάση το νόμο δράσης – αντίδρασης, και το 36,6% με βάση την αρχή της κυριαρχίας. Η συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών φτάνει το 59,1%. Αντίθετα το 18,2% των μαθητών απαντούν στη μια ερώτηση με βάση το 3^ο νόμο του Newton και στην άλλη με βάση την εναλλακτική ιδέα και εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους.

Νόμοι κίνησης

Οι ερωτήσεις 5 και 6 αναφέρονται στην ελεύθερη πτώση δύο όμοιων μεταλλικών σφαιρών από το ίδιο ύψος, αλλά με τη μία να έχει διπλάσιο βάρος από την άλλη.

Η ερώτηση 6 αναφέρεται στον τρόπο μεταβολής των ταχυτήτων των δύο σφαιρών κατά την πτώση τους. Ενώ η ερώτηση 5 συγκρίνει τους χρόνους που απαιτούνται για την πτώση τους.

Στο ζευγάρι των παραπάνω ερωτήσεων γίνεται εμπλοκή εννοιών και νόμων της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης.

Η εναλλακτική ιδέα που κυριαρχεί είναι η σχέση του βάρους της σφαίρας με την ταχύτητα που αυτή αποκτά (η βαρύτερη σφαίρα αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα και ως συνέπεια απαιτεί μικρότερο χρόνο για να διανύσει την ίδια απόσταση ή πιο απλά τα βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα).

Στον πίνακα 23 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 5 και 6 σωστά εφαρμόζοντας τους κατάλληλους νόμους και αυτών που απάντησαν σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα .

Πίνακας 23: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν τη σωστή ή την εναλλακτική απάντηση στις δύο ερωτήσεις.

	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6
Σωστή	31%	31%
Εναλλακτική	38%	42,3%

Στον πίνακα 24 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των δύο καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια χρησιμοποιώντας και στις δύο απαντήσεις τους νόμους της κίνησης ή την εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 24: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα και στις δύο ερωτήσεις ή ένα συνδυασμό των δύο ιδεών.

Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	
Σωστή	Σωστή	18,3%
Σωστή	Εναλλακτική	12,7%
Εναλλακτική	Σωστή	12,7%
Εναλλακτική	Εναλλακτική	24%

Από τους 22 μαθητές που απαντούν σωστά στην ερώτηση 5 υποστηρίζοντας την ανεξαρτησία της διάρκειας της κίνησης με δεδομένη επιτάχυνση από τη μάζα του σώματος οι 13 απαντούν σωστά και στην ερώτηση 6 στηριζόμενοι στην αναλογία της ταχύτητας του σώματος με τη χρονική διάρκεια της προηγούμενης κίνησης, ποσοστό 18,3% των μαθητών, ενώ το 24% επιμένει να χρησιμοποιεί την ίδια εναλλακτική ιδέα. Συνολικά συνεπείς στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζονται οι μαθητές σε ποσοστό 42,3%. Το 25,4% των μαθητών χρησιμοποιούν στη μια ερώτηση τους νόμους της κίνησης οπότε απαντούν σωστά και στην άλλη παρασύρονται από την εναλλακτική ιδέα.

Σύνθεση κινήσεων

Οι ερωτήσεις 12, 13 και 26 αναφέρονται στο είδος της τροχιάς που θα ακολουθήσει ένα σώμα το οποίο ενώ κινείται με σταθερή ταχύτητα δέχεται σταθερή δύναμη με διεύθυνση κάθετη στην αρχική διεύθυνση κίνησης του σώματος.

Στην ερώτηση 12 μια μπάλα του μπόουλινγκ αφήνεται να πέσει από αεροπλάνο που πετάει σε οριζόντια τροχιά.

Στην ερώτηση 13 ένας μεταλλικός δίσκος του χόκεϋ εκτοξεύεται οριζόντια από την άκρη μιας ταράτσας.

Στην ερώτηση 26 ένα διαστημόπλοιο που κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα δέχεται σταθερή δύναμη με διεύθυνση κάθετη στην αρχική διεύθυνση κίνησης του.

Ζητείται η μορφή της τροχιάς που θα ακολουθήσουν τα σώματα σύμφωνα με ακίνητο παρατηρητή στη Γη.

Οι εναλλακτικές ιδέες που αναδεικνύουν οι επιλογές των μαθητών είναι: η πλάγια ευθύγραμμη τροχιά που φαίνεται ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της αρχικής impetus και της ασκούμενης δύναμης από τις μηχανές, και η κατακόρυφη τροχιά που είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της ασκούμενης δύναμης (με την εφαρμογή της δύναμης το σώμα ακολουθεί αποκλειστικά την κατεύθυνσή της).

Συγκρίνουμε τις επιλογές των μαθητών στις ερωτήσεις 12 και 13.

Στον πίνακα 25 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν στις ερωτήσεις 12 και 13 σωστά εφαρμόζοντας τους κατάλληλους νόμους και αυτών που απάντησαν χρησιμοποιώντας την ίδια εναλλακτική ιδέα.

Πίνακας 25: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν τη σωστή ή την εναλλακτική απάντηση στις ερωτήσεις.

	Ερώτηση 12	Ερώτηση 13
Σωστή	35,7%	25,4
Εναλλακτική	27,1%	33,8

Στον πίνακα 26 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια επιλέγοντας τη σωστή ή την ίδια εναλλακτική τροχιά, καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 26: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα ή ένα συνδυασμό των ιδεών.

Ερώτηση 12	Ερώτηση 13	
Σωστή	Σωστή	8,4%
Σωστή	Εναλλακτική	8,4%
Εναλλακτική	Σωστή	8,4%
Εναλλακτική	Εναλλακτική	9,8%

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζει συνολικά το 18,2% των μαθητών, αντίθετα το 16,8% των μαθητών εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους επιλέγοντας ένα συνδυασμό που περιέχει στη μία ή στις δύο ερωτήσεις τη σωστή απάντηση και στις άλλες την εναλλακτική.

Συγκρίνουμε τις επιλογές των μαθητών στις ερωτήσεις 12 και 26.

Στον πίνακα 27 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν σωστά εφαρμόζοντας τους κατάλληλους νόμους και αυτών που απάντησαν χρησιμοποιώντας την ίδια εναλλακτική ιδέα.

Πίνακας 27: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν τη σωστή ή την εναλλακτική απάντηση στις ερωτήσεις.

	Ερώτηση 12	Ερώτηση 26
Σωστή	35,7%	25,4%
Εναλλακτική	28,6%	42,3%

Στον πίνακα 28 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια επιλέγοντας τη σωστή ή την ίδια

εναλλακτική τροχιά, καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 28: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα ή ένα συνδυασμό των ιδεών.

Ερώτηση 12	Ερώτηση 26	
Σωστή	Σωστή	7%
Σωστή	Εναλλακτική	8,4%
Εναλλακτική	Σωστή	15,5%
Εναλλακτική	Εναλλακτική	11,2%

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζει συνολικά το 18,2% των μαθητών, αντίθετα το 23,9% των μαθητών εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους επιλέγοντας ένα συνδυασμό που περιέχει στη μία τη σωστή απάντηση και στην άλλη την εναλλακτική.

Εξέλιξη μιας κίνησης

Η εξέλιξη μιας κίνησης από μια χρονική στιγμή και μετά εξαρτάται μόνο από την από την ταχύτητα του σώματος τη δεδομένη χρονική στιγμή και την αλληλεπίδραση του με άλλους παράγοντες, ενώ είναι ανεξάρτητη από την προγενέστερη κίνηση.

Οι ερωτήσεις 9 και 10 αναφέρονται στην παραπάνω θεώρηση. Η κυρίαρχη εναλλακτική ιδέα είναι η δυνατότητα που προσδίδουν στο κινούμενο σώμα να αποθηκεύει ένα είδος ορμής (impetus) με την επίδραση της οποίας τείνει να συντηρήσει την προγενέστερη κίνηση.

Στον πίνακα 29 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν σωστά εφαρμόζοντας τους κατάλληλους νόμους και αυτών που απάντησαν χρησιμοποιώντας την εναλλακτική ιδέα της impetus.

Πίνακας 29: Ποσοστά των μαθητών που επέλεξαν τη σωστή ή την εναλλακτική απάντηση στις ερωτήσεις.

	Ερώτηση 9	Ερώτηση 10
Σωστή	29,6%	25,4%
Εναλλακτική	70,4%	66,2%

Στον πίνακα 30 φαίνονται τα ποσοστά των μαθητών που αναγνώρισαν την ομοιότητα των καταστάσεων και απάντησαν με συνέπεια επιλέγοντας και στις δύο ερωτήσεις τη σωστή ή την ίδια εναλλακτική ιδέα καθώς και αυτών που χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό ιδεών μη αναγνωρίζοντας την ομοιότητα.

Πίνακας 30: Ποσοστά των μαθητών που λειτούργησαν χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα ή ένα συνδυασμό των ιδεών.

Ερώτηση 9	Ερώτηση 10	
Σωστή	Σωστή	9,8%
Σωστή	Εναλλακτική	19,7%
Εναλλακτική	Σωστή	15,5%
Εναλλακτική	Εναλλακτική	43,6%

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε συνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους εμφανίζει συνολικά το 53,4% των μαθητών, αντίθετα το 35,2% των μαθητών εμφανίζουν ασυνέπεια στην εφαρμογή των ιδεών τους επιλέγοντας ένα συνδυασμό που περιέχει στη μία τη σωστή απάντηση και στην άλλη την εναλλακτική.

Οι επιλογές των μαθητών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το περιεχόμενο του προβλήματος (διατύπωση, και κατάσταση που ερευνάται) και τη μορφή των πιθανών απαντήσεων που προτείνονται. Δεν σκέφτονται με βάση τις βαθύτερες φυσικές αρχές και τους νόμους που ενοποιούν τα προβλήματα αλλά κυρίως με τις περιγραφόμενες από το κάθε πρόβλημα καταστάσεις και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που τους οδηγούν σε ποικίλες κατηγοριοποιήσεις.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τα ευρήματα της έρευνας συμφωνούν με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Halloun & Hestenes 1985, Alan Van Heuvelen 1991, Hake 1998) που υποστηρίζουν μικρή διαφοροποίηση των ιδεών των μαθητών μετά από μια διδασκαλία παραδοσιακού τύπου με συνέπεια λίγοι μόνο σπουδαστές να ανταποκρίνονται στις αρχές της νευτώνειας μηχανικής.

Οι μαθητές διατηρούν σε μεγάλο βαθμό τις εναλλακτικές ιδέες τους σχετικά με τη δύναμη και την κίνηση στη μηχανική μετά την ολοκλήρωση της κύριας διδακτικής διαδικασίας που περιλάμβανε μια παρουσίαση των εννοιών και των νόμων στη

B' Γυμνασίου καθώς και μια βαθύτερη ενασχόληση με αυτές και εφαρμογή τους σε προβλήματα, στην Α' Λυκείου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές είχαν ήδη διαμορφωμένες απόψεις για τον τρόπο λειτουργίας των φαινομένων οι οποίες δεν τροποποιήθηκαν από τη διδακτική διαδικασία και έτσι επανεμφανίζονται αναλλοίωτες και χρησιμοποιούνται συστηματικά ή παρατηρείται εναλλαγή στην εφαρμογή τους με την επιστημονική γνώση ανάλογα με το πρόβλημα.

Συγκεκριμένα από τα στοιχεία της έρευνας προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις: Ένας στους τέσσερεις μαθητές εφαρμόζει το νόμο της αδράνειας ενώ σχεδόν το 70% των μαθητών θεωρούν απαραίτητη την εφαρμογή δύναμης στο κινούμενο αντικείμενο προς την κατεύθυνση της κίνησης ώστε να διατηρείται η ταχύτητα του σταθερή, και μάλιστα πιστεύουν ότι η σταθερή ταχύτητα θα είναι ανάλογη της ασκούμενης δύναμης.

Ένας στους τέσσερεις μαθητές επίσης εφαρμόζει το δεύτερο νόμο του Newton ενώ περισσότεροι από το 50% θεωρούν την ταχύτητα ανάλογη με την ασκούμενη δύναμη. Στην περίπτωση της επιταχυνόμενης κίνησης επιλέγουν μια δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης με μέτρο που αυξάνεται και στην επιβραδυνόμενη κίνηση επιλέγουν ασκούμενη δύναμη στην ίδια φορά με την κίνηση και με μέτρο που μειώνεται.

Ένας στους τρεις μαθητές εφαρμόζει το νόμο δράσης – αντίδρασης ενώ σε ποσοστό 55% συνεχίζουν να εκφράζουν την ισχυρή εναλλακτική ιδέα σύμφωνα με την οποία το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα θα ασκεί και τη μεγαλύτερη δύναμη.

Μεγάλη δυσκολία αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη διάκριση και διαχείριση των εννοιών θέση, ταχύτητα και επιτάχυνση. Στην ερώτηση 7 σχεδόν το 70% των μαθητών επιμένουν

στην εναλλακτική ιδέα ότι όταν δύο σώματα κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση σε δεδομένο αδρανειακό σύστημα αναφοράς και βρίσκονται την ίδια χρονική στιγμή στην ίδια θέση θα έχουν και την ίδια ταχύτητα ενώ στην ερώτηση 8 το 80% των μαθητών δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσουν και να διαχειριστούν την έννοια της επιτάχυνσης.

Συνολικά παρατηρούμε ότι το 76,1% των μαθητών δεν καταφέρνουν να απαντήσουν σωστά σε περισσότερες από το 40% των ερωτήσεων και μόνο τρεις μαθητές καταφέρνουν να απαντήσουν σωστά σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60% των ερωτήσεων του τεστ και να φτάσουν στο αποκαλούμενο από τον D. Hestenes νευτώνειο κατώφλι (για το τεστ Force Concept Inventory, Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

Από τη σύγκριση των σωστών απαντήσεων μαθητών και φοιτητών φυσικής ο έλεγχος Mann – Whitney δείχνει σημαντική διαφορά στους μέσους όρους των σωστών απαντήσεων που αφορούν τον πρώτο νόμο του Newton, η διαφορά αυτή αντικατοπτρίζει την καλύτερη κατανόηση και εφαρμογή του νόμου της αδράνειας από τους φοιτητές του φυσικού τμήματος. Αντίθετα κατά τη σύγκριση των σωστών απαντήσεων μαθητών και φοιτητών του παιδαγωγικού ο έλεγχος Mann – Whitney δεν δείχνει σημαντική διαφορά στους μέσους όρους παρότι αρχικά φαίνεται να υπερέχουν οι φοιτητές.

Στον ίδιο νόμο οι περισσότεροι από τους μαθητές (70%) απαντούν σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί απαραίτητη την άσκηση δύναμης στην κατεύθυνση της κίνησης : «για να κινείται ένα σώμα με σταθερή ταχύτητα πρέπει να ασκείται πάνω του μια σταθερή δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης». Η ανάγκη για την ύπαρξη της δύναμης αυτής οδηγεί πολλές φορές τους μαθητές, λόγω απουσίας άλλων δυνάμεων, στην αποδοχή μιας εσωτερικής δύναμης (impetus) που αποθηκεύεται στο σώμα. Στις μικρότερες ηλικίες αποδίδουν τη δύναμη συνήθως στην αρχική ώθηση που δέχεται το κινούμενο σώμα και την αντιμετωπίζουν ως μια εσωτερική δύναμη ή όρμηση, όπως την ονόμασε ο Buridan, σύμφωνα με την οποία το σώμα αποθηκεύει την αρχική ώθηση και με αυτή συνεχίζει την κίνησή του. (Halloun & Hestenes, 1985, Champagne κ.α., 1980, Thornton 1998). Το ποσοστό των φοιτητών που υποστηρίζουν την αναγκαιότητα της ύπαρξης δύναμης στην ίδια κατεύθυνση με τη κίνηση είναι μικρότερο σε σύγκριση με τους μαθητές αλλά παραμένει εντυπωσιακά υψηλό (42%).

Στο δεύτερο νόμο του Newton το ποσοστό επιτυχίας των μαθητών (27%) είναι το ίδιο χαμηλό με αυτό των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού ενώ το ποσοστό των πρωτοετών φοιτητών του Παιδαγωγικού τμήματος είναι ακόμη χαμηλότερο (22%). Ο έλεγχος Mann – Whitney που εφαρμόσαμε δεν έδειξε σημαντική διαφορά στους μέσους όρους.

Η απήχηση της εναλλακτικής ιδέας που θεωρεί ότι για να κινείται ένα σώμα με ταχύτητα που μεταβάλλεται πρέπει να ασκείται σε αυτό δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης η οποία να υφίσταται ανάλογη μεταβολή με την ταχύτητα (δηλαδή αναλογία δύναμης – ταχύτητας) είναι πολύ μεγάλη σε ποσοστά 52,3%, 51,3%, και 50% αντίστοιχα για μαθητές φοιτητές φυσικού και φοιτητές παιδαγωγικού τμήματος, και παρατηρούμε ότι μένει ανεπηρέαστη από την ηλικία και το μορφωτικό επίπεδο των σπουδαστών.

Στον τρίτο νόμο του Newton διαπιστώνουμε μικρή υπεροχή των φοιτητών του Φυσικού τμήματος το ποσοστό των σωστών απαντήσεων των οποίων ανέρχεται σε 39%, σε σχέση με τους μαθητές (33,8%) οι οποίοι εμφανίζουν παραπλήσια ποσοστά με τους φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος (35%). Ο έλεγχος Mann – Whitney όμως δεν δείχνει σημαντική διαφορά στους μέσους όρους για τις τρεις ομάδες των σπουδαστών.

Η εναλλακτική ιδέα που θεωρεί ότι κατά την αλληλεπίδραση δύο σωμάτων το πιο ενεργό σώμα, δηλαδή αυτό που είναι πιο βαρύ ή αυτό που προκαλεί την κίνηση, θα ασκεί τη μεγαλύτερη δύναμη εκφράζεται από την πλειοψηφία των σπουδαστών με ποσοστά 55% για τους μαθητές, 44% για τους φοιτητές του Φυσικού και 51% για τους φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος.

Παρατηρούμε τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων των μαθητών να είναι πολύ κοντά με αυτά των πρωτοετών φοιτητών του Φυσικού τμήματος και των φοιτητών του Παιδαγωγικού τμήματος στους δύο τελευταίους νόμους του Newton. Οι δυσκολίες που συναντούν οι σπουδαστές και των δύο βαθμίδων στην εφαρμογή των Νευτώνειων ιδεών είναι εμφανείς και μάλιστα δεν παρατηρείται ουσιαστική βελτίωση στην τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών που αναφέρονται στη σχέση της δύναμης με τη ταχύτητα (στις ερωτήσεις που σχετίζονται με το δεύτερο νόμο του Newton) και στην αρχή της κυριαρχίας (στις ερωτήσεις που σχετίζονται με το τρίτο νόμο του Newton).

Η κύρια αιτία των μικρών ποσοστών επιτυχίας για τους φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος είναι ότι στην πλειοψηφία τους είναι απόφοιτοι της θεωρητικής κατεύθυνσης οπότε μοιραία δεν ασχολούνται με τη φυσική τα δύο τελευταία χρόνια της φοίτησής

τους στο Λύκειο. Το γεγονός αυτό προσφέρει γόνιμο έδαφος για την εκ νέου επικράτηση ορισμένων εναλλακτικών ιδεών που ήταν υπό αμφισβήτηση και τη θεμελίωση ενός μωσαϊκού ιδεών αποτελούμενου από τις εναλλακτικές και τις Νευτώνειες ιδέες που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή των νόμων του Newton κατά το πρώτο έτος φοίτησής τους στο Πανεπιστήμιο. Οι δε φοιτητές του Φυσικού τμήματος έχουν περισσότερες ευκαιρίες για την εφαρμογή των νόμων του Newton κυρίως στη φυσική της Γ' Λυκείου αλλά η χρήση γίνεται τυποποιημένα στο πλαίσιο μιας μεθοδολογίας που εφαρμόζεται για την επίλυση ασκήσεων με στόχο την επιτυχία στις Πανελλαδικές εξετάσεις χωρίς να προσφέρει τα αναμενόμενα όσον αφορά στη καλύτερη κατανόηση και εφαρμογή των νόμων σε φαινόμενα της καθημερινής ζωής.

Στο μικρό δείγμα της έρευνας προέκυψε ισχυρή συνάφεια μεταξύ του ποσοστού των σωστών απαντήσεων κάθε μαθητή στο τεστ, όπου αντικατοπτρίζεται η εννοιολογική κατανόηση που επιτεύχθηκε από αυτόν, και του βαθμού του συγκεκριμένου μαθητή στο μάθημα της φυσικής στις τελικές προαγωγικές εξετάσεις του Ιουνίου που είναι ενδεικτικός της ικανότητας του να επιλύει ποσοτικά προβλήματα. Η αναλογική σχέση μεταξύ των δύο παραπάνω μεταβλητών φαίνεται από το διάγραμμα σκεδασμού όπως αυτό προέκυψε από το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων SPSS, καθώς και από τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson (0,883) και του μη-παραμετρικού συντελεστή συσχέτισης Spearman ($r = 0,878$) που δείχνουν ότι η συνάφεια μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι πολύ ισχυρή και στατιστικά σημαντική αφού προκύπτει πιθανότητα μικρότερη από 1‰ ($p < .001$).

Το παραπάνω αποτέλεσμα συμφωνεί με τα ευρήματα της έρευνας μεγάλης κλίμακας που διεξήχθη από τον Hake το 1998 όπου διαπιστώθηκε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του τεστ FCI και των βαθμών των τελικών εξετάσεων και οδήγησε στο συμπέρασμα: Οι ικανότητες των σπουδαστών στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων βελτιώνονται αν φροντίσουμε να έχουν μια ισχυρή εννοιολογική κατανόηση της φυσικής.

Η συνέπεια των μαθητών στην εφαρμογή των ιδεών τους είτε πρόκειται για τις επιστημονικά ορθές είτε για τις εναλλακτικές είναι μικρή. Οι απαντήσεις τους στο τεστ εξαρτώνται από το περιεχόμενο του προβλήματος, έτσι παρατηρούμε σε διαφορετικές καταστάσεις που αποτελούν όμως εφαρμογές του ίδιου νόμου ή αρχής να μην

αντιλαμβάνονται την ομοιότητα και να χρησιμοποιούν στη μια τον κατάλληλο νόμο ή αρχή και στην άλλη την εναλλακτική ιδέα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τις ερωτήσεις 11 και 25 που αποτελούν εφαρμογές του πρώτου νόμου του Newton (κίνηση με σταθερή ταχύτητα), όπου ένα ποσοστό μαθητών που προσεγγίζει το 40% χρησιμοποιεί στη μια τον πρώτο νόμο ενώ στην άλλη απαντά σύμφωνα με την εναλλακτική ιδέα της αναγκαιότητας να ασκείται σταθερή δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης. Στις ερωτήσεις 2 και 33 που αποτελούν εφαρμογές του δεύτερου νόμου του Newton το 36,5% των μαθητών εφαρμόζει το νόμο στη μια ερώτηση ενώ στην άλλη την εναλλακτική ιδέα που θεωρεί ότι η δύναμη πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα. Αναφέρουμε τέλος και τις ερωτήσεις 22 και 23 που αποτελούν εφαρμογές του τρίτου νόμου του Newton, στις οποίες το 45% των μαθητών απαντά χρησιμοποιώντας το νόμο δράσης – αντίδρασης στη μία και την εναλλακτική ιδέα που εκφράζει την αρχή της κυριαρχίας στην άλλη.

Σύμφωνα με τον Randal Knight οι γνώσεις των μαθητών δεν είναι οργανωμένες στη βάση φυσικών αρχών όπως είναι στους καθηγητές φυσικής, αλλά αποτελούνται από ένα πλήθος διακριτών γεγονότων και εξισώσεων που συνδέονται χαλαρά μεταξύ τους. Δεν διακρίνουν για παράδειγμα καταστάσεις που περιγράφονται από τον δεύτερο νόμο του Newton ώστε στη συνέχεια να ανακαλέσουν την κατάλληλη εξίσωση, αλλά αντιλαμβάνονται προβλήματα: Κίνησης σωμάτων σε οριζόντιο ή κεκλιμένο επίπεδο, εφαρμογής δυνάμεων με φορείς παράλληλους στο επίπεδο κίνησης ή που σχηματίζουν τυχαία γωνία με αυτό, πτώσης σωμάτων κ.τ.λ. μη μπορώντας να αναγνωρίσουν τις ομοιότητες που συνδέουν τις παραπάνω καταστάσεις. Συνέπεια των παραπάνω είναι να μην αναπτύσσουν λειτουργική κατανόηση των νόμων και των αρχών της φυσικής, να μη μπορούν εφαρμόσουν με συνέπεια τις γνώσεις τους και να επιχειρηματολογήσουν για προβλήματα ή καταστάσεις που αντιστοιχούν στον ίδιο νόμο ή αρχή.

Θεωρείται απαραίτητη η αλλαγή στη κατεύθυνση της διδακτικής διαδικασίας ώστε αυτή να στοχεύει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι οι δυσκολίες των μαθητών δεν οφείλονται στην «ανοησία» και τη δυστροπία τους αλλά έχουν ρίζες σε φαινομενικά ορθές ακολουθίες συλλογισμών και στην εμπειρία. Ενισχύονται δε σημαντικά από την επιμονή μας να χρησιμοποιούμε λανθασμένα όχι μόνο στην καθημερινότητα αλλά και

στη διδακτική διαδικασία όρους όπως αδράνεια, μάζα, δύναμη, ορμή ενέργεια, ισχύ, με τη σημασία που έχουν πριν τους αποδώσουμε το ακριβές λειτουργικό νόημα στο πλαίσιο της φυσικής επιστήμης. Η επιλογή αυτή οδηγεί και τους μαθητές μας στη λανθασμένη χρήση των παραπάνω όρων είτε όταν σκέφτονται και δημιουργούν συλλογισμούς είτε κατά την επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ τους στη διδακτική διαδικασία με αποτέλεσμα να προκαλούνται περισσότερες δυσκολίες στην τροποποίηση των εναλλακτικών τους αντιλήψεων.

Πολλές φορές ο ανεπαρκής διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης και οι διάφορες γλωσσικές δυσκολίες κάνουν αδύνατη την προσέγγιση της γνώσης από τους μαθητές και επιφέρουν σύγχυση στην επικοινωνία τους με το δάσκαλο με αποτέλεσμα την υποτίμηση συγκεκριμένων προβλημάτων και τη θεώρηση της ευνόητης εννοιολογικής κατανόησης και συλλογιστικής παραδοχής που οδηγεί στην αποτυχημένη προσέγγιση των διδακτικών στόχων. Απαραίτητη θεωρείται η σχολαστική καθοδήγηση των καθηγητών για την πλήρη αποσαφήνιση και δόμηση εννοιών και νοημάτων από τους μαθητές. Η πολλαπλή αναπαράσταση της επιστημονικής γνώσης θεωρείται ότι βοηθά στο σκοπό αυτό διότι επιφέρει την ανάπτυξη της φυσικής διαίσθησης των μαθητών γύρω από τα φυσικά φαινόμενα. Για παράδειγμα μια κίνηση μπορεί να περιγραφεί: Λεκτικά, με σχήματα (σημειώνουμε την αρχή, το τέλος, καθώς και πιθανές ενδιάμεσες θέσεις που ενδιαφέρουν, τα σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν, και τα διανύσματα της ταχύτητας και της επιτάχυνσης, στις προαναφερόμενες θέσεις πάνω στη διεύθυνση της κίνησης), γραφικά (με το σχεδιασμό γραφικών παραστάσεων θέσης, ταχύτητας, επιτάχυνσης, σε συνάρτηση με το χρόνο), μαθηματικά (με τη χρήση εξισώσεων της κινηματικής).

Η αιτία που τροφοδότησε την έρευνα για την εξεύρεση νέων τρόπων διδακτικής προσέγγισης ήταν η υπόθεση ότι οι αντιλήψεις των παιδιών εμποδίζουν την ανάπτυξη σωστών δομών και γενικότερα εμποδίζουν τη μαθησιακή διαδικασία. Η έρευνα απέδειξε την αδυναμία της μετάδοσης και αποθήκευσης πληροφοριών και γνώσεων από το δάσκαλο ή το βιβλίο προς το μαθητή και οδήγησε στην διατύπωση νέων θεωριών μάθησης με δεσπόζουσα την κονστρουκτιβιστική που στηρίζει την ενεργητική εμπλοκή του μαθητή στην οικοδόμηση της γνώσης από τον ίδιο πάνω στις ήδη δομημένες αντιλήψεις που διαθέτει. (Driver & Oldham 1986)

Η εννοιολογική αλλαγή πραγματοποιείται πιο εύκολα απ' ό τι στην παραδοσιακή διδασκαλία όταν οι μαθητές εμπλέκονται με ενεργό τρόπο στην πειραματική διαδικασία, κάνοντας αρχικά μια πρόβλεψη για το αποτέλεσμα του πειράματος η οποία θα εκφράζει τις ιδέες τους για τα φυσικά φαινόμενα, αλληλεπιδρώντας στη συνέχεια με τους συμμαθητές τους συζητώντας τις ιδέες αυτές, και συγκρίνοντας τελικά την πρόβλεψη τους με τα αποτελέσματα του πειράματος. Είναι χρήσιμο να συνδεθεί η επιστημονική γνώση με εφαρμογές της καθημερινής ζωής ώστε να αποκτήσει κύρος στο νου των μαθητών και να διευρύνει τη φυσική τους σκέψη. Πρέπει να τονίσουμε ότι απαραίτητη θεωρείται η άμεση ανατροφοδότηση για το αποτέλεσμα της δουλειάς τους όπου θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στη σύγκρουση του πειραματικού αποτελέσματος με τις εναλλακτικές ιδέες που είχαν εκφράσει αρχικά οι μαθητές έτσι ώστε να υιοθετήσουν τις επιστημονικά ορθές ιδέες .

Από την έρευνα στη διδακτική της φυσικής προκύπτουν αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις που βοηθούν στη δημιουργία περιβάλλοντος ενεργού μάθησης. Ορισμένες από τις προσεγγίσεις αυτές στηρίζονται σε μικρές διαλέξεις ακολουθούμενες από ένα απλό τεστ που ελέγχει την εννοιολογική κατανόηση (Διδασκαλία από τον διπλανό Mazour 1997, Σκέφτομαι / Μοιράζομαι / Συζητώ Knight 2006, Προπαρασκευαστικά μαθήματα Mc Dermot, Shaffer 1998, Ασκήσεις κατάταξης O'Kuma, Maloney, Hieggelke, 2000) είτε σε πειραματικές επιδείξεις και δραστηριότητες (Αλληλεπιδραστικές επιδείξεις Knight 2006, Εργαστήρι Φυσικής Laws 1991, 1997a, Επαγωγικά εργαστήρια με τη χρήση του σωκρατικού διαλόγου Hake 1992) κύρια χαρακτηριστικά όμως όλων είναι η ανάδειξη των εναλλακτικών ιδεών των σπουδαστών, η αλληλεπίδραση μεταξύ τους, και η άμεση ανατροφοδότηση από τον διδάσκοντα.

Όπως αναφέρει ο Arons 1992, δεν αρκεί να ενσταλάξουμε νόμους και κανόνες στο νου των μαθητών μέσω προφορικής παρουσίασης η οποία μπορεί να συνοδεύεται από λίγες επιδείξεις για τη συμπεριφορά των σωμάτων που υπακούουν σε αυτούς, διότι μπορεί να απομνημονεύουν και να επαναλαμβάνουν προφορικά τους νόμους αλλά όταν αναγκαστούν να τους χρησιμοποιήσουν για να προβλέψουν την εξέλιξη ενός φυσικού φαινομένου ή να περιγράψουν τι συμβαίνει σε πραγματικές φυσικές καταστάσεις επιστρέφουν στις αρχικές πρωτογενείς αντιλήψεις τους. Είναι αναγκαίο οι μαθητές λειτουργώντας ενεργητικά να αποκτήσουν κιναισθητική εμπειρία και να υποπέσουν σε

λάθη συναντώντας τις ασυνέπειες που προκύπτουν από την εφαρμογή των εναλλακτικών τους αντιλήψεων οπότε να τις αναθεωρήσουν.

Ένα ζήτημα που απασχόλησε κατά καιρούς την έρευνα είναι ο χρόνος δημιουργίας των εναλλακτικών ιδεών στα παιδιά και το ερώτημα πως μπορούμε να τις προλάβουμε ώστε στη θέση τους να σχηματισθούν οι ορθές. Το παραπάνω ζήτημα σχετίζεται με τον προβληματισμό της εκπαιδευτικής κοινότητας σε σχέση με την ηλικία που πρέπει να αρχίσει η διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο σχολείο. Πειράματα έχουν δείξει ότι αν η διδασκαλία γίνει με τον κατάλληλο τρόπο μπορεί να ξεκινήσει σε μικρότερη ηλικία από αυτή που αρχίζει σήμερα ώστε να προλάβουμε τη δημιουργία ή τουλάχιστο την παγίωση των εσφαλμένων αντιλήψεων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί σχετικά προγράμματα όπως το COPEs (Conceptually oriented program in elementary science) που αφορούν το μάθημα των φυσικών επιστημών (Φυσική, Χημεία, Βιολογία, Γεωλογία), και προορίζονται για τις έξι τάξεις του Δημοτικού σχολείου. (Παταπής 1995).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arons A. (1992), Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής, εκδόσεις Τροχαλία.
- Arons A. (1997), Teaching Introductory Physics, John Wiley & Sons, Νέα Υόρκη 1997
- Champagne, A., Klopfer L., and Anderson J. (1980), Factors influencing the learning of classic mechanics, *American Journal of Physics* 48
- Clement J. (1982), Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50
- Driver R. , Guesne E. , Tiberghien A. , Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες, Ένωση Ελλήνων Φυσικών, εκδόσεις Τροχαλία, (1989)
- Driver R. , Squires A., Rushworth P. , Wood-Robinson V. , (2000), Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών - Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών Εκδόσεις Τυπωθήτω
- Driver R. , & Oldham V. (1986), A constructivist approach to curriculum development, *Studies in Science Education*, 13
- Einstein and L. Infeld, Η εξέλιξη των ιδεών στη φυσική, Εκδόσεις Δωδώνη.
- Gilbert K. , Osborne J. , Fenham J. (1982), Children's science and its consequences for teaching, *Science Education*, 66
- Gunstone F. (1987), Student understanding in mechanics: A large population survey, *American Journal of Physics*, 55
- Hake R. (1992), Socratic pedagogy in the introductory physics laboratory, *The Physics Teacher* 30
- Hake R. (1998) Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *American Journal of Physics* 66
- Halloun I. (2006), Inventories of Basic Conceptions, www.Halloun.net
- Halloun I. (1997), Schematic Concepts for Schematic Models of Real World, The Newtonian Concept of Force, *Science Education Manuscript No. 6205*

- Halloun I. (2001), APPRENTISSAGE PAR MODELISATION: La Physique Intelligible, Librairie du Liban Publishers Beyrouth, LIBAN
- Halloun I. & Hestenes D. (1985α), The initial knowledge state of college physics students, American Journal of Physics 53
- Halloun I. & Hestenes D. (1985β), Common sense concepts about motion, American Journal of Physics 53
- Hammer D. (1996), “More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research”, American Journal of Physics, 64
- Hestenes D. & Wells M. (1995), A modeling method for high school physics instruction, American Journal Physics 63
- Hewitt, Οι έννοιες της Φυσικής, Τόμος Ι, Ηράκλειο Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης 1997
- Itza-Ortiz S., Rebello S., Zollman D. (2004), Students’ models of Newton’s second law in mechanics and electromagnetism, European Journal of Physics 25
- Knight R. (2006), Πέντε εύκολα μαθήματα – Στρατηγικές για την επιτυχή διδασκαλία της Φυσικής, Εκδόσεις Διάυλος
- Kun T. , Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων, Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα 1981
- Lemeignan G. , Weil-Barais A. , Η οικοδόμηση των εννοιών στη Φυσική Εκδόσεις Τυπωθήτω
- Laws P. (1997a), Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses, American Journal Physics 65
- Mazur E., Peer instruction: A user’s Manual, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ 1997
- Maloney D. (1984), Rule-governed approaches to physics - Newton’s third law, Physics Education 19
- McCloskey M. Camarazza A. Green B. 1980, Curvilinear Motion in the Absence of External Forces, Science 210

- McDermott L., Rosenquist M., van Zee E. (1987) Student difficulties in connecting graphs with physics: Examples from kinematics, *American Journal of Physics*, 55
- McDermott L. (1991), What we teach and what is learned-closing the gap, *American Journal of Physics*, 59
- McDermott L., Shaffer P., and the Physics Education Group, *Tutorials in Introductory Physics*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ 1998
- Minstrell J. (1982), Explaining the at rest condition of an object, *The Physics Teacher*, 20
- O’Kuma T., Maloney D., Hieggelke C., *Ranking Task Exercises in Physics*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ 2000
- Richardson J. , *Concept Inventories: Tools For Uncovering STEM Students’ Misconceptions*, University of Alabama, Tuscaloosa, AL
- Steinberg M. , Brown D. and Clement J. (1990), Genius is not to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students, *Science Education*, 12
- Stinner, A. (1994), The story of force: from Aristotle to Einstein, *Physics Education* 29
- Thornton, R. & Sokoloff, D. (1998), Assessing student learning of Newton’s laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture, *American Journal of Physics*, 66
- Thornton R. & Sokoloff D. (1990), Learning motion concepts using real-time microcomputer –based tools, *American Journal of Physics*, 58
- Van Heuvelen A., Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies, *American Journal of Physics*, 59 (1991a)
- Viennot L. (1979), Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal Science Education*, 1
- Watts D., & Zybbersztajn A. (1981), A survey of some ideas about force, *Physics Education*, 16
- Young H (1992), Πανεπιστημιακή Φυσική Τόμος Α, Εκδόσεις Παπαζήση Όγδοη έκδοση

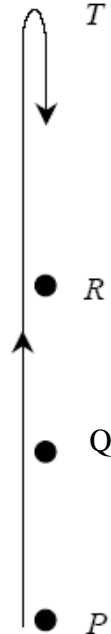
- Αντωνίου, Δημητριάδης, Καμπούρης, Παπαμιχάλης, Παπατσιμίπα, Φυσική Β΄ Γυμνασίου ΟΕΔΒ Αθήνα 2006
- Αντωνίου, Δημητριάδης, Καμπούρης, Παπαμιχάλης, Παπατσιμίπα, Φυσική Β΄ Γυμνασίου Βιβλίο του καθηγητή ΟΕΔΒ Αθήνα 2006
- Βλάχος, Γραμματικάκης, Καραπαναγιώτης, Κόκκοτας, Περιστερόπουλος, Τιμοθέου, Φυσική Γενικής Παιδείας, Α Τάξη Ενιαίου Λυκείου, ΟΕΔΒ Αθήνα 2004
- Βλάχος, Γραμματικάκης, Καραπαναγιώτης, Κόκκοτας, Περιστερόπουλος, Τιμοθέου, Φυσική Γενικής Παιδείας, Α Τάξη Ενιαίου Λυκείου, βιβλίο του καθηγητή, ΟΕΔΒ Αθήνα 2004
- Δαπόντες Ν., Κασέτας Α., Μουρίκης Σ., Σκιαθίτης Μ., Φυσική Α Τάξη Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου, ΟΕΔΒ Αθήνα 1993
- Κανδεράκης Ν. (2007), Οι έννοιες της “δύναμης” κατά τον 17^ο και 18^ο αιώνα, Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- Καριώτογλου Π. (2004), Διερεύνηση διδακτικών – μαθησιακών ακολουθιών: Η περίπτωση των δυνάμεων, Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου “Φυσικές Επιστήμες Διδασκαλία, Μάθηση και Εκπαίδευση” Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Κασσέτας Α. (2004), Το μήλο και το κουάρκ, Διδακτική της Φυσικής, εκδόσεις Σαβάλλας
- Κόκκοτας Π. (1989), Διδακτική των φυσικών επιστημών, Εκδόσεις: Γρηγόρης, Αθήνα
- Πατάπης Σ. , Μεθοδολογία Διδασκαλίας Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών Φυσικό Τμήμα, Αθήνα 1995
- Πετροχείλου Ε., Ρίζος Ι. (2006), Διερεύνηση των Αντιλήψεων των Φοιτητών σε Έννοιες της Νευτώνειας Μηχανικής: Δύναμη και Κίνηση, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- Τριανταφυλλόπουλος Η., Η ιστορία της φυσικής από τον Αριστοτέλη έως το Γαλιλαίο, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων 1999

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Στη διπλανή εικόνα μια μικρή πέτρα εκτοξεύεται από το σημείο P κατακόρυφα προς τα πάνω. Η πέτρα περνάει από τα σημεία Q και R πριν φθάσει στο σημείο T που είναι το υψηλότερο σημείο της τροχιάς της.

Το σημείο Q βρίσκεται στο μέσο της απόστασης PR ($PQ=QR$). Η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα.



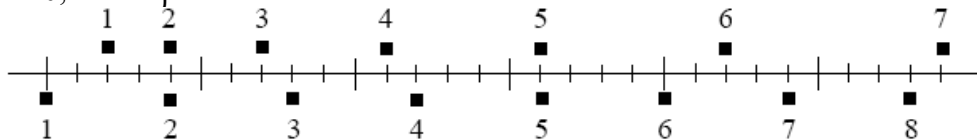
- Κατά την άνοδο της πέτρας ποια είναι η σχέση του μέτρου της ταχύτητάς στο σημείο R σε σύγκριση με το μέτρο που είχε η ταχύτητά της στο σημείο Q;
Α) Η μισή από την ταχύτητα που είχε στο Q
Β) Μικρότερη από την ταχύτητα που είχε στο Q αλλά όχι η μισή
Γ) Ίση με την ταχύτητά που είχε στο Q
Δ) Διπλάσια από την ταχύτητα που είχε στο Q
Ε) Μεγαλύτερη από την ταχύτητα που είχε στο Q αλλά όχι διπλάσια
- Ποια ή ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις επιδρούν στην πέτρα κατά την άνοδό της;
 F_1 : μια δύναμη με διεύθυνση κατακόρυφη και φορά προς τα πάνω
 F_2 : μια κατακόρυφη και με φορά προς τα κάτω δύναμη που ασκείται από τη Γη.
Α) Η σχεδόν σταθερή δύναμη F_2
Β) Η F_1 και η F_2 με σχεδόν σταθερό μέτρο
Γ) Η F_1 και η F_2 με συνεχώς ελαττούμενο μέτρο
Δ) Η σχεδόν σταθερή F_1 , και η F_2 που ελαττώνεται κατά την άνοδο
Ε) Η F_1 το μέτρο της οποίας ελαττώνεται, και η σχεδόν σταθερή F_2
- Τι συμβαίνει στην ταχύτητα και την επιτάχυνση της πέτρας τη στιγμή που αυτή φθάσει στο σημείο T;
Α) Η ταχύτητα και η επιτάχυνσή της μηδενίζονται στιγμιαία
Β) Η ταχύτητά της μηδενίζεται στιγμιαία ενώ η επιτάχυνσή της παραμένει σταθερή
Γ) Η ταχύτητα και η επιτάχυνση παραμένουν μηδέν για λίγο χρόνο
Δ) Η ταχύτητα παραμένει μηδέν για λίγο χρόνο ενώ η επιτάχυνση γίνεται μηδέν για μια στιγμή
Ε) Η ταχύτητα παραμένει μηδέν για λίγο χρόνο ενώ η επιτάχυνση παραμένει σταθερή

4. Σε σύγκριση με την ταχύτητα που είχε στο σημείο Q ανεβαίνοντας το μέτρο της ταχύτητας της πέτρας όταν περνά από το ίδιο σημείο κατεβαίνοντας είναι:
- A) Μικρότερο από την ταχύτητα που είχε στο σημείο αυτό κατά την άνοδο
 - B) Ίσο με την ταχύτητα που είχε στο σημείο αυτό κατά την άνοδο
 - Γ) Διπλάσιο από την ταχύτητα που είχε στο σημείο αυτό κατά την άνοδο
 - Δ) Μεγαλύτερο από την ταχύτητα που είχε στο σημείο αυτό κατά την άνοδο αλλά όχι διπλάσιο
 - E) Εξαρτάται από το πόσο ψηλότερα βρίσκεται το σημείο T από το σημείο R
-

Δυο μεταλλικές σφαίρες έχουν το ίδιο μέγεθος αλλά η μια έχει διπλάσιο βάρος από την άλλη. Οι σφαίρες αφήνονται την ίδια χρονική στιγμή χωρίς αρχική ταχύτητα από την ταράτσα ενός ψηλού κτιρίου. Η αντίσταση του αέρα θεωρείται αμελητέα.

5. Ο χρόνος που χρειάζεται η ελαφρύτερη σφαίρα για να φθάσει στο έδαφος θα είναι:
- A) Ίσος με το χρόνο που χρειάζεται η πιο βαριά σφαίρα
 - B) Διπλάσιος από το χρόνο που χρειάζεται η πιο βαριά σφαίρα
 - Γ) Μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται η πιο βαριά σφαίρα αλλά όχι διπλάσιος
 - Δ) Μεγαλύτερος ή ίσος από το χρόνο που χρειάζεται η πιο βαριά σφαίρα, ανάλογα με το ύψος του κτιρίου
 - E) Μικρότερος από το χρόνο που χρειάζεται η πιο βαριά σφαίρα
6. Πως μεταβάλλονται οι ταχύτητες των δύο σφαιρών κατά τη διάρκεια της πτώσης τους;
- A) Η ταχύτητα κάθε σφαίρας αρχικά αυξάνεται και μετά παραμένει σταθερή, και η πιο βαριά σφαίρα φθάνει στο έδαφος με μεγαλύτερη ταχύτητα
 - B) Η ταχύτητα κάθε σφαίρας αρχικά αυξάνεται και μετά παραμένει σταθερή, και οι δυο σφαίρες φτάνουν στο έδαφος με την ίδια ταχύτητα
 - Γ) Η ταχύτητα κάθε σφαίρας αυξάνεται συνεχώς και η πιο βαριά σφαίρα φθάνει στο έδαφος με μεγαλύτερη ταχύτητα
 - Δ) Η ταχύτητα κάθε σφαίρας αυξάνεται συνεχώς και οι δυο σφαίρες φτάνουν στο έδαφος με την ίδια ταχύτητα
 - E) Η ταχύτητα κάθε σφαίρας αυξάνεται για λίγο και μετά μπορεί να παραμένει σταθερή ή να μειώνεται συνεχώς ανάλογα με το πόσο ψηλό είναι το κτίριο
-

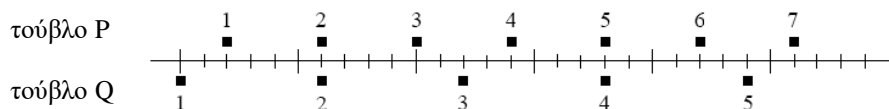
Τα παρακάτω αριθμημένα τετράγωνα δείχνουν τις διαδοχικές θέσεις δύο τούβλων τα οποία κινούνται προς τα δεξιά. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων είναι 0,2 δευτερόλεπτα.



7. Πότε θα έχουν τα δύο τούβλα την ίδια ταχύτητα;

- A) Ποτέ
- B) Όταν βρίσκονται στη θέση 2
- Γ) Όταν βρίσκονται στη θέση 5
- Δ) Όταν βρίσκονται στις θέσεις 2 και 5
- Ε) Όταν κινούνται μεταξύ των θέσεων 3 και 4

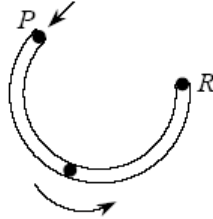
Οι θέσεις δύο τούβλων P και Q αντιπροσωπεύονται από τα αριθμημένα τετράγωνα στο παρακάτω σχήμα. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων είναι 0,2 δευτερόλεπτα. Τα δύο τούβλα μετακινούνται προς τα δεξιά.



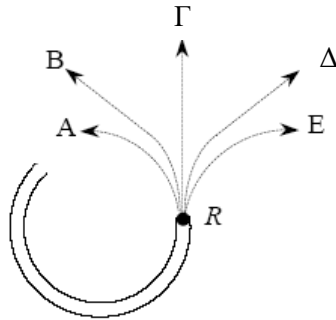
8. Οι επιταχύνσεις των δύο τούβλων συνδέονται όπως παρακάτω:

- A) Η επιτάχυνση του P είναι ίση με την επιτάχυνση του Q, και το μέτρο τους τους ισούται με μηδέν
- B) Η επιτάχυνση του P είναι ίση με την επιτάχυνση του Q, και το μέτρο τους είναι μεγαλύτερο από το μηδέν
- Γ) Η επιτάχυνση του P είναι μικρότερη από την επιτάχυνση του Q
- Δ) Η επιτάχυνση του P είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του Q
- Ε) Υπάρχουν στιγμές κατά τις οποίες οι δύο επιταχύνσεις είναι ίσες και στιγμές κατά τις οποίες δεν είναι

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα κυκλικό ανοιχτό κανάλι στερεωμένο στην οριζόντια επιφάνεια ενός τραπέζιου χωρίς τριβές. Εσείς κοιτάτε την επιφάνεια του τραπέζιου από πάνω. Μια μπίλια βάλλεται με μεγάλη ταχύτητα μέσα στο κανάλι από το σημείο P και εξέρχεται από το R χωρίς να κυλάει στο τραπέζι (η μπίλια ολισθαίνει πάνω στο τραπέζι). Η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα.



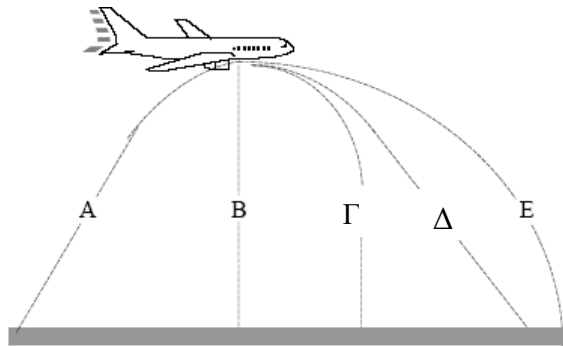
9. Ποια από τις τροχιές του παρακάτω σχήματος μοιάζει με αυτή που ακολουθεί η μπίλια στο λείο τραπέζι μετά την έξοδό της από το κανάλι στο R;



10. Το μέτρο της ταχύτητας της μπίλιας κατά μήκος της τροχιάς που επιλέξατε έξω από το κανάλι
- A) Παραμένει σταθερό σε όλο το μήκος της τροχιάς
 - B) Συνεχώς αυξάνεται
 - Γ) Αυξάνεται για λίγο και μετά παραμένει σταθερό
 - Δ) Παραμένει σταθερό για λίγο και μετά ελαττώνεται
 - E) Συνεχώς ελαττώνεται

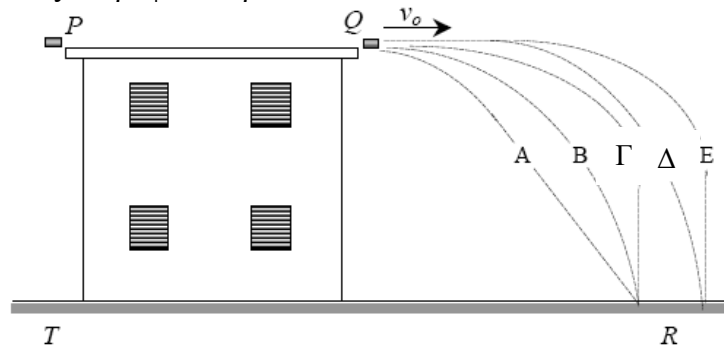
11. Ποια ή ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις ενεργούν στη μπίλια όταν κινείται κατά μήκος της τροχιάς της εκτός του καναλιού;
- F₁**: μια οριζόντια δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης
 - F₂**: μια κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω δύναμη ασκούμενη από τη Γη
 - F₃**: μια κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω δύναμη ασκούμενη από το τραπέζι
- A) Η **F₁**
 - B) Η **F₂**
 - Γ) Οι **F₁** και **F₂**
 - Δ) Οι **F₂** και **F₃**
 - E) Οι **F₁**, **F₂** και **F₃**
-

Μια μπάλα του μπόουλινγκ αφήνεται να πέσει από ένα αεροπλάνο που πετάει σε οριζόντια τροχιά. Η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα.



12. Ένας παρατηρητής κάθετα ακίνητος στο έδαφος και βλέπει το αεροπλάνο. Ποια από τις τροχιές του παραπάνω σχήματος είναι πιο πιθανό να διαγράψει η μπάλα, σύμφωνα με τον παρατηρητή, αφού φύγει από το αεροπλάνο;
-

Ένας μεταλλικός δίσκος του εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα v_0 οριζόντια από την άκρη Q της ταράτσας ενός διώροφου κτιρίου.



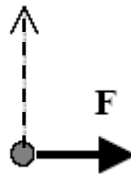
13. Ποια από τις τροχιές A ως E που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα θα ακολουθήσει ο δίσκος στον αέρα κατά τη μετάβασή του από το σημείο Q στο σημείο R όπου χτυπάει στο έδαφος;
14. Ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις επιδρούν στο δίσκο κατά τη διάρκεια της κίνησής του από το σημείο Q στο σημείο R;
- F₁: μια προς τα κάτω δύναμη ασκούμενη από τον αέρα
 - F₂: μια προς τα πάνω δύναμη ασκούμενη από τον αέρα
 - F₃: μια κατακόρυφη προς τα κάτω δύναμη ασκούμενη από τη Γη
 - F₄: μια δύναμη στην μεταβλητή κατεύθυνση της κίνησης
- A) F₁ και F₃
 - B) F₁ και F₄
 - Γ) F₂ και F₃
 - Δ) F₁, F₃, και F₄
 - E) F₂, F₃, και F₄

15. Στη διάρκεια της κίνησης από το σημείο Q μέχρι το σημείο R το μέτρο της ταχύτητας του δίσκου
- A) Παραμένει σταθερό σε όλη τη διαδρομή
 - B) Παραμένει σταθερό για ένα χρονικό διάστημα και μετά αυξάνεται
 - Γ) Αυξάνεται συνεχώς σε όλη τη διαδρομή
 - Δ) Αυξάνεται για ένα χρονικό διάστημα και μετά παραμένει σταθερό
 - Ε) Μειώνεται για ένα χρονικό διάστημα και μετά αυξάνεται

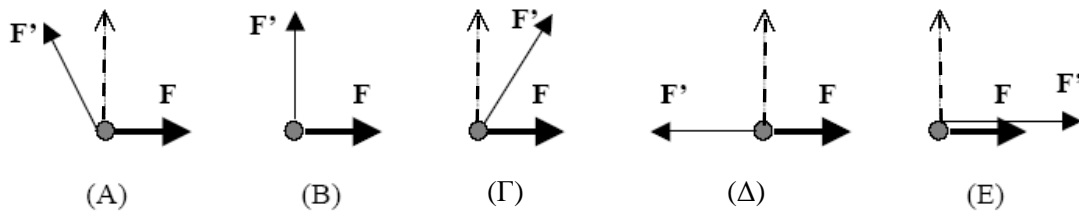
Την ίδια στιγμή που ο παραπάνω δίσκος εκτοξεύεται από το σημείο Q με οριζόντια ταχύτητα v_0 ένας άλλος όμοιος δίσκος αφήνεται από την άκρη P της ταράτσας χωρίς αρχική ταχύτητα. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ο τελευταίος δίσκος χτυπάει στο έδαφος στο σημείο T.

16. Θεωρώντας την αντίσταση του αέρα αμελητέα, ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει ο δεύτερος δίσκος από το P στο T είναι:
- A) Μικρότερος από το χρόνο που απαιτεί ο προηγούμενος δίσκος για τη κίνησή του από το Q στο R
 - B) Ίσος με το χρόνο που απαιτεί ο πρώτος δίσκος για τη κίνησή του από το Q στο R
 - Γ) Μικρότερος ή ίσος από το χρόνο που απαιτεί ο πρώτος δίσκος για τη κίνησή του από το Q στο R, ανάλογα με το ύψος του κτιρίου
 - Δ) Μεγαλύτερος το χρόνο που απαιτεί ο πρώτος δίσκος για τη κίνησή του από το Q στο R
 - Ε) Μεγαλύτερος ή ίσος από το χρόνο που απαιτεί ο πρώτος δίσκος για τη κίνησή του από το Q στο R, ανάλογα με το ύψος του κτιρίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας λείος μικρός δίσκος του χόκεϋ πάνω σε οριζόντιο επίπεδο πάτωμα χωρίς τριβές. Εσείς κοιτάτε το δίσκο από πάνω. Ο δίσκος γλιστρά κατά μήκος της ευθείας στην κατεύθυνση του διακεκομμένου βέλους. Δυο σταθερές δυνάμεις, διαφορετικών μέτρων, \mathbf{F} και \mathbf{F}' επιδρούν στο δίσκο. Η δύναμη \mathbf{F} ασκείται στην διεύθυνση που παριστάνεται με το παχύ βέλος με φορά προς τα δεξιά.



17. Σε ποιο από τα παρακάτω σχήματα παριστάνεται σωστά η κατεύθυνση της δύναμης F' ; (η κλίμακα σχεδίασης είναι ίδια για τις F και F')



18. Όταν οι δυο σταθερές δυνάμεις F και F' ασκούνται ταυτόχρονα στο δίσκο σε όλη τη διάρκεια της κίνησής του, η ταχύτητα του δίσκου:

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

19. Εξετάστε τις παρακάτω επιλογές για τις δυνάμεις F και F' που ασκούνται στο δίσκο

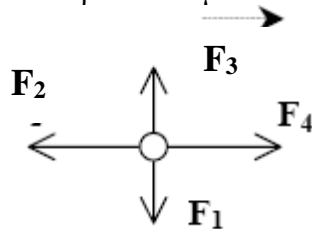
1. Οι δυνάμεις F και F' ασκούνται μαζί συνεχώς πάνω στο δίσκο
2. Οι δυνάμεις F και F' ασκούνται μαζί πάνω στο δίσκο μέχρι ένα ορισμένο σημείο και μετά ο δίσκος κινείται χωρίς την επίδραση δυνάμεων
3. Εναλλάσσονται μεταξύ τους οι δυνάμεις F και F' . Αρχικά ασκείται μόνο η F στο δίσκο για ένα χρονικό διάστημα, μετά η F' αντικαθιστά την F και ασκείται για ίσο χρονικό διάστημα με την εναλλαγή να διατηρείται σε όλη τη διάρκεια της κίνησης του δίσκου.

Ποια από τις παραπάνω επιλογές θα μπορούσε να διατηρήσει την ευθύγραμμη κίνηση του δίσκου κατά μήκος της τροχιάς που φαίνεται παραπάνω και με την ίδια ταχύτητα που επιλέξατε στην ερώτηση 18;

- A) 1
- B) 2
- Γ) 3
- Δ) 1 και 3
- E) 2 και 3

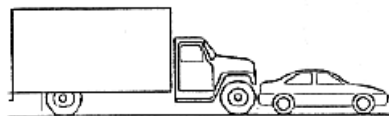
- 20 . Αν μόνο μια δύναμη μπορεί να ασκηθεί στο δίσκο σε όλη τη διάρκεια της κίνησής του, τι θα μπορούσε να γίνει ώστε να διατηρηθεί η κίνηση του δίσκου πάνω στην ίδια ευθεία και με την ίδια μορφή ταχύτητας που περιέγραψες στην απάντησή σου στην ερώτηση 18;
- A) Να κλωστήσουμε το δίσκο προς την κατεύθυνση των κουκίδων με το βέλος και να τον αφήσουμε να γλιστρά ελεύθερα χωρίς την επίδραση δύναμης επάνω του
- B) Ασκείται μόνο μια δύναμη προς την κατεύθυνση της κίνησης με τιμή ανάλογη με τη ταχύτητα του δίσκου σε κάθε χρονική στιγμή
- Γ) Ασκείται συνεχώς μια μόνο σταθερή δύναμη προς τη κατεύθυνση της κίνησης με τιμή ίση με τη διαφορά των τιμών των \mathbf{F} και \mathbf{F}'
- Δ) Ασκείται συνεχώς μια μόνο σταθερή δύναμη προς τη κατεύθυνση της κίνησης με τιμή ίση με το άθροισμα των τιμών των \mathbf{F} και \mathbf{F}'
- E) Ασκείται συνεχώς μια μόνο σταθερή δύναμη προς τη κατεύθυνση της κίνησης με τιμή μικρότερη από το άθροισμα των τιμών των \mathbf{F} και \mathbf{F}'

Τέσσερις δυνάμεις $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3,$ και \mathbf{F}_4 ασκούνται μαζί σε ένα μικρό και λεπτό δίσκο του χόκεϋ. Ο δίσκος κινείται με σταθερή ταχύτητα κατά μήκος μιας ευθείας στην ίδια κατεύθυνση με τη δύναμη \mathbf{F}_4 . Τα διανύσματα στο παρακάτω σχήμα αντιπροσωπεύουν τις κατευθύνσεις των τεσσάρων δυνάμεων αλλά όχι το μέγεθος τους.



21. Ποια από τις παρακάτω απαντήσεις αντιπροσωπεύει καλύτερα τη σχέση που έχουν μεταξύ τους τα μέτρα των δυνάμεων;
- A) $F_4 = F_2$ και $F_3 = F_1$
- B) $F_4 = F_2$ και $F_3 > F_1$
- Γ) $F_4 > F_2$ και $F_3 > F_1$
- Δ) $F_4 > F_2$ και $F_3 = F_1$
- E) $F_4 > F_2$ και $F_3 < F_1$

Ένα επιβατικό αυτοκίνητο χάλασε σε ένα οριζόντιο δρόμο. Ένα μεγάλο φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο πίσω στη πόλη, όπως φαίνεται στο σχήμα



22. Όταν το φορτηγό ακουμπάει το αυτοκίνητο και αρχίζει να το σπρώχνει:
- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 - B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 - Γ) Το φορτηγό αρχικά ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο και μετά από λίγη ώρα το αυτοκίνητο αρχίζει να ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 - Δ) Το αυτοκίνητο αρχικά ασκεί δύναμη στο φορτηγό και μετά από λίγη ώρα το φορτηγό αρχίζει να ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο
 - Ε) Τα δύο οχήματα ασκούν δυνάμεις το ένα στο άλλο ταυτόχρονα
23. Όταν το φορτηγό αρχίζει να μετακινεί το αυτοκίνητο στον οριζόντιο δρόμο
- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 - B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 - Γ) Τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα
 - Δ) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη
 - Ε) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το αυτοκίνητο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη
24. Μετά από λίγο το φορτηγό αποκτά μια ταχύτητα την οποία κατόπιν διατηρεί σταθερή. Καθώς το φορτηγό σπρώχνει το αυτοκίνητο με αυτή τη σταθερή ταχύτητα:
- A) Τα δύο οχήματα δεν ασκούν δύναμη το ένα στο άλλο
 - B) Το φορτηγό ασκεί δύναμη στο αυτοκίνητο αλλά το αυτοκίνητο δεν ασκεί δύναμη στο φορτηγό
 - Γ) Τα δύο οχήματα ασκούν, το ένα στο άλλο, δυνάμεις με ίσα μέτρα
 - Δ) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το φορτηγό ασκεί μεγαλύτερη δύναμη
 - Ε) Κάθε όχημα ασκεί δύναμη στο άλλο, αλλά το αυτοκίνητο ασκεί μεγαλύτερη δύναμη

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

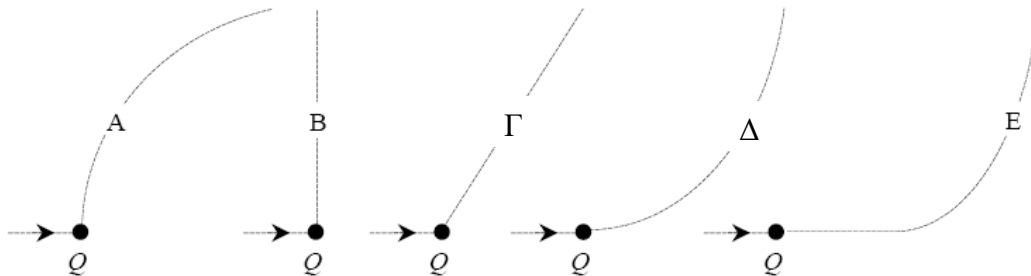


25. Ποιες από τις παρακάτω δυνάμεις είναι υπεύθυνες για την κίνηση του διαστημοπλοίου όπως περιγράφεται παραπάνω πέρα από το σημείο P;
- F₁**: Μια δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης ασκούμενη από μερικούς πλανήτες ή άλλα ουράνια αντικείμενα
- F₂**: Μια δύναμη στη κατεύθυνση της κίνησης που οφείλεται στην αρχική ώθηση του διαστημοπλοίου πριν φτάσει στο P
- F₃**: Μια εσωτερική ώθηση η οποία αναπτύσσεται σταδιακά από το διαστημόπλοιο καθώς αυτό κινείται πέρα από το P
- A) **F₁**
 B) **F₂**
 Γ) **F₃**
 Δ) Ένας συνδυασμός από τις παραπάνω δυνάμεις.
 Ε) Καμία. Το διαστημόπλοιο μπορεί να κινείται με σταθερή ταχύτητα σε ευθεία γραμμή χωρίς να οδηγείται από κάποιες εσωτερικές ή εξωτερικές δυνάμεις

Όταν το διαστημόπλοιο φτάσει στο σημείο Q οι μηχανές του μπαίνουν σε λειτουργία και του ασκούν σταθερή δύναμη κάθετη στην ευθεία PQ

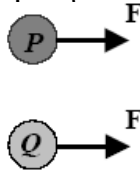


26. Ποια από τις παρακάτω τροχιές αντιπροσωπεύει καλύτερα την τροχιά κίνησης του διαστημοπλοίου μετά το σημείο Q;



27. Η ταχύτητα του διαστημοπλοίου μετά το σημείο Q και κατά μήκος της τροχιάς που επιλέξατε παραπάνω
- A) Μειώνεται συνεχώς
 B) Παραμένει σταθερή
 Γ) Παραμένει σταθερή για λίγο και μειώνεται μετά
 Δ) Αυξάνεται συνεχώς
 Ε) Αυξάνεται για λίγο και μετά παραμένει σταθερή
-

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται δύο μικροί και λεπτοί δίσκοι του χόκεϋ P και Q πάνω σε οριζόντιο τραπέζι χωρίς τριβές. Εσείς κοιτάζετε από πάνω. Οι δίσκοι έχουν ίδιες διαστάσεις αλλά ο P έχει διπλάσιο βάρος από τον Q. Στους δύο δίσκους εφαρμόζουμε ίσες δυνάμεις F μέχρι να φτάσουν στη γραμμή τερματισμού. Η αντίσταση του αέρα είναι αμελητέα.



28. Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει στη γραμμή τερματισμού ο βαρύτερος δίσκος P είναι:
- A) Διπλάσιος από το χρόνο που χρειάζεται ο ελαφρύτερος δίσκος Q για να φτάσει στο τέρμα
 - B) Μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται ο ελαφρύτερος δίσκος Q για να φτάσει στο τέρμα αλλά όχι διπλάσιος
 - Γ) Ίσος με το χρόνο που χρειάζεται ο ελαφρύτερος δίσκος Q για να φτάσει στο τέρμα
 - Δ) Ο μισός από το χρόνο που χρειάζεται ο ελαφρύτερος δίσκος Q για να φτάσει στο τέρμα
 - Ε) Μικρότερος από το χρόνο που χρειάζεται ο ελαφρύτερος δίσκος Q για να φτάσει στο τέρμα αλλά όχι ο μισός
29. Στη γραμμή τερματισμού το μέτρο της ταχύτητας του βαρύτερου δίσκου P, είναι:
- A) Διπλάσιο από αυτό του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - B) Μεγαλύτερο από το μέτρο της ταχύτητας του ελαφρύτερου δίσκου Q αλλά όχι διπλάσιο
 - Γ) Ίσο με αυτό του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - Δ) Το μισό από αυτό της ταχύτητας του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - Ε) Μικρότερο από το μέτρο της ταχύτητας του ελαφρύτερου δίσκου Q αλλά όχι το μισό
30. Κατά τη διάρκεια της κίνησης η επιτάχυνση του βαρύτερου δίσκου είναι:
- A) Διπλάσια από την επιτάχυνση του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - B) Μεγαλύτερη από την επιτάχυνση του ελαφρύτερου δίσκου Q αλλά όχι απαραίτητα διπλάσια
 - Γ) Ίση με την επιτάχυνση του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - Δ) Μισή από την επιτάχυνση του ελαφρύτερου δίσκου Q
 - Ε) Μικρότερη από την επιτάχυνση του ελαφρύτερου δίσκου Q αλλά όχι απαραίτητα η μισή
-

- 31.** Σπρώχνετε ένα κιβώτιο με σταθερή οριζόντια δύναμη F , με αποτέλεσμα το κιβώτιο να μετακινείται με σταθερή ταχύτητα v_0 πάνω σε οριζόντιο δάπεδο. Θεωρείστε τις ακόλουθες δύο δυνάμεις:
- F₁:** Το βάρος του κιβωτίου
F₂: Η οριζόντια δύναμη που αντιστέκεται στη κίνηση του κιβωτίου
 Το μέτρο της δύναμης F που ασκείται στο κιβώτιο είναι:
- A)** Ίση με ο μέτρο της F_1
B) Μεγαλύτερο από το μέτρο της F_1
Γ) Ίσο με το μέτρο της F_2
Δ) Μεγαλύτερο από το μέτρο της F_2
Ε) Μεγαλύτερο από το μέτρο της καθεμιάς από τις F_1 ή F_2
- 32.** Σπρώχνετε το ίδιο κιβώτιο στο ίδιο πάτωμα με σταθερή οριζόντια δύναμη η οποία έχει διπλάσιο μέτρο από τη δύναμη F που ασκήσατε στο κιβώτιο στην προηγούμενη ερώτηση. Το κιβώτιο κινείται:
- A)** Με σταθερή ταχύτητα η οποία έχει διπλάσιο μέτρο από τη ταχύτητα του κιβωτίου v_0 της προηγούμενης ερώτησης
B) Με σταθερή ταχύτητα η οποία είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του κιβωτίου v_0 της προηγούμενης ερώτησης αλλά όχι διπλάσια
Γ) Για λίγο σταθερή ταχύτητα η οποία είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του κιβωτίου v_0 της προηγούμενης ερώτησης, και μετά με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα
Δ) Με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα
Ε) Για λίγο με ταχύτητα που αυξάνεται, και στη συνέχεια με ταχύτητα σταθερού μέτρου
- 33.** Αφού σπρώξετε το κιβώτιο για λίγο, χάνετε την επαφή με αυτό και σταματάτε να ασκείτε κάθε δύναμη επάνω του. Το κιβώτιο κατόπιν :
- A)** θα σταματήσει αμέσως
B) αρχίζει αμέσως να επιβραδύνεται μέχρι που σταματά
Γ) θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα
Δ) θα συνεχίσει να κινείται με σταθερή ταχύτητα για λίγο, και στη συνέχεια επιβραδύνεται μέχρι που σταματά
Ε) συνεχίζει να κινείται με αυξανόμενη ταχύτητα για λίγο και μετά επιβραδύνεται μέχρι που σταματά

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Οι απαντήσεις των μαθητών στο ερωτηματολόγιο IBCM

Ερωτ/Απαντ	A	B	Γ	Δ	Ε	Δ.Α
1	35	22	4	1	2	7
2	18	6	40	1	6	
3	37	16	10	2	6	
4	3	24	3	35	6	
5	22	27	17	5	0	
6	30	0	18	22	1	
7	4	4	1	44	18	
8	10	1	54	0	6	
9	29	21	21	0	0	
10	18	2	4	21	26	
11	0	0	40	20	11	
12	1	20	6	19	25	
13	24	18	5	0	24	
15	6	4	25	33	3	
16	39	23	8	0	1	
17	19	42	6	4	0	
18	0	5	2	19	44	1
19	33	18	2	17	1	
20	1	51	0	7	12	
21	19	2	1	48	1	
22	0	5	22	0	44	
23	0	2	24	45	0	
24	11	2	24	34	0	
25	3	43	1	4	20	
26	0	30	22	18	1	
27	0	4	0	20	47	
28	15	25	31	0	0	
29	0	0	35	13	23	
30	1	2	36	14	18	
31	0	0	16	37	18	
32	47	1	0	13	10	
33	24	24	1	22	0	

* Με Δ.Α αναφέρουμε τον αριθμό των μαθητών που δεν έδωσαν απάντηση.

Με ανοιχτό μπλε σημειώνονται οι σωστές απαντήσεις, με κίτρινες οι επικρατέστερες εναλλακτικές ιδέες και όπου υπάρχει δευτερεύουσα εναλλακτική ιδέα σημειώνεται με κίτρινο.



**Ερευνητική Προσέγγιση Μαθητικών Ιδεών σε Έννοιες της Νευτώνειας Μηχανικής
μετά από Τυπική Διδασκαλία**

ISBN: 978-618-5468-04-0

Έκδοση

©εκπ@ιδευτικός κύκλος

Συγγραφέας

Γεώργιος Κ. Καραόγλου