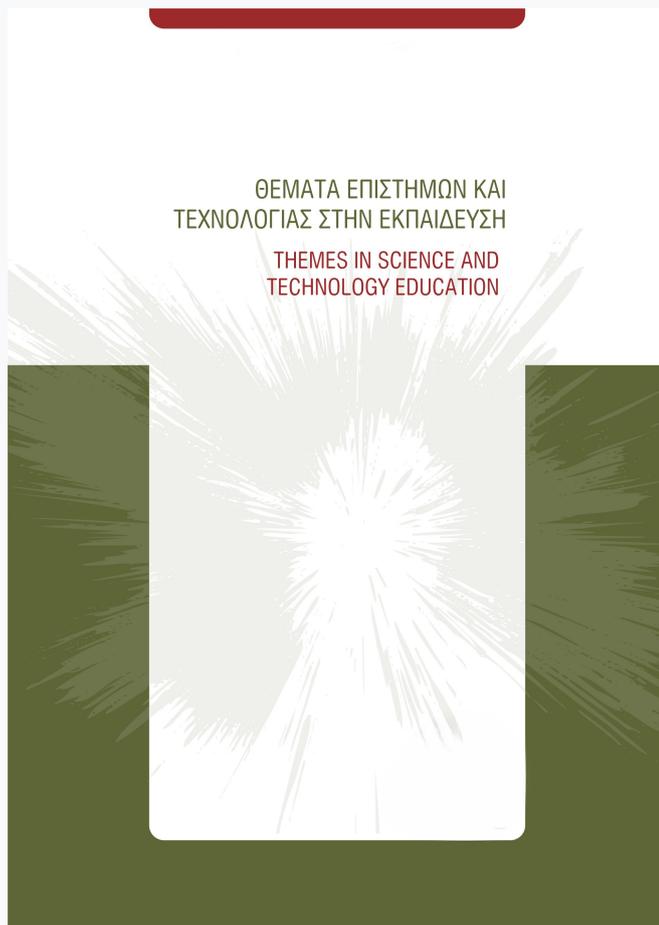


Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 5, Αρ. 1-2 (2012)

Ειδικό Αφιέρωμα: «Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες»



Αντιλήψεις μαθητών της Α' Λυκείου για την τριβή, τους νόμους της και το ρόλο της στη σχετική μεταφορική και περιστροφική κίνηση: Πρόταση διδακτικής παρέμβασης σε ένα συνεργατικό επικοινωνιακό περιβάλλον μάθησης

Αναστασία Ευαγγελοπούλου, Παύλος Μίχας

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ευαγγελοπούλου Α., & Μίχας Π. (2012). Αντιλήψεις μαθητών της Α' Λυκείου για την τριβή, τους νόμους της και το ρόλο της στη σχετική μεταφορική και περιστροφική κίνηση: Πρόταση διδακτικής παρέμβασης σε ένα συνεργατικό επικοινωνιακό περιβάλλον μάθησης. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 5-26. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44570>

Αντιλήψεις μαθητών της Α' Λυκείου για την τριβή, τους νόμους της και το ρόλο της στη σχετική μεταφορική και περιστροφική κίνηση: Πρόταση διδακτικής παρέμβασης σε ένα συνεργατικό εποικοδομητικό περιβάλλον μάθησης

Αναστασία Ευαγγελοπούλου, Παύλος Μίχας
anevag@hol.gr, pmichas@eled.duth.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Περίληψη. Σκοπός της έρευνάς μας ήταν ο σχεδιασμός μιας διδακτικής ακολουθίας που βασίζεται στο εποικοδομητικό μοντέλο διδασκαλίας συνδυασμένο με τη συνεργατική μάθηση, για τη διδασκαλία της τριβής ανάμεσα σε στερεά σώματα. Προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της εποικοδομητικής παρέμβασης οι μαθητές υποβλήθηκαν σε συνεντεύξεις για την καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών τους (προέλεγχος). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε στο πειραματικό τμήμα η εποικοδομητική παρέμβαση ενώ στο τμήμα ελέγχου πραγματοποιήθηκε παραδοσιακή διδασκαλία. Τέλος, διεξήχθη μετέλεγχος με γραπτά ερωτηματολόγια. Από τη σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών, πριν και μετά τη διδασκαλία, προέκυψε ότι μεγαλύτερη βελτίωση σημείωσαν οι μαθητές του πειραματικού τμήματος σε σχέση με τους μαθητές του τμήματος ελέγχου, στο: α) να χρησιμοποιούν σωστά την τριβή όταν εφαρμόζουν τους νόμους του Νεύτωνα, β) να κατανοούν την εξάρτηση της τριβής ολίσθησης από την κάθετη δύναμη που συμπέζει τις επιφάνειες επαφής, ακόμα και όταν η δύναμη αυτή δεν είναι ίση με το βάρος του σώματος, γ) να εξηγούν γιατί στην περίπτωση του βαδίσματος και της σχετικής μεταφορικής κίνησης ενός σώματος πάνω σε άλλο σώμα έχουμε «προώθηση από την τριβή» και δ) να αντιλαμβάνονται ότι η τριβή μπορεί να επηρεάσει ποικιλοτρόπως την κίνηση ενός σώματος.

Λέξεις κλειδιά: τριβή, νόμοι του Νεύτωνα, σχετική κίνηση, εποικοδομισμός, συνεργατική μάθηση

Εισαγωγή

Η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει κυρίαρχο στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της διδασκαλίας των Φ.Ε. σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης και προσανατολίζεται στις εξής κατευθύνσεις:

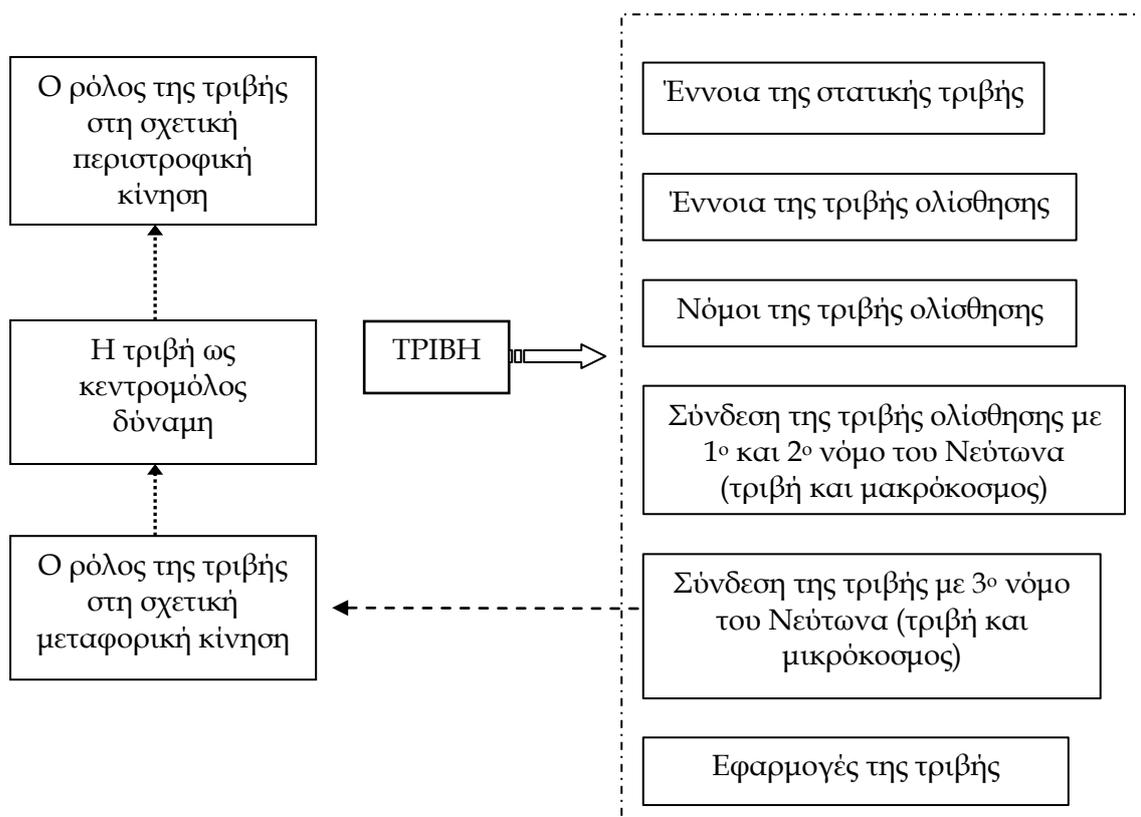
- Στη διατύπωση θεωριών μάθησης και στη δημιουργία και εφαρμογή αντίστοιχων διδακτικών μοντέλων (π.χ. εποικοδομητική μάθηση).
- Στη διερεύνηση των ιδεών των μαθητών για διάφορα φυσικά φαινόμενα.
- Στην ανάπτυξη μεθόδων διδασκαλίας και διδακτικών εργαλείων σύμφωνα με τα πορίσματα των δύο προηγούμενων τύπων έρευνας.

Στην παρούσα εργασία καταγράφονται τα συμπεράσματα των δύο παραπάνω τελευταίων κατευθύνσεων έρευνας, στη θεματική ενότητα της τριβής, στην επιλογή της οποίας συνηγόρησε:

1. Το γεγονός ότι στο παρελθόν έχουν γίνει πολλές έρευνες που ασχολούνται με τις αντιλήψεις των παιδιών για την έννοια της δύναμης, γενικά (π.χ. νοητικά μοντέλα δύναμης) ωστόσο ελάχιστες από αυτές διερευνούν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τη δύναμη της τριβής και ακόμα λιγότερες έρευνες προτείνουν διδακτικές

προσεγγίσεις για την αλλαγή αυτών των ιδεών μέσα στην τάξη.

2. Στο σχολικό εγχειρίδιο της Α΄ Λυκείου (Βλάχος κ.ά., 2001), η τριβή εξετάζεται σύντομα στο τέλος της Δυναμικής, με συνέπεια όλη η πολυπλοκότητα και ποικιλία των φαινομένων που σχετίζονται με την τριβή να μην αποκαλύπτεται. « Παρ' όλο που οι νόμοι της τριβής εκφράζονται απλά, κρύβουν ένα πλήθος από μικροσκοπικά φαινόμενα των οποίων η εξήγηση έχει γίνει μια από τις πιο ενδιαφέρουσες επιδιώξεις στην εφαρμοσμένη Φυσική.» (Hahner & Spencer, 1998). Άλλωστε η Τριβολογία αποτελεί έναν έγκυρο κλάδο της επιστήμης και της μηχανολογίας (Mate, 2008) με σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές (π.χ. nanotechnology) και οικονομική σημασία (π.χ. βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας λόγω τριβής).
3. Η δυνατότητα να προσεγγισθεί διδακτικά η τριβή ως μια κεντρική έννοια, η οποία συνδέεται με διάφορες ενότητες της Φυσικής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.
4. Ο προβληματισμός μας από την προσωπική μας εμπειρία στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση: « Γιατί οι μαθητές θεωρούν την τριβή ως μια δύναμη, αντίθετη από την ταχύτητα και άρα εμποδίζει πάντα την κίνηση και όχι αντίθετη προς την τάση κίνησης του σώματος *σε σχέση* με την επιφάνεια επαφής του με το άλλο σώμα;». Με άλλα λόγια, οι μαθητές δεν κατανοούν ότι η τριβή αντιστέκεται στη *σχετική κίνηση* του ενός σώματος ως προς το άλλο, γεγονός που τους στερεί τη δυνατότητα να εξηγήσουν πολλά φαινόμενα της καθημερινής ζωής, όπως το βάδισμα, το ξεκίνημα του αυτοκινήτου, το ανέβασμα σε σχοινί, το κράτημα του ποτηριού με την παλάμη μας.



Σχήμα 1. Η προσέγγιση της τριβής ως κεντρική έννοια

Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την τριβή και οι διδακτικές προσεγγίσεις της

Έχουν γίνει έρευνες για την εισαγωγή της έννοιας της τριβής στην προσχολική ηλικία. Η έρευνα των Αποστολίδη, Ασβεστά και Ραβάνη (1998), σε παιδιά ηλικίας 5-6 ετών έδειξε ότι αρκετά από αυτά, μπορούν να προσεγγίσουν το φαινόμενο της τριβής από διαισθητική και εμπειρική άποψη, χωρίς όμως να διαθέτουν τα απαραίτητα λογικά εργαλεία για να συγκροτήσουν ένα περιγραφικό και λειτουργικό μοντέλο της τριβής. Οι Ραβάνης, Κολιόπουλος και Χατζηγεωργίου (Ravanis, Koliopoulos & Hadzigeorgiou, 2004; Ραβάνης & Κολιόπουλος, 2004) προτείνουν μια συστηματική κοινωνικο-γνωστική παρέμβαση η οποία περιλαμβάνει δραστηριότητες που μπορεί να οδηγήσουν τα παιδιά στην κατασκευή «πρόδρομων μοντέλων» (precursor models). Τα πρόδρομα μοντέλα είναι νοητικές οντότητες με περιορισμένη εμβέλεια χρήσης και εφαρμογής, αλλά προετοιμάζουν κατάλληλα τη σκέψη των μικρών παιδιών για την οικοδόμηση των επιστημονικών μοντέλων.

Σε παιδιά σχολικής ηλικίας πραγματοποιήθηκε η έρευνα των Κώτση, Βέμη και Κολοβού (2004), με δείγμα μαθητές Ε' και Στ' τάξης του Δημοτικού Σχολείου, που είχαν ήδη διδαχτεί την έννοια της τριβής. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι πολλοί από τους μαθητές (περίπου 40%) πιστεύουν ότι η τριβή είναι μεγαλύτερη όταν ένα αυτοκίνητο κινείται σε βρεγμένο δρόμο καθώς και ότι ένα αυτοκίνητο κινείται με περισσότερη ασφάλεια σε παγωμένο δρόμο, όταν αυτό είναι άδειο (δεν είναι φορτωμένο).

Οι έρευνες για την τριβή σε επίπεδο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης είναι περιορισμένες. Σε έρευνα των Stead και Osborne (1981) που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές ηλικίας 12-16 ετών, υπήρχαν παιδιά που ταύτιζαν την τριβή με αυτό που οι φυσικοί ονομάζουν δύναμη αντίδρασης (π.χ. δύναμη από την καρέκλα προς τον άνθρωπο που κάθεται πάνω σ' αυτή). Επιπλέον η τριβή συσχετίστηκε με την κίνηση: «Εάν δεν υπάρχει κίνηση, τότε δεν υπάρχει και τριβή.» Για μερικούς μαθητές, η τριβή ήταν η ίδια η κίνηση (π.χ. η τριβή είναι πόσο γρήγορα κινείται-τρίβεται ένα σώμα). Η άποψη ότι υπάρχει περισσότερη τριβή εάν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη, οδήγησε σε ιδέες ότι η τριβή είναι μεγαλύτερη εάν ένα σώμα γλιστράει σε μεγαλύτερη απόσταση. Σύμφωνα με τους Κουκουτσάκη κ.ά. (2004) οι περισσότεροι μαθητές της Α' Λυκείου εμφάνισαν αδυναμία να εφαρμόσουν τον 1^ο νόμο του Νεύτωνα όταν ασκείται οριζόντια δύναμη F σε ακίνητο σώμα και είτε ανέφεραν ότι η (στατική) τριβή είναι μεγαλύτερη από την F είτε ότι δεν ασκείται άλλη οριζόντια δύναμη στο σώμα εκτός από την F . Επίσης θεωρούσαν ότι για να μετακινήσουμε οριζόντια ένα σώμα πρέπει να ασκήσουμε οριζόντια δύναμη μεγαλύτερη από το βάρος του σώματος. Στην έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε η διδασκαλία της τριβής με τη βοήθεια λογισμικού.

Η έρευνα του Chia (1989) σε 16χρονους μαθητές έδειξε ότι η τριβή θεωρείται πάντα αντίθετη από την κατεύθυνση του κινούμενου σώματος, συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε και η έρευνα των Caldas και Saltiel (1995), στην οποία η πλειονότητα των ερωτηθέντων (φοιτητές και καθηγητές Λυκείου) διατηρούσαν την εναλλακτική ιδέα ότι η τριβή λειτουργεί πάντα ως φρένο στην κίνηση.

Για τη διδασκαλία της τριβής στη δευτεροβάθμια ή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, οι Πατρινόπουλος κ.ά. (2002) και οι Ringlein και Robbins (2004) προτείνουν τις νέες τεχνολογίες (χρήση αισθητήρων και Η/Υ για πραγματοποίηση πειραμάτων, προσομοίωση σε μικροσκοπικό επίπεδο). Οι Besson et al. (2007; 2010) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν μια διδακτική - μαθησιακή ακολουθία, στην οποία οι μαθητές εκτελούν πειράματα, χρησιμοποιούν αισθητήρες και Η/Υ για κατασκευή διαγραμμάτων και μελετούν ποιοτικά τους μηχανισμούς παραγωγής τριβής (π.χ. μοντέλο των τοπικών συγκολλησεων) προκειμένου να δημιουργήσουν νοητικά μοντέλα χρήσιμα για την κατανόηση της παρουσίας και της κατεύθυνσης των δυνάμεων τριβής σε διάφορες περιπτώσεις.

Για τη διδασκαλία σε μαθητές της Α' Λυκείου, των περιπτώσεων στις οποίες η τριβή δρα ως «προωθητική δύναμη» η Viennot (2003) προτείνει μια διδακτική ακολουθία εισάγοντας ένα μη ρεαλιστικό μοντέλο σε ενδιάμεση κλίμακα (mesoscopic model), σύμφωνα με το οποίο τα σώματα (π.χ. η σόλα του παπουτσιού) περιγράφονται ως επιφάνειες γεμάτες με πριονωτές, άκαμπτες ανωμαλίες (Besson & Viennot, 2004), ενώ οι Caldas και Saltiel (2000) προτείνουν το «μοντέλο της βούρτσας» (modèle de la brosse, στο παράρτημα).

Από τη δική μας σκοπιά, βασικός γνωστικός στόχος της διδασκαλίας μας ήταν οι μαθητές να ανακαλύψουν τον πολυδιάστατο ρόλο της τριβής στις διάφορες κινήσεις δηλαδή την τριβή ως επιβραδύνουσα δύναμη, ως επιταχύνουσα δύναμη, ως κεντρομόλο δύναμη αλλά και ως δύναμη που επιταχύνει επιτρόχια το σώμα και ταυτόχρονα δρα ως κεντρομόλος. Επομένως επιδιώξαμε να έρθουν οι μαθητές αντιμέτωποι με καταστάσεις (ή φαινόμενα) στις οποίες η κατεύθυνση της τριβής ποικίλλει ως προς ακίνητο παρατηρητή (π.χ. είναι αντίρροπη ή ομόρροπη της ταχύτητας, είναι κάθετη ή σχηματίζει οξεία γωνία με την ταχύτητα), έτσι ώστε να συνειδητοποιήσουν ότι η τριβή είναι πάντα αντίρροπη με τη σχετική ταχύτητα του ενός σώματος ως προς το άλλο σώμα που έρχεται σε επαφή.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια της σχετικής ταχύτητας θεωρήσαμε πως δε θα ήταν αδόκιμο να προσπαθήσουμε να διδάξουμε τη σχετικότητα του Γαλιλαίου (συστήματα αναφοράς, σχετική κίνηση) προσαρμόζοντας το περιεχόμενό της στο επίπεδο της νοητικής ανάπτυξης των μαθητών και στα ενδιαφέροντά τους. Άλλωστε, η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει να επιδείξει προσπάθειες εισαγωγής σύγχρονης Φυσικής-Κβαντική Φυσική, Μη Γραμμικά Συστήματα, Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (Δημητριάδη, Χαλκιά & Σκορδούλης 2009) - στα λύκεια. Στο εξωτερικό έχουν γίνει έρευνες που αφορούν τις παρανοήσεις μαθητών /φοιτητών για τη σχετικότητα του Γαλιλαίου (Panse, Ramadas & Kumar, 1994; Ramadas, Barve & Kumar, 1996a; 1996b). Σε προγενέστερη έρευνά μας (όνομα συγγραφέα 1 & όνομα συγγραφέα 2, 2009) σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος προέκυψε ότι η διδασκαλία τους βοήθησε (σε ποσοστό 35-70%): α) να διακρίνουν τα συστήματα αναφοράς σε αδρανειακά και μη, β) να διακρίνουν τις δυνάμεις σε Νευτώνειες και αδρανειακές (ψευδοδυνάμεις π.χ. φυγόκεντρος, Coriolis) και γ) να περιγράφουν τις διαφορετικές τροχιές που αντιλαμβάνεται ο αδρανειακός και μη αδρανειακός παρατηρητής (π.χ. περιστρεφόμενος) για την κίνηση του ίδιου σώματος.

Επειδή γνωρίζαμε ότι τα ελληνικά σχολεία έχουν ελλιπή εργαστηριακό εξοπλισμό (αίθουσες εργαστηρίων, όργανα, υλικά, Η/Υ) και επιπλέον βασική μας επιδίωξη ήταν να έχουν όλοι οι καθηγητές Φυσικής της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν τη διδακτική παρέμβαση που προτείνουμε, σχεδιάσαμε μια εποικοδομητικού τύπου παρέμβαση σ' ένα συνεργατικό μαθησιακό περιβάλλον, όπου οι μαθητές εργάστηκαν με φύλλα εργασίας (χωρίς τη χρήση Η/Υ) εκτελώντας ομαδικές πειραματικές δραστηριότητες, σχεδιασμένες με απλά υλικά.

Μεθοδολογία της έρευνας

Σκοπός

Οι στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν:

1. Η διερεύνηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών για την τριβή (στατική και ολισθησης), τους νόμους της τριβής ολισθησης, τη σχετική κίνηση και την τριβή στη σχετική κίνηση.
2. Ο σχεδιασμός και η πραγματοποίηση των διδασκαλιών (παραδοσιακή στο τμήμα ελέγχου και εποικοδομητική στο πειραματικό τμήμα).

3. Η σύγκριση της εποικοδομητικής με την παραδοσιακή μέθοδο διδασκαλίας, μέσω της διαφοράς στην επίδοση των μαθητών των δύο τμημάτων.

Μέσα της έρευνας

Η ερευνητική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις: προέλεγχος, διδασκαλίες στο πειραματικό τμήμα και τμήμα ελέγχου και μετέλεγχος. Οι απαντήσεις των μαθητών σε κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου προελέγχου και μετελέγχου κατηγοριοποιήθηκαν και συμπεριλήφθηκαν σε πίνακες. Οι κατηγορίες και υποκατηγορίες ταξινομήθηκαν σε φθίνουσα κατακόρυφη απόκλιση από την επιστημονικά αποδεκτή άποψη. Η βαθμολόγηση των απαντήσεων έγινε στο πλαίσιο μιας κλίμακας, στην οποία: οι αναπάντητες αξιολογούνταν με 0, οι μη κατατάξιμες με βαθμό 1, οι λανθασμένες με βαθμό 2, οι μερικώς λανθασμένες με βαθμό 3-5, οι ελλιπείς (π.χ. σωστή επιλογή της απάντησης με ελλιπή δικαιολόγηση) με 6-9 και οι επιστημονικά ορθές με 10. Για να διαπιστωθεί η επίδραση της κάθε μεθόδου διδασκαλίας στην επίδοση των μαθητών, σε κάθε ερώτηση υπολογίζεται η μέση τιμή για κάθε τεστ (προελέγχου και μετελέγχου) και αφαιρούνται για κάθε τμήμα (ελέγχου και πειραματικό). Οι διαφορές αυτές (μετα - προ) συγκρίνονται μεταξύ των δύο τμημάτων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0.05 ή 5%. Το στατιστικό τεστ που χρησιμοποιήθηκε είναι το two independent sample t-test, ενώ τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν με το Mann-Whitney U-test, το οποίο είναι ένα μη-παραμετρικό τεστ για μη-κανονικές κατανομές.

Δείγμα

Το πεδίο έρευνάς μας ήταν 20 μαθητές (14 αγόρια και 6 κορίτσια) Α' Λυκείου του 1^{ου} Λυκείου Υμηττού στην Αθήνα. Χωρίστηκαν σε δύο τμήματα, ελέγχου και πειραματικό, μεικτής επίδοσης, με βάση την επίδοσή τους στη Φυσική (σύμφωνα με την κρίση της καθηγήτριάς τους στο σχολείο), έτσι ώστε τα δύο τμήματα να είναι ισοδύναμα. Η έρευνα διεξήχθη το Δεκέμβριο του 2009 και οι μαθητές, πριν τον προέλεγχο, είχαν διδαχθεί από το διδακτικό εγχειρίδιο μόνο το κεφάλαιο των Κινήσεων. Επομένως η τελευταία φορά που είχαν ασχοληθεί με δυνάμεις ήταν στη Β' Γυμνασίου. Αυτό είχε ως συνέπεια οι διδασκαλίες να διαρκέσουν επιπλέον ώρες από το προβλεπόμενο γιατί οι μαθητές δεν ήταν σε θέση: i) να σχεδιάζουν δυνάμεις, ii) να χρησιμοποιούν τους νόμους του Νεύτωνα, iii) να αναλύουν δυνάμεις σε συνιστώσες (π.χ. το βάρος σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο).

Διαδικασία

Ο προέλεγχος

Στην πρώτη φάση της έρευνας πήραμε ατομικές και ημιδομημένες συνεντεύξεις από κάθε μαθητή του δείματός μας (Cohen, Manion & Morrison, 2000; Βάμβουκας, 1993), διάρκειας που ποίκιλε ανάλογα με το μαθητή, από 47 λεπτά έως 85 λεπτά (μέσος χρόνος 60 λεπτά). Η ερευνήτρια εκφώνουσε αργά και «από στήθους» τις ερωτήσεις και ο μαθητής απαντούσε προφορικά σ' ένα ερωτηματολόγιο - τεστ Φυσικής 30 ερωτήσεων, που είχε μπροστά του εκτός εάν έπρεπε να σχεδιάσει ή να υπολογίσει δυνάμεις, οπότε απαντούσε και γραπτός. Η ερευνήτρια δε σημείωνε απευθείας τις απαντήσεις του μαθητή, για να μη διακόπτεται η ροή της συνέντευξης, αλλά τις κατέγραφε πάνω στο ατομικό πρωτόκολλό του, κατά την απομαγνητοφώνηση της συνέντευξης.

Οι ερωτήσεις ήταν ανοικτού τύπου ή κλειστού τύπου (πολλαπλής επιλογής ή τύπου «σωστό-λάθος») με δικαιολόγηση της απάντησης και σε αντιστοιχία με το Σχήμα 1, διερευνούσαν τις ιδέες των μαθητών σχετικά με:

- την έννοια της στατικής τριβής (δύναμη μεταβλητού μέτρου, σύνδεση της τριβής με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα για ακινησία)
- την έννοια της τριβής ολίσθησης και τη σύνδεσή της με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα για ευθύγραμμη ομαλή κίνηση καθώς και με το 2ο νόμο του Νεύτωνα (για ευθύγραμμη ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση)
- τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η τριβή ολίσθησης, δηλαδή το είδος των τριβόμενων επιφανειών και την κάθετη δύναμη N που συμπίπτει τις δύο επιφάνειες όταν το σώμα: α) κινείται σε οριζόντιο επίπεδο, όπου $N=B$ (βάρος), β) κινείται σε κατακόρυφο επίπεδο υπό την επίδραση οριζόντιας δύναμης F , όπου $N= F$, γ) κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο όπου $N= B\cos\varphi$ και δ) κινείται σε οριζόντιο επίπεδο με την επίδραση εξωτερικής δύναμης υπό γωνία, όπου $N= B - F\eta\mu\varphi$
- τους παράγοντες από τους οποίους δεν εξαρτάται η τριβή ολίσθησης (ταχύτητα ολίσθησης, εμβαδόν επιφάνειας συνεπαφής, οριζόντια εξωτερική δύναμη, διανυόμενη απόσταση)
- τη σχετική κίνηση και πιο συγκεκριμένα: α) πώς αντιλαμβάνεται ένας επιβάτης λεωφορείου (αδρανειακός παρατηρητής) την «κίνηση» ενός καθιστού συνεπιβάτη, την κίνηση των δέντρων και ενός παρατηρητή που στέκεται ακίνητος στο δρόμο, β) πώς αντιλαμβάνεται ένας οδηγός την κίνηση άλλων οχημάτων στην εθνική οδό, που κινούνται στην ίδια ή στην αντίθετη λωρίδα κυκλοφορίας, γ) τον υπολογισμό της σχετικής ταχύτητας μίας γυναίκας, ως προς καθιστό επιβάτη τρένου, η οποία περπατάει μέσα στο τρένο κατά τη φορά του τρένου ή με αντίθετη φορά και δ) την τροχιά μιας βόμβας που αφήνεται από αεροπλάνο, ως προς τον πιλότο και ως προς ακίνητο παρατηρητή στο έδαφος
- το ρόλο της τριβής στο βάδισμα
- το ρόλο της τριβής στην κυκλική κίνηση αυτοκινήτου
- την τριβή στη σχετική μεταφορική κίνηση δηλαδή εάν οι μαθητές αντιλαμβάνονται την ύπαρξη δυνάμεων τριβής σε σύστημα δύο σωμάτων, που είναι τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο και είτε κινούνται με την ίδια επιτάχυνση ή με διαφορετική και
- την τριβή στη σχετική περιστροφική κίνηση (την κατεύθυνση της τριβής σε σώμα που επιταχύνεται πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο).

Ο σχεδιασμός των διδασκαλιών

Η παραδοσιακή διδασκαλία σχεδιάστηκε με βάση τους διδακτικούς στόχους, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Ωστόσο, οι μαθητές του τμήματος ελέγχου, διδάχτηκαν τα ίδια θέματα, όσον αφορά το γνωστικό αντικείμενο, με τους μαθητές του πειραματικού τμήματος. Η διδακτική παρέμβαση, που πραγματοποιήσαμε στο πειραματικό τμήμα, ήταν εποικοδομητικού τύπου, στην οποία ακολουθήσαμε σε γενικές γραμμές τις φάσεις των Driver και Oldham (Χαλκιά, 2010): προσανατολισμός, ανάδειξη ιδεών (είχε ήδη πραγματοποιηθεί με τον προέλεγχο), αναδόμηση/ εμπλουτισμός των ιδεών, εφαρμογή των νέων ιδεών και ανασκόπηση των αλλαγών στις ιδέες των μαθητών. Επιπλέον προσπαθήσαμε να οικοδομήσουμε ένα συνεργατικό περιβάλλον μάθησης γιατί πιστεύουμε ότι αυτό οδηγεί σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε απαιτητικά μαθήματα, όπως αυτό των Φ.Ε., ενώ συγχρόνως ευνοεί την ανάπτυξη της σκέψης και της κοινωνικότητας των παιδιών (Lazarowitz & Hertz-Lazarowitz, 1998). Στο περιβάλλον αυτό, ο μαθητής εμπλέκεται ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία, αφού οποιοδήποτε μαθησιακό έργο και αν δοθεί, πρέπει να διερευνηθεί συλλογικά μέσα από την ομάδα. Τα μέλη της ομάδας επικοινωνούν, μοιράζονται ιδέες, εκτελούν πειράματα, μελετούν τα δεδομένα, παίρνουν αποφάσεις, καταλήγουν σε συμπεράσματα δηλαδή εξοικειώνονται με την επιστημονική νοοτροπία. Κατά συνέπεια, αναπτύσσεται η σκέψη των μαθητών και προάγεται η κατανόηση και εμπέδωση της γνώσης (Κόκκοτας, 2008).

Συνακόλουθα το θεωρητικό υπόβαθρο για το σχεδιασμό της διδακτικής μας παρέμβασης αποτέλεσε ο συγκερασμός της συνεργατικής γνωστικής διαδικασίας με τις εποικοδομητικές θέσεις στην εκπαιδευτική διαδικασία. Έτσι στηριχθήκαμε σε τρεις παιδαγωγικές αρχές, που είναι (Κόκκοτας, 2006):

1. Η προϋπάρχουσα γνώση του μαθητή χρησιμεύει ως εκκίνηση της μαθησιακής διαδικασίας, γι' αυτό και θα πρέπει να αξιοποιείται διδακτικά.
2. Η γνώση οικοδομείται ενεργητικά από τους μαθητές στα πλαίσια συνεργατικών δράσεων.
3. Η μαθησιακή διαδικασία είναι αποτελεσματική όταν εξασφαλίζει την ενεργό εμπλοκή του μαθητή.

Οι διδασκαλίες μας (παραδοσιακή και εποικοδομητική) χωρίστηκαν σε δύο θεματικές ενότητες:

- Διδασκαλία της τριβής (στατικής, ολίσθησης), των νόμων της τριβής ολίσθησης και των εφαρμογών της τριβής στην καθημερινή ζωή
- Διδασκαλία της σχετικής κίνησης (συστήματα αναφοράς, σχετική ταχύτητα) και του ρόλου της τριβής στη σχετική κίνηση.

Επομένως, οι μαθητές του πειραματικού τμήματος εργάστηκαν με δύο φύλλα εργασίας, ένα για κάθε θεματική ενότητα.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πρωτόκολλα συνέντευξης προελέγχου των μαθητών και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών από τη διεθνή βιβλιογραφία, σχεδιάσαμε, για την εποικοδομητικού τύπου διδασκαλία της Α' θεματικής ενότητας:

- τα μαθησιακά-διδακτικά έργα που χρησιμοποίησε η διδάσκουσα (ερωτήσεις, μεταφορές και αναλογίες, μοντελοποίηση για την εξήγηση του φαινομένου της τριβής στο μικρόκοσμο)
- τα μαθησιακά έργα του φύλλου εργασίας που ήταν: εργαστηριακές ασκήσεις που εκτελούνταν από τις ομάδες των μαθητών, επίλυση προβλήματος (problem solving), άσκηση για κατασκευή γραφικής παράστασης και εξαγωγή του μαθηματικού τύπου της τριβής, ερωτήσεις εφαρμογής της νέας γνώσης στις προσωπικές τους εμπειρίες και συμπλήρωση πίνακα σύγκρισης των απόψεών τους πριν και μετά τη διδασκαλία (φάση της ανασκόπησης).

Περιγράψουμε αντιπροσωπευτικά δύο δραστηριότητες του φύλλου εργασίας της Α' θεματικής ενότητας:

- Η 9^η δραστηριότητα σχεδιάστηκε για να έλθουν οι μαθητές σε γνωστική σύγκρουση με τις εναλλακτικές απόψεις: «Όσο αυξάνεται η ταχύτητα, η τριβή ολίσθησης μεγαλώνει γιατί το σώμα τριβεται περισσότερο, ή μικραίνει γιατί η κίνηση γίνεται πιο εύκολα». Είναι μια εργαστηριακή-πειραματική δραστηριότητα με προαποφασισμένη διαδικασία και άγνωστο για τους μαθητές συμπέρασμα. Οι μαθητές αφού εκτελέσουν το πείραμα καλούνται να εφαρμόσουν μια στρατηγική επίλυσης γνωστού προβλήματος. Πιο αναλυτικά (Knight, 2004): 1) να χρησιμοποιήσουν τις γνώσεις τους από την κινηματική, 2) να σχεδιάσουν ένα διάγραμμα κίνησης για τον προσδιορισμό του διανύσματος της επιτάχυνσης και της ταχύτητας σε διαφορετικά σημεία της τροχιάς, 3) να σχεδιάσουν ένα διάγραμμα ελεύθερου σώματος για να προσδιοριστούν οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα, 4) να δημιουργήσουν μια απεικονιστική αναπαράσταση, όπου σημειώνονται τα δεδομένα και τα σύμβολα και 5) να κάνουν χρήση των εξισώσεων της Κινηματικής και Μηχανικής (μαθηματική αναπαράσταση) για να λυθεί το πρόβλημα.
- Η 10^η δραστηριότητα (μέρος iv έως ix) του φύλλου εργασίας, η οποία παρατίθεται στο παράρτημα, στόχο είχε να αποδείξουν οι μαθητές ότι η τριβή ολίσθησης δεν εξαρτάται

από τη δύναμη που εφαρμόζουμε στο σώμα και ούτε από τη διανυόμενη απόσταση μέχρι αυτό να σταματήσει. Είναι μια επίλυση προβλήματος (problem solving) στην οποία οι μαθητές καλούνται (Βλάχος, 2004): 1) να σχεδιάσουν οι ίδιοι το πρόβλημα, 2) να γράψουν τη σχετική θεωρία, 3) να καταστρώσουν μια στρατηγική επίλυσης, 4) να λύσουν το πρόβλημα και 5) να αξιολογήσουν τη λύση. Από τη σκοπιά της Εποικοδόμησης, είναι μια ενεργητική μαθησιακή δραστηριότητα, όπου ο μαθητής εμπλέκεται ουσιαστικά, αναπτύσσοντας δημιουργική και κριτική σκέψη.

Το γνωστικό αντικείμενο της Β' θεματικής ενότητας δεν υπάρχει στο σχολικό εγχειρίδιο της Α' Λυκείου, γι' αυτό και προσπαθήσαμε να προσεγγίσουμε την επιστημονική γνώση με απλό τρόπο, λιγότερο με μαθηματικές σχέσεις και ορολογίες και περισσότερο ποιοτικά. Στο σημείο αυτό κρίνουμε απαραίτητο να παραθέσουμε τα διδακτικά εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε στο πειραματικό τμήμα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Το σχέδιο μαθήματος της εποικοδομητικής διδασκαλίας της Β' θεματικής ενότητας

Γνωστικό περιεχόμενο	Διδακτικός στόχος που επιδιώκεται	Διδακτικά - Μαθησιακά Έργα
<i>Φάση του προσανατολισμού</i>		
	Πρόκληση ενδιαφέροντος στους μαθητές	Γίνεται συζήτηση της ερευνητριάς με τους μαθητές με βάση τα ερωτήματα: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Γιατί νομίζουμε ότι τα αυτοκίνητα, που κινούνται στην εθνική οδό στην αντίθετη λωρίδα κυκλοφορίας από το αυτοκίνητό μας, τρέχουν με λιγγιάδη ταχύτητα; ▪ Γιατί το παιδί που περιστρέφεται πάνω στο μύλο της παιδικής χαράς βλέπει όλα τα πράγματα να γυρίζουν; ▪ Γιατί τα δέντρα στο δρόμο «φεύγουν προς τα πίσω», όταν κινούμαστε με το αυτοκίνητο;
<i>Φάση της ανάδειξης των ιδεών (έχει πραγματοποιηθεί με το προ-τεστ)</i>		
<i>Φάση της αναδόμησης των ιδεών</i>		
Σχετική κίνηση Συστήματα αναφοράς (δε γίνεται διάκριση σε αδρανειακά και μη αδρανειακά)	1. Να αντιληφθούν οι μαθητές ότι η περιγραφή μιας κίνησης εξαρτάται από αυτόν που την παρατηρεί (δεν υπάρχουν πραγματικές και φαινομενικές κινήσεις).	Οι μαθητές ασχολούνται με ερωτήσεις του Β' φύλλου εργασίας με απλά παραδείγματα της καθημερινής ζωής. Δεν εισάγονται οι όροι: Αδρανειακός και μη αδρανειακός παρατηρητής. Χάριν ευκολίας, οι παρατηρητές διακρίνονται σε:
Σχετική ταχύτητα	2. Να εκτιμήσουν ποσοτικά την ταχύτητα του ακίνητου παρατηρητή ως προς κινούμενο παρατηρητή με σταθερή ταχύτητα (αδρανειακός παρατηρητής).	<ul style="list-style-type: none"> • ακίνητους, • κινούμενους (με ευθύγραμμη ομαλή κίνηση) • περιστρεφόμενους (μη αδρανειακούς) και αυτή τη διάκριση θα χρησιμοποιήσουμε στην εργασία μας.
	3. Να υπολογίσουν εμπειρικά και όχι με τύπο, την ταχύτητα ενός σώματος ως προς άλλο κινούμενο σώμα, όταν οι ταχύτητές τους, ως προς ακίνητο παρατηρητή, είναι ίδιας ή αντίθετης κατεύθυνσης.	Πειραματική δραστηριότητα: οι μαθητές παριστάνουν τα κινούμενα σώματα. Άσκηση του Β' φύλλου εργασίας: αυτοκίνητα που κινούνται στην εθνική οδό (σε παράλληλες λωρίδες κυκλοφορίας, ίδιας ή αντίθετης κατεύθυνσης).

<p>Τροχιές σώματος ως προς ακίνητο και κινούμενο παρατηρητή (αδρανειακοί παρατηρητές) Τριβή και σχετική μεταφορική κίνηση</p>	<p>4. Να συνειδητοποιήσουν ότι διαφορετικοί παρατηρητές αντιλαμβάνονται, όχι μόνο διαφορετικές ταχύτητες για το ίδιο σώμα, αλλά και διαφορετικές τροχιές. 5. Να εφαρμόσουν τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα για να εξηγήσουν τον τρόπο που βαδίζει ο άνθρωπος.</p>	<p>Ερωτήσεις του Β' φύλλου εργασίας:</p> <ul style="list-style-type: none"> • κίνηση βάρκας σε ποτάμι, που παρασύρεται από το ρεύμα, • τροχιά μπάλας του μπέιζμπολ, για ακίνητο παίκτη και παίκτη που τρέχει με σταθερή ταχύτητα. <p>Σχεδιάζουν σε διαγράμματα ελεύθερου σώματος τις δυνάμεις που ασκούνται στο πόδι του ανθρώπου και στο έδαφος.</p>
<p>Η τριβή αντιτίθεται στη σχετική κίνηση του ενός σώματος ως προς το άλλο, που έρχεται σε επαφή, επομένως στη μεταφορική κίνηση μπορεί να έχει την ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση με την ταχύτητα (ως προς ακίνητο παρατηρητή)</p>	<p>6. Να έρθουν σε γνωστική σύγκρουση όταν ανακαλύψουν το διαφορετικό ρόλο της τριβής για τον άνθρωπο και για το χαλασμένο αυτοκίνητο. 7. Να ανακαλύψουν το ρόλο της τριβής ως «προωθητικής δύναμης» σώματος 2 που βρίσκεται πάνω σε επιταχυνόμενο σώμα 1 και: i) κινούνται με την ίδια επιτάχυνση (δηλαδή το σώμα 2 είναι ακίνητο σε σχέση με το σώμα 1). ii) κινούνται με διαφορετική επιτάχυνση (το σώμα 2 κινείται ως προς το σώμα 1).</p>	<p>Δραστηριότητα 8^η του Β' φύλλου εργασίας (παράρτημα). Ο σχεδιασμός των δυνάμεων σε κάθε σώμα γίνεται σε διαφορετικό πλαίσιο (τεχνική των <i>fragmented diagrams</i>, Viennot, 2003), έτσι ώστε να μην μπερδεύουν οι μαθητές τις δυνάμεις στο σημείο επαφής.</p>
<p>Τριβή και ομαλή κυκλική κίνηση Η τριβή έχει διεύθυνση κάθετη στην ταχύτητα Σχετική περιστροφική κίνηση</p>	<p>8. Να εφαρμόσουν το 2^ο νόμο του Νεύτωνα για την ομαλή κυκλική κίνηση, για να συμπεράνουν ότι η τριβή παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης. 9. Να αντιληφθούν ότι ο ακίνητος και ο περιστρεφόμενος παρατηρητής βλέπουν διαφορετικές τροχιές για το ίδιο σώμα.</p>	<p>Δραστηριότητα 9^η και 10^η του Β' φύλλου εργασίας (η 9^η βρίσκεται στο παράρτημα). Η ερευνήτρια χρησιμοποιεί τη γεφυρωτική αναλογία (<i>conceptual bridging</i>) μεταξύ του μοντέλου των αλληλοσυμπλεκόμενων ανωμαλιών και του μοντέλου της βούρτσας (παράρτημα). Διάγραμμα ελεύθερου σώματος για σχεδιασμό δυνάμεων σε αυτοκίνητο που κινείται σε κυκλική πλατεία. Δραστηριότητα του Β' φύλλου εργασίας: Αυτοκίνητο που ενώ στρίβει, συναντά το οδόστρωμα παγωμένο. Οι μαθητές συζητούν και σχεδιάζουν τις πιθανές τροχιές του αυτοκινήτου για ακίνητο και περιστρεφόμενο παρατηρητή.</p>

Φάση της εφαρμογής των νέων ιδεών

<p>Τριβή και σχετική περιστροφική κίνηση Το διάνυσμα της τριβής σχηματίζει οξεία γωνία με το διάνυσμα της ταχύτητας (ως προς ακίνητο παρατηρητή)</p>	<p>Να εφαρμόσουν τα συμπεράσματα για την κατεύθυνση της τριβής στις διάφορες περιπτώσεις προκειμένου να διαπιστώσουν το διττό ρόλο της τριβής: η τριβή μπορεί να επιταχύνει επιτρόχια ένα σώμα και ταυτόχρονα να παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης.</p>	<p>Ερωτήσεις του Β' φύλλου εργασίας σχετικά με την τριβή και την κίνηση που εκτελεί σώμα που εκτοξεύεται, με ταχύτητα κάθετη στην ακτίνα, πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο. Προβολή σε power point της κίνησης του σώματος (καμπυλόγραμμη τροχιά ως προς τον ακίνητο παρατηρητή).</p>
--	--	---

Φάση της ανασκόπησης των αλλαγών

<p>Η τριβή επηρεάζει την κίνηση ποικιλοτρόπως</p>	<p>Να συνειδητοποιήσουν τη γνωστική τους πορεία (μεταγνώση).</p>	<p>Συμπλήρωση πίνακα για να συγκρίνουν τις ιδέες τους πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.</p>
---	--	---

Η υλοποίηση των διδασκαλιών

Η παραδοσιακή διδασκαλία στο τμήμα ελέγχου (Τ.Ε.) είχε συνολική διάρκεια 7 διδακτικές ώρες (4 και 3 ώρες αντίστοιχα για τις δύο θεματικές ενότητες) ενώ η διδακτική παρέμβαση στο πειραματικό τμήμα (Π.Τ.) 12 ώρες (7 και 5 ώρες αντίστοιχα). Η διαφορά αυτή οφείλεται:

- στην έλλειψη προηγούμενης εμπειρίας από τους μαθητές τόσο στον πειραματισμό σε εργαστήριο (δεν ήξεραν να χειρίζονται όργανα όπως το δυναμόμετρο και το χρονόμετρο), όσο και στην εργασία σε ομάδες, οπότε η όλη διαδικασία ήταν πρωτόγνωρη γι' αυτούς,
- στην πρακτική εργασία που διεξάγεται από τους μαθητές η οποία είναι πιο χρονοβόρα διαδικασία από την παραδοσιακή διδασκαλία,
- στο χρόνο που διατέθηκε στους μαθητές να συζητούν στις ομάδες τους και να καταγράφουν τα αποτελέσματα και συμπεράσματα στα φύλλα εργασίας τους.

Στον προέλεγχο είχε ζητηθεί από τους μαθητές του πειραματικού τμήματος να συμπληρώσουν 5 ονόματα συμμαθητών τους με τους οποίους θα ήθελαν να συνεργαστούν σε ομάδα Φυσικής. Κατασκευάσαμε το κοινωνιόγραμμα του τμήματος και λαβαίνοντας υπόψη την επίδοση των μαθητών στο μάθημα της Φυσικής (όπως τους είχε αξιολογήσει η καθηγήτριά τους στο σχολείο), δημιουργήσαμε 2 ομάδες των 5 μαθητών, ετερογενείς και με προσεκτικά επιλεγμένη σύνθεση (π.χ. κάθε ομάδα αποτελούνταν από ένα άριστο μαθητή, 3 μέτριους και έναν αδύνατο). Προσπαθήσαμε να μνήσουμε τους μαθητές στους στόχους της συνεργατικής μαθητικής ομάδας, πράγμα που ήταν δύσκολο και χρονοβόρο, για παιδιά που δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία. Πιστεύουμε πως αυτό ευοδώθηκε ως ένα βαθμό αφού, όπως παρατηρήσαμε από τις βιντεοσκοπημένες διδασκαλίες:

- Τα μέλη των ομάδων είχαν λεκτική αλληλεπίδραση και εργάστηκαν συλλογικά προκειμένου να ολοκληρώσουν επιτυχώς τις μαθησιακές δραστηριότητες των φύλλων εργασίας που τους είχαν ανατεθεί (taskwork).
- Οι περισσότεροι μαθητές αισθάνονταν υπεύθυνοι για την ποιότητα της εργασίας τους και τη μάθησή τους και προσπαθούσαν να βοηθήσουν ο ένας τον άλλο (Crouch & Mazur, 2001), αλλά κυρίως τα «αδύνατα» μέλη της ομάδας.
- Ο κάθε μαθητής συνεισέφερε σύμφωνα με τις δυνατότητές του, αλλά ακόμα και οι «αδύνατοι» μαθητές παροτρύνονταν να ολοκληρώσουν το έργο και όχι να αντιγράψουν από τους καλούς μαθητές.
- Τα μέλη των ομάδων μέσα από διαφωνίες αναθεωρούσαν την αρχική τους άποψη, συνέθεταν νέες θέσεις και αξιολογούσαν ιδέες, χωρίς να επεμβαίνει η ερευνήτρια.

Η ερευνήτρια προσπάθησε να οικοδομήσει, στο πειραματικό τμήμα, ένα ομαδοσυνεργατικό περιβάλλον μάθησης στο οποίο ενθάρρυνε τους μαθητές να σκέφτονται ελεύθερα, συντόνιζε τις ενέργειες και τις δραστηριότητές τους και τους βοηθούσε να συνδυάσουν τη νέα γνώση με τις εμπειρίες τους. Επιπλέον, ο ρόλος της ήταν διαμεσολαβητικός (Χαλκιά, 2010). Προσάρμοζε κατάλληλα το επίπεδο των πληροφοριών έτσι ώστε οι μαθητές να ξεπερνούν τα εμπόδια κατανόησης (π.χ. έφτιαχνε γέφυρες μεταξύ της καθομιλουμένης και της επιστημονικής γλώσσας, κυρίως στη διδασκαλία της Β' θεματικής ενότητας).

Κατά τη διάρκεια και των δύο ειδών διδασκαλίας έγινε προβολή σε διαφάνειες Power-Point: των συμπερασμάτων και των εφαρμογών της τριβής στην καθημερινή ζωή, σκίτσων με θέμα «Η τριβή σε κόμικς» (Φωτεινόπουλος, 1983), του μοντέλου των αλληλοσυμπλεκόμενων επιφανειών και του μοντέλου των τοπικών συγκολλήσεων (Bowden & Tabor, 1950; Besson et al., 2007; Θεοδωρόπουλος κ.ά., 1997) για την ερμηνεία της φύσης της τριβής σε μικροσκοπικό επίπεδο. Στους μαθητές δεν δόθηκαν σημειώσεις για μελέτη στο σπίτι.

Ο μετέλεγχος

Πραγματοποιήθηκε στο ίδιο δείγμα με το ίδιο ερωτηματολόγιο με τον προέλεγχο, στο οποίο όμως οι μαθητές απάντησαν γραπτά. Παρόλο που διεξήχθη ένα μήνα μετά το πέρας των διδασκαλιών, οι μαθητές είχαν μόλις εισαχθεί στο κεφάλαιο της Δυναμικής στο σχολείο (γιατί παρεμβλήθηκαν οι διακοπές των Χριστουγέννων).

Τα αποτελέσματα της έρευνας

Παρουσιάζουμε κάποιες ερωτήσεις που δόθηκαν στα ερωτηματολόγια προελέγχου και μετελέγχου και είναι ενδεικτικές της έρευνάς μας γιατί δεν έχουν εξεταστεί σε άλλες σχετικές μελέτες. Η ερώτηση 1 αναφέρεται στην έννοια της στατικής τριβής, η ερώτηση 8 σε ένα παράγοντα από τον οποίο δεν εξαρτάται η τριβή ολίσθησης, η ερώτηση 12 στην εξάρτηση της τριβής ολίσθησης από την κάθετη δύναμη N , η ερώτηση 27 στην τριβή στην κυκλική κίνηση και η ερώτηση 28 στην τριβή στη σχετική περιστροφική κίνηση. Από αυτές, οι ερωτήσεις 1, 8 και 12 αντιστοιχούν στην Α' θεματική ενότητα, ενώ οι 27 και 28 στη Β' ενότητα. Στους πίνακες 2-4 και στα σχήματα 3 και 4 καταγράφονται οι κατηγορίες των απαντήσεων των 10 μαθητών του τμήματος ελέγχου και 10 μαθητών του πειραματικού τμήματος στα δύο τεστ με τις απόλυτες συχνοτήτες τους.

Ερώτηση 1: i) Ένας εργάτης προσπαθεί να κινήσει το κιβώτιο πάνω στο έδαφος προς τα δεξιά, δηλαδή ασκεί δύναμη στο κιβώτιο μέσω του σχοινιού (Σχήμα 2). Το κιβώτιο, όμως, δεν κινείται. Γιατί συμβαίνει αυτό; ii) Να σχεδιάσεις τις δυνάμεις που ασκούνται στο κιβώτιο (στην κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση) και να τις ονομάσεις.



Σχήμα 2. Ο εργάτης προσπαθεί να μετακινήσει το κιβώτιο εφαρμόζοντας οριζόντια δύναμη

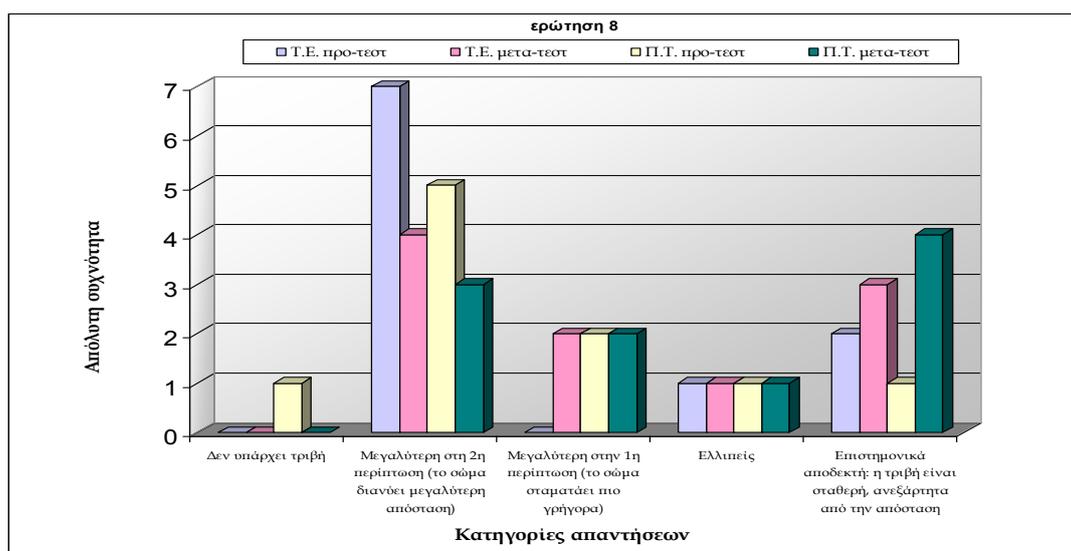
Στον Πίνακα 2 παρατηρούμε μια μετακίνηση των μαθητών του Π.Τ. από τις κατηγορίες 1-5 προς την επιστημονικά ορθή απάντηση, μετακίνηση που δεν παρατηρείται στους μαθητές του Τ.Ε., γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εποικοδομητική παρέμβαση είχε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από την παραδοσιακή διδασκαλία στην ερώτηση 1.

Ερώτηση 8: Σ' ένα πείραμα σπρώχνουμε ένα σώμα κατά μήκος οριζόντιου δαπέδου, οπότε αυτό αποκτά αρχική ταχύτητα $v_0=2$ m/s. Μετά το αφήνουμε ελεύθερο να κινηθεί. Το δάπεδο δεν είναι λείο. Το σώμα σταματά αφού διανύσει 2m. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα, όμως τώρα σπρώχνουμε το σώμα με μεγαλύτερη δύναμη οπότε αποκτά αρχική ταχύτητα $v_0=4$ m/s. Το σώμα σταματά αφού διανύσει 8m. Σε ποια από τις δύο περιπτώσεις η τριβή ανάμεσα στο σώμα και στο δάπεδο είναι μεγαλύτερη; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

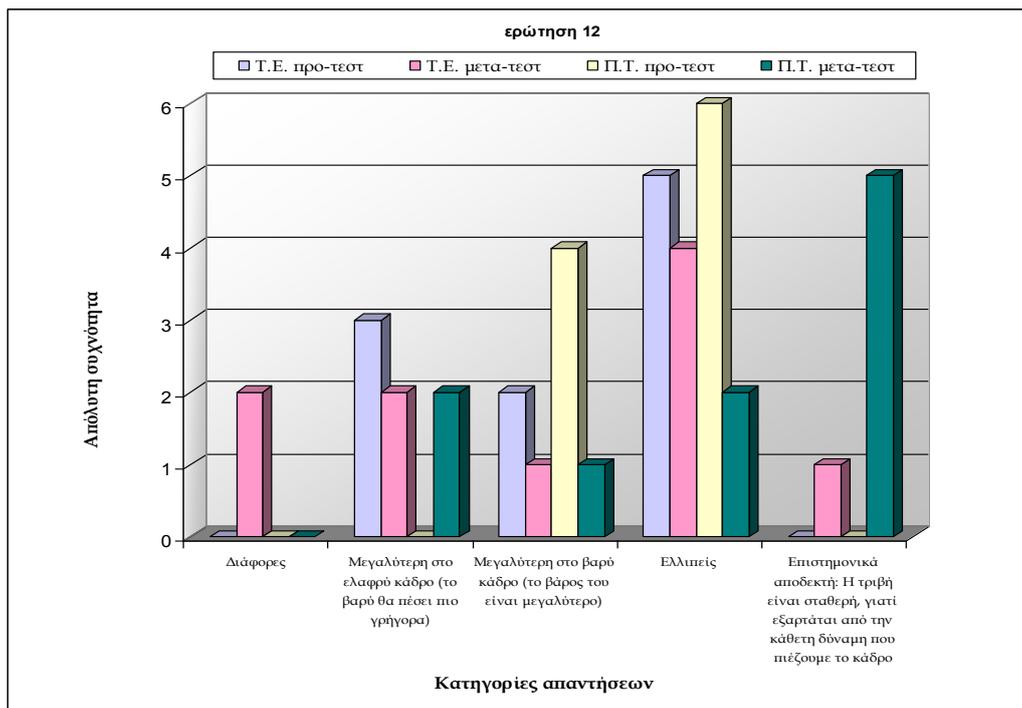
Ερώτηση 12: Θέλουμε να κρεμάσουμε στον τοίχο ένα κάδρο βάρους 15N και ένα άλλο διπλάσιου βάρους 30N. Τα δύο κάδρα έχουν το ίδιο μέγεθος, δηλαδή το εμβαδόν της επιφάνειας που ακουμπάει στον τοίχο είναι το ίδιο. Επίσης το πίσω μέρος των κάδρων είναι φτιαγμένο από το ίδιο υλικό. Προκειμένου να σημαδέψουμε τη θέση του καρφιού στον τοίχο, πέζουμε με το άλλο χέρι μας το κάδρο κάθετα προς τον τοίχο, αλλά και στις δύο περιπτώσεις το κάδρο γλιστράει πάνω στον τοίχο προς τα κάτω. Αν και στις δύο περιπτώσεις το χέρι μας ασκεί την ίδια δύναμη F πάνω στο κάδρο, σε ποια από τις δύο περιπτώσεις η τριβή ανάμεσα στο κάδρο και στον τοίχο είναι μεγαλύτερη; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου, σχεδιάζοντας και τις κατάλληλες δυνάμεις πάνω στα κάδρα.

Πίνακας 2. Κατανομή των μαθητών ως προς τις κατηγορίες των απαντήσεων τους στην ερώτηση 1 του προ-τεστ και μετα-τεστ

Κατηγορίες απαντήσεων	Τμήμα ελέγχου (Τ.Ε.)		Πειραματικό τμήμα (Π.Τ.)	
	προ-τεστ	μετα-τεστ	προ-τεστ	μετα-τεστ
Διάφορες (Δεν απαντούν/μη κατατάξιμες)	0	1	2	0
Εναλλακτικές ιδέες				
Ο εργάτης δεν ασκεί αρκετή δύναμη και το κιβώτιο είναι βαρύ (ή το βάρος του κιβωτίου είναι μεγαλύτερο από τη δύναμη του εργάτη). Δεν αναφέρουν ούτε σχεδιάζουν την τριβή.	5	4	4	2
Το κιβώτιο είναι βαρύ αλλά έχει σχέση και το έδαφος. Δεν σχεδιάζουν την τριβή.	2	0	2	0
Ο εργάτης δεν ασκεί αρκετή δύναμη και το εμποδίζει και η τριβή. Σχεδιάζουν λάθος την τριβή.	2	0	0	0
Ελλειψεις				
Ο εργάτης δεν ασκεί αρκετή δύναμη/η μάζα του κιβωτίου είναι μεγάλη αλλά και η επιφάνεια είναι τραχιά. Σχεδιάζουν σωστά την τριβή.	0	1	2	0
Η δύναμη της τριβής είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη του εργάτη. Σχεδιάζουν σωστά την τριβή.	0	2	0	0
Επιστημονικά αποδεκτές				
Υπάρχει τριβή μεταξύ του κιβωτίου και του εδάφους και είναι ίση με τη δύναμη του εργάτη. Σχεδιάζουν σωστά και τις 4 δυνάμεις που ασκούνται στο κιβώτιο.	1	2	0	8
Συνολικό δείγμα	10	10	10	10



Σχήμα 3. Ραβδόγραμμα συχνοτήτων για τις κατηγορίες απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 8 του προ-τεστ και μετα-τεστ



Σχήμα 4. Ραβδόγραμμα συχνοτήτων για τις κατηγορίες απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 12 του προ-τεστ και μετα-τεστ

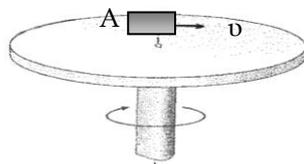
Από το ραβδόγραμμα προκύπτει ότι μόνο 1 μαθητής του T.E. και 5 μαθητές του Π.Τ. αποκτούν την επιστημονική άποψη μετά τη διδασκαλία, επομένως η εποικοδομητική παρέμβαση βελτίωσε την επίδοση των μαθητών, ενώ η παραδοσιακή διδασκαλία δεν είχε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Ερώτηση 27: Υπόθεσε ότι ακριβώς πλάι στο αυτοκίνητο (της 26ης ερώτησης), που κινείται σε κυκλική πλατεία, υπάρχει μια μοτοσυκλέτα η οποία κινείται πάνω στο πεζοδρόμιο της πλατείας, με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με το αυτοκίνητο. Άρα ο μοτοσυκλετιστής βλέπει το αυτοκίνητο ακίνητο. Στη συνέχεια, το αυτοκίνητο καθώς στρίβει βρίσκει το οδόστρωμα παγωμένο, ενώ η μοτοσυκλέτα συνεχίζει να κινείται κυκλικά όπως πριν (γιατί το πεζοδρόμιο έχει καθαριστεί από τα χιόνια). Τι τροχιά θα ακολουθήσει το αυτοκίνητο, όπως την αντιλαμβάνεται ο περιστρεφόμενος παρατηρητής (μοτοσυκλετιστής);

- α. Θεωρεί το αυτοκίνητο ακίνητο.
 - β. Θα ακολουθήσει ευθύγραμμη τροχιά, θα κινηθεί πάνω στην ακτίνα του κύκλου προς την έξω μεριά της πλατείας.
 - γ. Θα ακολουθήσει ελικοειδή τροχιά (σαν σπείρα).
 - δ. Θα ακολουθήσει κυκλική τροχιά.
 - ε. Άλλη τροχιά. Να γράψεις ποια
- Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

Ερώτηση 28: Ένας δίσκος περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα γύρω από κατακόρυφο άξονα, κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού (Σχήμα 5). Ένα σώμα που βρίσκεται πάνω στο δίσκο (σημείο A) και σε απόσταση R από το κέντρο του, εκτοξεύεται με ταχύτητα v κάθετα στην ακτίνα. Ανάμεσα στο δίσκο και στο σώμα υπάρχει τριβή. Το σώμα δεν παραμένει ακίνητο πάνω στο δίσκο. Σε κάποια χρονική στιγμή, ένας ακίνητος παρατηρητής στο έδαφος βλέπει το σώμα να κινείται με ταχύτητα v_0 ενώ ένας παρατηρητής που στέκεται ακίνητος πάνω στο δίσκο βλέπει το σώμα να κινείται με ταχύτητα $v_{0,\delta}$. Ποια είναι η κατεύθυνση της τριβής που ασκείται από το δίσκο στο σώμα τη χρονική αυτή στιγμή;

- α. Αντίθετη από το διάνυσμα v_{α} .
 β. Αντίθετη από το διάνυσμα $v_{\alpha, \delta}$.
 γ. Διεύθυνση πάνω στην ακτίνα και φορά προς το κέντρο του δίσκου.
 δ. Διεύθυνση πάνω στην ακτίνα και φορά προς το έξω μέρος του δίσκου.
 ε. Άλλη κατεύθυνση. Να γράψεις ποια.
 Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.....



Σχήμα 5. Σώμα που κινείται πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο

Πίνακας 3. Κατανομή των μαθητών ως προς τις κατηγορίες των απαντήσεών τους στην ερώτηση 27 του προ-τεστ και μετα-τεστ

Κατηγορίες απαντήσεων	Τμήμα ελέγχου (Τ.Ε.)		Πειραματικό τμήμα (Π.Τ.)	
	προ-τεστ	μετα-τεστ	προ-τεστ	μετα-τεστ
Διάφορες (Δεν απαντούν/μη κατατάξιμες)	1	1	0	0
Εναλλακτικές ιδέες				
Άλλη τροχιά (επιλογή ε). Βλέπει το αυτοκίνητο να κινείται εφαιπτομενικά, όπως το βλέπει και ο ακίνητος παρατηρητής/να κάνει ζικ-ζακ.	1	1	2	0
Θεωρεί το αυτοκίνητο ακίνητο (επιλογή α). Δε δικαιολογούν.	1	1	1	0
Ευθύγραμμη τροχιά (επιλογή β). Δε δικαιολογούν ή την ίδια τροχιά που βλέπει και ο ακίνητος παρατηρητής.	3	4	4	3
Κυκλική τροχιά (επιλογή δ). Δε δικαιολογούν.	2	1	2	0
Ελλείψεις				
Ελικοειδής τροχιά (επιλογή γ). Δε δικαιολογούν.	2	2	1	3
Επιστημονικά αποδεκτές				
Ελικοειδής τροχιά (επιλογή γ). Αφού ο μοτοσικλετιστής περιστρέφεται ως προς ακίνητο παρατηρητή, θα βλέπει το αυτοκίνητο να περιστρέφεται γύρω του, αλλά ταυτόχρονα το αυτοκίνητο θα απομακρύνεται από αυτόν.	0	0	0	4
Συνολικό δείγμα	10	10	10	10

Οι Πίνακες 3 και 4 δείχνουν ότι οι μαθητές του Τ.Ε. παρουσίασαν στασιμότητα και οπισθοδρόμηση στις ερωτήσεις 27 και 28 αντίστοιχα, ενώ οι μαθητές του Π.Τ. παρουσίασαν πρόοδο. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό κριτήριο t-test έδειξε ότι στην πλειονότητα από τις 30 ερωτήσεις που εξετάστηκαν, η διαφορά στη μέση τιμή post και pre-test του Π.Τ. ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Τ.Ε., δηλαδή η επικοινωνιακή παρέμβαση είχε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από την παραδοσιακή διδασκαλία. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ των δύο τμημάτων κρίθηκε στατιστικά σημαντική μόνο σε τρεις ερωτήσεις, γεγονός που οφείλεται στο μικρό μέγεθος του δείγματός μας. Οι ερωτήσεις αυτές είναι: η 22^η ερώτηση που αφορά στο βάδισμα, η 27^η και η 28^η που μελετήσαμε στους πίνακες 3 και 4, με τιμή της πιθανότητας $p=0.02$ για κάθε ερώτηση.

Πίνακας 4. Κατανομή των μαθητών ως προς τις κατηγορίες των απαντήσεών τους στην ερώτηση 28 του προ-τεστ και μετα-τεστ

Κατηγορίες απαντήσεων	Τμήμα ελέγχου		Πειραματικό τμήμα	
	προ-τεστ	μετα-τεστ	προ-τεστ	μετα-τεστ
Διάφορες (Δεν απαντούν/ μη κατατάξιμες)	0	2	0	0
Εναλλακτικές ιδέες				
Άλλη τροχιά (επιλογή ε). Η τριβή είναι αντίθετη από την ταχύτητα που έχει ο δίσκος/Η τριβή έχει την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα του δίσκου.	0	0	3	0
Επιλογή δ. Ο δίσκος θα παρασύρει το σώμα προς τα έξω (η τριβή βοηθάει την κίνηση).	2	2	1	1
Επιλογή α. Δε δικαιολογούν/Η τριβή είναι αντίθετη από την ταχύτητα/Η τριβή δυσκολεύει την κίνηση.	3	5	3	1
Επιλογή γ. Η τριβή λειτουργεί ως κεντρομόλος δύναμη/ Το σώμα θα πλησιάζει στο κέντρο του δίσκου.	2	0	1	2
Ελλείψεις				
Επιλογή β. Δε δικαιολογούν/Το σώμα θέλει να φύγει προς τα έξω και η τριβή το τραβάει προς τα μέσα/Ο ακίνητος δε βλέπει την ίδια τριβή με τον περιστρεφόμενο.	3	1	2	6
Επιστημονικά αποδεκτές				
Επιλογή β. Η τριβή που ασκείται στο σώμα είναι αντίθετη από τη σχετική ταχύτητα του σώματος ως προς το δίσκο.	0	0	0	0
Συνολικό δείγμα	10	10	10	10

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε συγκεντρωτικά τις κυριότερες από τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών που προέκυψαν από την κατηγοριοποίηση των απαντήσεών τους στις 30 ερωτήσεις του ερωτηματολογίου προελέγχου (καθώς και σύντομα σχόλια για τα μαθησιακά αποτελέσματα των δύο μεθόδων διδασκαλίας), γιατί πιστεύουμε ότι: α) αποτελούν εφόδιο για τους εκπαιδευτικούς κατά το σχεδιασμό και πραγματοποίηση της διδασκαλίας της τριβής και β) οι εκπαιδευτικοί μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν κατάλληλα προκειμένου να αξιολογήσουν κατά πόσο είναι ικανοί οι μαθητές τους να εφαρμόζουν τα όσα έχουν μάθει στη Μηχανική σε φαινόμενα που σχετίζονται με την τριβή.

- Ένα ακίνητο σώμα σε οριζόντιο δάπεδο, που του ασκούμε οριζόντια δύναμη παραμένει ακίνητο γιατί είναι μεγάλο το βάρος του ή το βάρος του είναι μεγαλύτερο από την ασκούμενη δύναμη, δηλαδή συγκρίνουν το βάρος με μία οριζόντια δύναμη (πίνακας 2), συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει και η έρευνα των Κουκουτσάκη κ.ά. (2004).
- Ένα σώμα που του ασκούμε δύναμη: α) εάν είναι ακίνητο παραμένει ακίνητο γιατί η τριβή είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική δύναμη, β) εάν εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση τότε δεν του ασκείται τριβή (16 από τους 20 μαθητές), δηλαδή οι μαθητές αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν τον 1^ο νόμο του Νεύτωνα και στις δύο περιπτώσεις.
- Η τριβή ολισθησης αυξάνεται όσο αυξάνεται: α) το εμβαδόν της επιφάνειας συνεπαφής των δύο σωμάτων, β) η ταχύτητα του σώματος γ) η εξωτερική δύναμη, δ) η απόσταση που διανύει το σώμα (Stead & Osborne, 1981). Στην 1^η περίπτωση ο αριθμός των μαθητών του Π.Τ. που διατηρεί την αντίληψη αυτή μειώνεται από 9 σε 1 μετά την παρέμβαση, στη 2^η περίπτωση από 4 μαθητές σε 2, στην 3^η και 4^η περίπτωση από 5 μαθητές σε 3 (σχήμα 3).

- Η τριβή ολίσθησης εξαρτάται πάντα από το βάρος του σώματος είτε αυτό κινείται σε οριζόντιο είτε σε κατακόρυφο επίπεδο (σχήμα 4). Η ιδέα αυτή οφείλεται στην τάση των μαθητών να εξισώνουν την κάθετη δύναμη N με το βάρος του σώματος, μια τάση που ευνοείται από τα παραδείγματα στα σχολικά εγχειρίδια, που εστιάζουν σε καταστάσεις οριζόντιας κίνησης, στις οποίες η κάθετη δύναμη N ισούται με το βάρος (Besson et al., 2010).
- Η τριβή ολίσθησης μεγαλώνει όταν το σώμα ανεβαίνει σε κεκλιμένο επίπεδο, γιατί δυσκολεύεται στην κίνησή του, ενώ μικραίνει όταν αυτό κατεβαίνει στο ίδιο κεκλιμένο επίπεδο, γιατί είναι «κατηφόρα» και τρέχει με μεγάλη ταχύτητα (11 στους 20 μαθητές).
- Η τριβή ολίσθησης είναι ίδια είτε ασκούμε στο σώμα οριζόντια δύναμη F είτε δύναμη που σχηματίζει γωνία με το οριζόντιο επίπεδο, αφού το μέτρο της δύναμης παραμένει ίδιο (12 στους 20 μαθητές).
- 6 από τους 20 μαθητές δεν μπορούν να αντιληφθούν τις τροχιές που θα ακολουθήσει η βόμβα που αφήνεται από αεροπλάνο, ως προς ακίνητο παρατηρητή και ως προς τον πιλότο, ενώ 9 μαθητές θεωρούν ότι και οι δύο παρατηρητές θα δουν την ίδια τροχιά (κατακόρυφη). Στη 2^η περίπτωση, 5 μαθητές του Π.Τ. διατόπωσαν την ιδέα αυτή στον προέλεγχο και μειώθηκαν σε 1 στο μετέλεγχο.
- Μόνο 3 μαθητές του Τ.Ε. και 1 μαθητής του Π.Τ. εφαρμόζουν σωστά τον 3^ο νόμο του Νεύτωνα για να σχεδιάσουν την τριβή που ασκείται από το έδαφος στο πόδι του ανθρώπου που βαδίζει και την αντίδρασή της πάνω στο έδαφος. Μετά τις διδασκαλίες οι μαθητές που απαντούν σωστά είναι 2 και 5 αντίστοιχα για τα δύο τμήματα.
- Στην περίπτωση σώματος (παθητικό) το οποίο βρίσκεται πάνω σε άλλο σώμα (κινητήριο) που δέχεται οριζόντια δύναμη F , και παραμένει ακίνητο ως προς το κινητήριο (ερώτηση 23, στο παράρτημα), οι 19 από τους 20 μαθητές είτε δε σχεδίασαν καθόλου δύναμη τριβής πάνω στο παθητικό σώμα, ή τη σχεδίασαν αντίθετης κατεύθυνσης από τη δύναμη F και δικαιολόγησαν ότι το παθητικό σώμα μεταφέρεται εξαιτίας του κινητηρίου σώματος, αποτέλεσμα που συμφωνεί με τις έρευνες των Caldas και Saltiel (1995) και Besson et al. (2010). Στην περίπτωση που το παθητικό σώμα γλιστράει πάνω στο άλλο σώμα (σχετική μεταφορική κίνηση), ο προηγούμενος αριθμός μειώνεται σε 15 μαθητές. Μάλιστα 6 από αυτούς τους μαθητές ανήκουν στο Π.Τ. , και μειώνονται σε 3 μετά την παρέμβαση.
- Κανένας μαθητής δε σκέφτεται την ύπαρξη μιας δύναμης τριβής που να ασκείται στο κινητήριο σώμα από το παθητικό σώμα ως αντίδραση της τριβής που ασκεί το κινητήριο σώμα στο παθητικό (απουσία του 3^{ου} νόμου του Νεύτωνα, Besson et al., 2010).
- 10 από τους 20 μαθητές υποστηρίζουν πως ένα αυτοκίνητο στρίβει εξαιτίας του οδηγού του/του τιμονιού/ του βάρους του.
- Στην περίπτωση που το αυτοκίνητο καθώς στρίβει συναντά παγωμένο οδόστρωμα ο ακίνητος παρατηρητής θα δει το αυτοκίνητο να διαγράφει ευθύγραμμη τροχιά, εφαιπόμενη της κυκλικής (1^{ος} νόμος του Νεύτωνα), ενώ ο περιστρεφόμενος (ερώτηση 27) αντιλαμβάνεται ελικοειδή τροχιά. Μόνο 5 από τους 20 μαθητές έδωσαν σωστή απάντηση για τον ακίνητο παρατηρητή και 3 μαθητές για τον περιστρεφόμενο. Αναλυτικότερα, στην 1^η περίπτωση (ακίνητος παρατηρητής) 2 μαθητές του Π.Τ. απαντούν σωστά στο pre-test και αυξάνονται σε 4 στο post-test ενώ στη 2^η περίπτωση (περιστρεφόμενος παρατηρητής) ο αριθμός των μαθητών από 1 αυξάνεται σε 7 μετά την παρέμβαση (πίνακας 3).
- Όταν ένα σώμα εκτοξεύεται πάνω σε περιστρεφόμενο δίσκο και εκτελεί καμπυλόγραμμη κίνηση πάνω σ' αυτόν (ερώτηση 28, πίνακας 4), 12 από τους 20 μαθητές θεωρούν την τριβή αντίθετη από την ταχύτητα του σώματος (ως προς ακίνητο παρατηρητή) ή με διεύθυνση πάνω στην ακτίνα του δίσκου, ενώ 5 μαθητές εκτιμούν

σωστά ότι η τριβή είναι αντίθετη στη σχετική ταχύτητα του σώματος ως προς το δίσκο ($v_{\alpha,\delta}$), χωρίς όμως να είναι σε θέση να το δικαιολογήσουν σωστά. Οι 2 από αυτούς τους μαθητές ανήκουν στο Π.Τ. και αυξάνονται σε 6 μετά την παρέμβαση.

Συμπεράσματα

Η καταγραφή των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας αλλά και τα συμπληρώνει, γιατί με τις ατομικές συνεντεύξεις διερευνήθηκε ενδελεχώς η τριβή (στατική και ολίσθησης) ανάμεσα σε στερεά σώματα. Συνοψίζοντας, οι μαθητές στις συνεντεύξεις τους πριν τη διδασκαλία:

- Ερμήνευαν τα φαινόμενα με βάση ένα νοητικό μοντέλο στο οποίο η τριβή ολίσθησης εξαρτάται από το είδος των τριβόμενων επιφανειών (που είναι σωστό), αλλά και από ένα πλήθος άλλων παραγόντων (εμβαδόν, ταχύτητα, εξωτερική δύναμη, διανυόμενη απόσταση) χωρίς όμως να υποψιάζονται την εξάρτηση της τριβής από την κάθετη δύναμη N που συμπιέζει τις δύο επιφάνειες.
- Δεν αναγνώριζαν ότι η τριβή είναι μια δύναμη που μπορεί να παράγει κίνηση και να ποικίλλει στην κατεύθυνσή της (να έχει ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση με την ταχύτητα, διεύθυνση κάθετη στην ταχύτητα ή να σχηματίζει οξεία γωνία με αυτήν). Θεωρούν δηλαδή ότι η τριβή έχει πάντοτε αντίθετη κατεύθυνση από την εφαρμοζόμενη δύναμη ή την ταχύτητα του σώματος.
- Πιστεύουν πως η τριβή αντιπροσωπεύεται από μια μόνο δύναμη και όχι από ζεύγος δράσης -αντίδρασης και αντιστέκεται στην «πραγματική» κίνηση και όχι στη σχετική κίνηση μεταξύ δύο στερεών σωμάτων σε επαφή (Besson, 2010).

Επιπλέον, στην έρευνά μας επιχειρήσαμε το σχεδιασμό και την εφαρμογή μιας ακολουθίας διδασκαλιών προκειμένου να διερευνήσουμε: α) σε ποιο βαθμό είναι εφικτό και καρποφόρο να διδάξουμε ποιοτικά τη σχετικότητα του Γαλιλαίου σε συνδυασμό με το ρόλο της τριβής στη σχετική κίνηση και β) ποια μέθοδος διδασκαλίας επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα στο γνωστικό περιεχόμενο της τριβής (Σχήμα 1).

Από την αναλυτική επεξεργασία των πρωτοκόλλων συνέντευξης (προέλεγχος), προέκυψε ότι στις 4 ερωτήσεις που πραγματεύονταν την αντίληψη των μαθητών για τη σχετική κίνηση (η περιγραφή των κινήσεων εξαρτάται από τον παρατηρητή, ποιοτική εκτίμηση της σχετικής ταχύτητας), ο μέσος όρος της βαθμολογίας των μαθητών και των δύο τμημάτων ήταν μεγαλύτερος του 7,5. Μας εντυπωσίασε μάλιστα το γεγονός ότι μερικοί μαθητές, κατά τις συνεντεύξεις και χωρίς να τους ζητείται, είχαν την ευχέρεια να υπολογίζουν τη σχετική ταχύτητα (με πρόσθεση ή αφαίρεση των ταχυτήτων ως προς ακίνητο παρατηρητή) χρησιμοποιώντας την εμπειρία τους (π.χ. κίνηση σε τρένα) και τη λογική τους, αφού δεν είχαν ποτέ διδαχθεί το μαθηματικό τύπο. Τα δεδομένα αυτά ενισχύουν την άποψή μας ότι οι μαθητές μπορούν να διδαχθούν τη σχετικότητα του Γαλιλαίου μέσα από παραδείγματα της καθημερινής ζωής.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε την υπεροχή της συνεργατικής διδακτικής παρέμβασης σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία, αφού οι μαθητές του πειραματικού τμήματος παρουσίασαν μεγαλύτερη βελτίωση στις επιδόσεις τους μετά τη διδασκαλία σε σχέση με τους μαθητές του τμήματος ελέγχου. Στο αποτέλεσμα αυτό συνέβαλαν:

- τα κατάλληλα μαθησιακά έργα όπως οι εργαστηριακές δραστηριότητες, η επίλυση προβλήματος (problem solving), οι αναλογίες, το μοντέλο της βούρτσας και η τεχνική των fragmented diagrams, στα οποία διακρίνεται ποιο σώμα ασκεί τη δύναμη και ποιο είναι το σημείο εφαρμογής της.

- ο διδακτικός χρόνος που διατέθηκε για να συζητούν και να επιχειρηματολογούν οι μαθητές στις ομάδες εργασίας τους. Ιδιαίτερα κατά τη διδασκαλία της Β΄ θεματικής ενότητας (Σχετική κίνηση και τριβή), παρατηρήθηκε ενθουσιασμός από τους «αδύνατους» μαθητές, όταν συνειδητοποίησαν ότι η γνώμη τους στην ομάδα ήταν βαρυσήμαντη, αφού ήταν σε θέση να τη δικαιολογούν με βάση τις εμπειρίες τους χωρίς να τους ζητείται μαθηματική σχέση.
- η συνεργασία μεταξύ των μαθητών, η οποία τους κατέστησε υπεύθυνους για τη δική τους μάθηση. Όπως εύστοχα διατύπωσε μια μαθήτρια, τη στιγμή που διαφωνούσε με μια συμμαθήτριά της: « Μου αρέσει πιο πολύ να βρίσκω το σωστό με τη συμμαθήτριά μου, παρά να μου το εξηγεί ο καθηγητής...».
- Προκειμένου να εξάγουμε εγκυρότερα αποτελέσματα, θα πρέπει να επαναληφθεί η έρευνα σε μεγαλύτερο δείγμα μαθητών, ωστόσο ευελπιστούμε πως η εργασία μας αυτή, είναι δυνατόν να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς στην αποτελεσματικότερη διδασκαλία της τριβής και των θεμάτων της Μηχανικής που σχετίζονται με αυτήν (π.χ. ευθύγραμμες και κυκλικές κινήσεις, νόμοι του Νεύτωνα).

Αναφορές

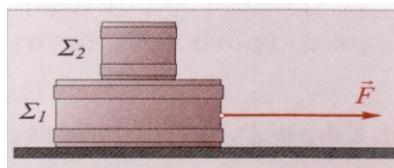
- Besson, U., & Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1083-1110.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2007). How to teach friction: Experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), 1106-1113.
- Besson, U. (2010). Calculating and understanding: Formal models and causal explanations in science, common reasoning and physics teaching. *Science and Education*, 19(3), 225-257.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A three-dimensional approach and open source structure for the design and experimentation of teaching-learning sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313.
- Bowden, F., & Tabor, D. (1950). *The friction and lubrication of solids*. New York: Oxford University Press (reprinted 2008).
- Caldas, H., & Saltiel, E. (1995). Le frottement cinétique: analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6, 55-71.
- Caldas, H., & Saltiel, E. (2000). Les étudiants et le sens des forces de frottement solide : Le modèle de la brosse. *Bulletin de l' Union des Physiciens*, 822, 471-485.
- Chia, T. C. (1989). Misconceptions concerning laws of motion, frictional force and work done among students of different abilities at Upper Secondary Level. Washington D.C.: *Eric Reports*.
- Crouch, C.H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Hahner, G., & Spencer, N. (1998). Rubbing and scrubbing. *Physics Today*, 51(9), 22-27.
- Lazarowitz, R., & Hertz-Lazarowitz, R. (1998). Cooperative learning in the science curriculum. In B. Fraser & K. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 449-469). GB: Kluwer Academic Publishers.
- Mate, C.M. (2008). *Tribology on the small scale*. New York: Oxford University Press.
- Panse, S., Ramadas, J., & Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16(1), 63-82.
- Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996a). Alternative conceptions in Galilean relativity: distance, time, energy and laws. *International Journal of Science Education*, 18(4), 463-477.
- Ramadas, J., Barve, S., & Kumar, A. (1996b). Alternative conceptions in Galilean relativity: inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18(5), 615-629.
- Ravanis, K., Koliopoulos, D., & Hadzigeorgiou, Y. (2004). What factors does friction depend on? A socio-cognitive teaching intervention with young children. *International Journal of Science Education*, 26(8), 997-1007.
- Ringlein, J., & Robbins, M.O. (2004). Understanding and illustrating the atomic origins of friction. *American Journal of Physics*, 72(7), 884-891.
- Stead, K., & Osborne, R. (1981). What is friction? Some children's ideas. *The Australian Science Teachers Journal*, 27(3), 51-57.
- Viennot, L. (2003). *Teaching Physics*. Netherlands : Kluwer Academic Publishers.
- Αποστολίδου, Μ., Αοβεοτά, Ε., & Ραβάνης, Κ. (1998). Βιωματικές νοητικές παραστάσεις για την έννοια της τριβής. Μια εμπειρική έρευνα με μαθητές/τριες νηπιαγωγείου. *Νέα Παιδεία*, 88, 152-163.
- Βάμβουκας, Μ. (1993). *Εισαγωγή στην ψυχοπαιδαγωγική έρευνα και μεθοδολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.

- Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π. & Τιμοθέου, Γ. (2001). *Φυσική γενικής παιδείας Α' τάξης ενιαίου λυκείου*. Αθήνα: Ο.Ε.Δ.Β.
- Βλάχος, Ι. (2004). *Εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες. Η πρόταση της Εποικοδόμησης*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*. Αθήνα: Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Δημητριάδη, Κ., Χαλκιά, Κ., & Σκορδούλης, Κ. (2009). Διδακτική προσέγγιση της ειδικής θεωρίας της Σχετικότητας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σ. 309-317). Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Ευαγγελοπούλου, Α., & Μίχας Π. (2009). Η διδασκαλία της σχετικότητας του Γαλιλαίου και της σχετικής περιστροφικής κίνησης σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σ. 326-334). Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Θεοφωρόπουλος, Ε., Κανδεράκης, Ν., Καριώτογλου, Π., Κολιόπουλος, Δ., Μπαγάκης, Γ., & Φασουλόπουλος, Γ. (1997). *Τριβή. Διδακτική Διερεύνηση. Μία Έρευνα μέσα από τη Διαδικασία Αυτομόρφωσης Ομάδας Εκπαιδευτικών*. Αθήνα: Εκδόσεις Γ. Πνευματικού.
- Knight, R. (2004). *Πέντε εύκολα μαθήματα. Στρατηγικές για την επιτυχή διδασκαλία της φυσικής*. Αθήνα: Εκδόσεις Δίαυλος.
- Κόκκοτας, Π. (2006). Η ανάδυση των κοινωνικοπολιτισμικών προσεγγίσεων, οι βασικές παραδοχές τους και η σημασία τους για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. *Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Ένωσης για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΕΔΙΦΕ)* (σ. 23-29). Βόλος.
- Κόκκοτας, Π. (2008). *Διδακτική των φυσικών επιστημών (μέρος 2^ο)*. Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Κουκουτσάκης, Α., Μητρόπουλος, Δ., Σαμαράκου, Μ., Γρηγοριάδου, Μ., & Βοσνιάδου, Στ. (2004). Διδασκαλία της τριβής με τη χρήση του εκπαιδευτικού λογισμικού «Διανύσματα στη Φυσική και τα Μαθηματικά». *Πρακτικά του 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση (ΕΤΠΕ)* (σ. 35-44). Αθήνα.
- Κώτοης, Κ., Βέμης, Κ., & Κολοβός Χ. (2004). Η επίδραση των νέων σχολικών εγχειριδίων του μαθήματος των Φυσικών Επιστημών στην εννοιολογική αλλαγή των εναλλακτικών ιδεών των παιδιών και στη διάρκεια γνώσης από τη διδασκαλία τους στο Δημοτικό Σχολείο, στην έννοια της τριβής. *Πρακτικά του 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση* (Τόμος Β', σ.123-129). Αθήνα.
- Πατρινόπουλος, Μ., Οβαδίας, Σ., Δημόπουλος, Β., & Καλκάνης, Γ. (2002) Μία εκπαιδευτική πρόταση για τη διδασκαλία/εργαστηριακή πρακτική της τριβής μεταξύ στερεών σωμάτων με προσομοίωση του μικρόκοσμου και διασύνδεσης της εργαστηριακής διάταξης με τον Η/Υ μέσω προσομοιώσεων. *Πρακτικά του 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση* (σ. 748-755). Ρέθυμνο.
- Ραβάνης, Κ., & Κολιόπουλος, Δ. (2004). Μια συνθετική προσέγγιση της έννοιας της τριβής ολισθήσης για την προσχολική ηλικία: Βιωματικές νοητικές παραστάσεις, διδακτικές αλληλεπιδράσεις και πρόδρομα μοντέλα. Στο Δ. Κολιόπουλος, *Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης* (σ. 155-174). Αθήνα: Εκδόσεις Μεταίχμιο.
- Φωτεινόπουλος, Β. (1983). *Η Φυσική σε κόμικς*. Εκδόσεις Βλάσση.
- Χαλκιά, Κ. (2010). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις (Τόμος Α')*. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

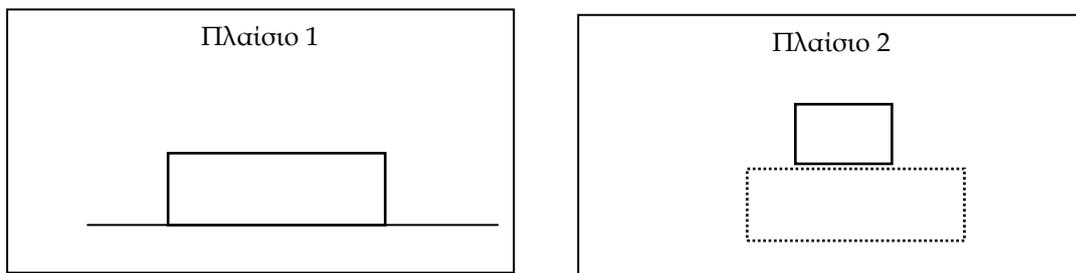
Παράρτημα

Ερώτηση 23 του προ-τεστ

Το σώμα Σ_1 του παρακάτω σχήματος είναι ακίνητο πάνω σε τραπέζι που δεν είναι λείο. Το Σ_2 είναι πάνω στο σώμα Σ_1 . Ασκούμε στο Σ_1 σταθερή οριζόντια δύναμη F οπότε αυτό επιταχύνεται ως προς το τραπέζι, προς τα δεξιά. Παρατηρούμε ότι το Σ_2 παραμένει συνδεδεμένο με το Σ_1 , οα να λέμε ότι το Σ_2 είναι ακίνητο ως προς το Σ_1 . Κανένα από τα σώματα δεν είναι λείο.



- i) Να σχεδιάσεις στο πλαίσιο 1 τις δυνάμεις τριβής που εφαρμόζονται στο Σ_1 , αν υπάρχουν.
 ii) Να σχεδιάσεις στο πλαίσιο 2 τις δυνάμεις τριβής που εφαρμόζονται στο Σ_2 , αν υπάρχουν.



- iii) Το σώμα Σ_2 θα κινηθεί ως προς το τραπέζι; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

10^η δραστηριότητα του φύλλου εργασίας Α' θεματικής ενότητας (Τριβή)

(iv) Έχετε στη διάθεσή σας ένα χάρακα, ένα χρονόμετρο, ένα δυναμόμετρο, σώματα, βαρίδια, τροχαλίες, νήμα, τριβόμετρο (ή και άλλα απλά όργανα) και είναι γνωστό ότι $g=9,81 \text{ m/s}^2$.

- Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα συμπεράσματα των ερωτημάτων 10 (i), (ii) και (iii).
- Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε *αν υπάρχει σχέση μεταξύ της δύναμης με την οποία σπρώχνουμε αρχικά ένα σώμα (άρα και της αρχικής ταχύτητας του σώματος) και της τριβής ολίσθησης που ασκείται στο σώμα* (π.χ. δυνατό σπρώξιμο σημαίνει μεγάλη αρχική ταχύτητα και άρα μεγάλη τριβή).
- Επιπλέον πολλοί μαθητές ισχυρίζονται ότι όσο πιο μακριά φτάνει ένα σώμα τόσο πιο μεγάλη είναι η τριβή που του ασκείται.

Μπορείτε να περιγράψετε ένα πείραμα που να ελέγχει τις δύο τελευταίες από τις προηγούμενες προτάσεις, οι οποίες αποτελούν και το πρόβλημα που πρέπει να λύσετε; Ο κάθε μαθητής να γράψει σύντομα τη δική του πρόταση για πείραμα.

(v) Με τα άλλα μέλη της ομάδας σου συζήτησε το πείραμα που σκέφτηκε ο καθένας σας και με διάλογο επλέξετε ένα από αυτά. Να συμφωνήσετε σε μία κοινή πορεία λύσης του προβλήματος (της ομάδας), και να την γράψετε. Μη λύσετε το πρόβλημα.

(vi) Μετά από συζήτηση στην τάξη του πειράματος της κάθε ομάδας και της πορείας λύσης του προβλήματος καταλήξτε στο πλέον αποτελεσματικό πείραμα. Να γράψετε το πείραμα (της τάξης) και την πορεία λύσης του προβλήματος.

(vii) Αφού πραγματοποιήσετε το πείραμα (της τάξης), να συμπληρώσετε τον πίνακα με τις μετρήσεις.

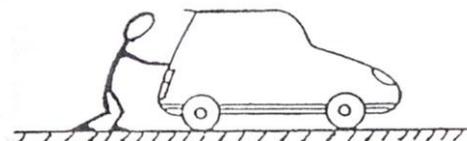
Γνωστές ποσότητες			Άγνωστες ποσότητες		

(viii) Στη συνέχεια να κάνετε τους κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς για να υπολογίσετε τις άγνωστες ποσότητες. Να καταγράψετε τα αποτελέσματά σας στον παραπάνω πίνακα.

(ix) Με την πορεία που ακολουθήσατε επιτεύχθηκε ο σκοπός σας; Τι συμπέρασμα προκύπτει για την τριβή;

8^η δραστηριότητα φύλλου εργασίας Β' θεματικής ενότητας (σχετική κίνηση και τριβή)

Ένας οδηγός σπρώχνει το αυτοκίνητό του που έχει χαλάσει. Στα πλαίσια 3, 4 και 5 να σχεδιάσεις τις δυνάμεις που ασκούνται κατά την *οριζόντια διεύθυνση* αντίστοιχα: στον οδηγό, στο αυτοκίνητο, στο έδαφος. Ποιες από αυτές τις δυνάμεις είναι ζεύγη δράσης-αντίδρασης;



Πλαίσιο 3 (οδηγός)

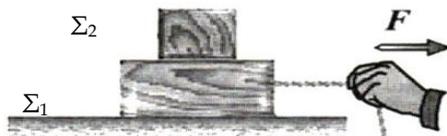
Πλαίσιο 4 (αυτοκίνητο)

Πλαίσιο 5 (έδαφος)

9^η δραστηριότητα φύλλου εργασίας Β' θεματικής ενότητας (σχετική κίνηση και τριβή)

Το σώμα Σ₁ του παρακάτω σχήματος είναι ακίνητο πάνω σε τραπέζι που δεν είναι λείο. Το Σ₂ είναι πάνω στο σώμα Σ₁. Ασκούμε στο Σ₁ σταθερή οριζόντια δύναμη F οπότε αυτό αρχίζει να επιταχύνεται *ως προς το τραπέζι*, προς τα δεξιά. Κανένα από τα σώματα δεν είναι λείο.

- i) Να σχεδιάσεις στο πλαίσιο 6 τις δυνάμεις που ασκούνται στο Σ₁.
- ii) Να σχεδιάσεις στο πλαίσιο 7 τις δυνάμεις που ασκούνται στο Σ₂.
- iii) Το σώμα Σ₂ θα κινηθεί *ως προς το τραπέζι*; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.

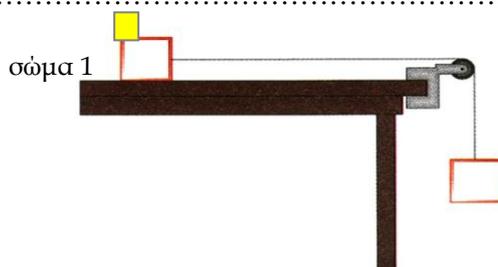


Πλαίσιο 6 (σώμα Σ₁)

Πλαίσιο 7 (σώμα Σ₂)

(iv) Προκειμένου να ελέγξεις την απάντησή σου στο ερώτημα (iii), να πραγματοποιήσεις με την ομάδα σου, το παρακάτω πείραμα:

Συνδέστε το σώμα 1 (παραλληλεπίπεδο) με το νήμα της τροχαλίας που είναι στερεωμένη στην άκρη του πάγκου. Τοποθετήστε πάνω του ένα άλλο μικρότερο σώμα (π.χ. το κίτρινο βαριδί) και από την άλλη μεριά του νήματος κρεμάστε βαριδία, έτσι ώστε το σώμα 1 να αρχίζει να επιταχύνεται. Τι παρατηρείτε για το πάνω σώμα (κίτρινο βαριδί);



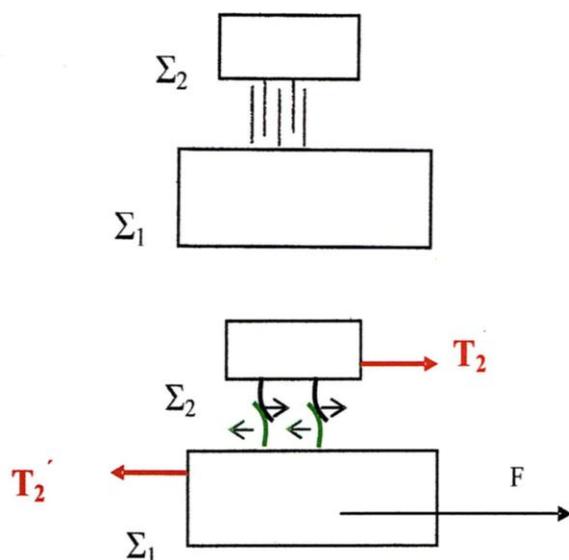
(v) Εάν οι παρατηρήσεις σου διαφέρουν από τις προβλέψεις σου, τότε να σχεδιάσεις από την αρχή τις δυνάμεις που ασκούνται στο Σ₁ και Σ₂ στα πλαίσια 8 και 9 αντίστοιχα. Να δικαιολογήσεις τις παρατηρήσεις σου από το πείραμα.

Πλαίσιο 8 (σώμα Σ₁)

Πλαίσιο 9 (σώμα Σ₂)

Το μοντέλο της βούρτσας (*modèle de la brosse*) για το σύστημα των δύο σωμάτων

Φανταζόμαστε τις ανωμαλίες στις δύο επιφάνειες σαν «τριχες» βούρτσας που εισέρχονται οι μιν μέσα στις άλλες και έχουν κάποια ελαστικότητα. Στα παρακάτω σχήματα τα σώματα, παρόλο που είναι σε επαφή, είναι ζωγραφισμένα μακριά το ένα από το άλλο, για να φαίνονται οι ανωμαλίες των επιφανειών.



Δεν ασκούμε δύναμη.
Τα σώματα είναι ακίνητα.

Όταν ασκούμε δύναμη F πάνω στο Σ_1 τότε οι «τριχες» των δύο σωμάτων παραμορφώνονται αμοιβαία: Του Σ_1 προς τα πίσω και του Σ_2 προς τα εμπρός. Η καμπύλωση αυτή δείχνει και τη φορά των δυνάμεων τριβής (T_2 και T_2') μεταξύ των δύο σωμάτων.

Αναφορά στο άρθρο ως: Ευαγγελοπούλου, Α., & Μίχας, Π. (2012). Αντιλήψεις μαθητών της Α' Λυκείου για την τριβή, τους νόμους της και το ρόλο της στη σχετική μεταφορική και περιστροφική κίνηση. Πρόταση για διδακτική παρέμβαση σ' ένα συνεργατικό επικοινωνιακό περιβάλλον μάθησης. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 5-26.

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