

Διδασκαλία του τρίτου νόμου του Νεύτωνα με επανάληψη του ιστορικού του πειράματος σε μαθητές Γυμνασίου.

Αναγνωστόπουλος Α.¹, Κώσης Κ.²

1 Φυσικός-Υποφ. Διδάκτορας ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων me01622@cc.uoi.gr

2 Αναπλ. Καθηγητής ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων kkotsis@cc.uoi.gr

Στις φυσικές επιστήμες τα πειράματα κρατούν έναν κεντρικό ρόλο για τη διαδικασία προς τη νέα γνώση. Ένας από τους τρόπους καλύτερης κατανόησης των επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές αλλά και ενσωμάτωσης της ιστορίας της επιστήμης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι και η επανάληψη ιστορικών πειραμάτων. Η εργασία αυτή αναφέρεται στην επανάληψη ενός ιστορικού πειράματος το οποίο πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Νεύτωνα και αφορά την πειραματική απόδειξη του τρίτου νόμου του. Η επανάληψη του πειράματος έγινε με την μορφή επίδειξης σε μαθητές Γυμνασίου. Φαίνεται ότι οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν όχι μόνο την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο σώματα αλλά και γιατί οι δυνάμεις αυτές είναι ίσου μέτρου. Οι μαθητές γενικά μέσα από την επανάληψη των ιστορικών πειραμάτων δείχνουν ότι το ενδιαφέρον τους είναι αυξημένο και έχουν κίνητρο για την μάθηση. Επίσης έρχονται σε επαφή με τη διαδικασία για το τι κάνουν οι επιστήμονες όταν παράγουν την επιστημονική γνώση.

Εισαγωγή

Η διδασκαλία και η μάθηση εννοιών της φυσικής, αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση τους από τους μαθητές καθώς οι εναλλακτικές ιδέες τους είναι έντονες (Driver et al 2000) και αντιστέκονται στην αλλαγή. Όταν χρησιμοποιούνται παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις, είναι αμφίβολο εάν οι μαθητές είναι σε θέση να αφομοιώσουν την επιστημονική θεώρηση. Μια προσέγγιση στο πλαίσιο της οποίας μπορούν να δημιουργηθούν οι συνθήκες για επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής των εννοιών είναι το πείραμα.

Η ανάπτυξη ενός ιστορικού πειράματος αποτελεί ένα άριστο παιδαγωγικό μέσο για τις ιδέες, τις παρατηρήσεις και την ανάλυση του θέματος που αφορά το πείραμα (Matthews, M., 1998). Δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί ως πλούσια πηγή εμπειρίας τόσο για τους μαθητές όσο και για τους καθηγητές των φυσικών επιστημών.

Η παρουσίαση της ιστορίας της φυσικής μέσα από την επανάληψη των ιστορικών πειραμάτων έχει προταθεί από διάφορους ιστορικούς και εκπαιδευτικούς των φυσικών επιστημών (Mathews 1994, Reiss 1995, Kirpis 1996, Heering 2003).

Οι Yager και Penick το 1987 υποστήριξαν ότι μια πρωταρχική αιτία των μαθητών που χάνουν το ενδιαφέρον για τη φυσική στο γυμνάσιο είναι η αυξανόμενη απουσία της παρουσίας και της αντιπροσώπευσης της ιστορίας της επιστήμης.

Οι μαθητές πρέπει να αναπτύξουν τη γνώση και την κατανόηση των τρόπων με τους οποίους οι επιστημονικές ιδέες αλλάζουν μέσα στον χρόνο και πώς η φύση αυτών των ιδεών και των χρήσεων στις οποίες τίθενται επηρεάζεται από τα κοινωνικά, ηθικά, πνευματικά και πολιτιστικά πλαίσια στα οποία αναπτύσσονται, (Yager 1992)

Τα τελευταία χρόνια, η ερευνητική ομάδα του Όλντενμπουργκ έχει αναπτύξει διάφορα ιστορικά πειράματα χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία που προτείνει ο Heering (Heering 1992, 2000, Hottecke 2000, Sichau 2000). Τα πειράματά τους προέρχονται από την αρχική εργασία και έχουν ενσωματώσει επιτυχώς αυτήν την διαδικασία στο πρόγραμμα εκπαίδευσης φυσικής για



τους καθηγητές φυσικής (Reiss 2000). Ο Heering περιγράφει τη μέθοδο επανάληψης των ιστορικών πειραμάτων σε τρεις φάσεις: την κατασκευή των συσκευών, την αναπαραγωγή της πειραματικής διαδικασίας, και την απόκτηση της εμπειρίας. Για την προσαρμογή αυτής της διαδικασίας στους μαθητές της τάξης προηγείται η αναζήτηση και η έρευνα στην ιστοριογραφία. Συνεπώς, η ιστορική αναδημιουργία καθοδηγείται από ένα ιστορικό αφήγημα. Το αφήγημα θέτει εκείνο το πλαίσιο στους μαθητές ώστε να αυξήσει τη φύση των ερωτήσεων τους σχετικά με την επιστήμη όπως συστήνεται από πολλούς ερευνητές (Stinner 1995, Abd-El-Khalick and Lederman 2000).

Δεδομένου ότι αφορά ένα ιστορικό πείραμα το αφήγημα έχει τέσσερα μέρη εισαγωγή, πειραματικό σχέδιο, πειραματικά αποτελέσματα, και ανάλυση. Στην παρούσα εργασία το στάδιο της κατασκευής της πειραματικής διάταξης έχει προηγηθεί χωρίς την συμμετοχή των μαθητών.

Ιστορική αναδρομή

Τα βασικά θεμέλια της κλασσικής μηχανικής τέθηκαν για πρώτη φορά στις αρχές του 17^{ου} αιώνα από τον Γαλιλαίο και κατά τα τέλη του ιδίου αιώνα από τον Ισαάκ Νεύτωνα. Ειδικότερα, η παρουσίαση της μηχανικής από τον Νεύτωνα στο έργο του *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας*) αποτελεί την πρώτη συστηματική προσπάθεια διατύπωσης των θεμελιωδών φυσικών νόμων, οι οποίοι διέπουν τις κινήσεις των σωμάτων. Η μηχανική του Νεύτωνα και ο νόμος της παγκόσμιας βαρύτητας, που διατυπώθηκε συγχρόνως από τον ίδιο, έδωσαν μια θεμελιακή εξήγηση της κίνησης των ουρανίων σωμάτων.

Ο Αριστοτέλης επιχείρησε για πρώτη φορά να διατυπώσει αρχές δυναμικής, οι οποίες ισχυρίζονταν ότι για να κινείται ένα σώμα με σταθερή ταχύτητα, θα πρέπει να ασκείται συνεχώς επάνω του σταθερή δύναμη. Η αντίληψη αυτή, η οποία ήταν συμβατή με την καθημερινή εμπειρία, επέφερε αλλαγές στον τρόπο θεώρησης του κόσμου. Την αντίληψη αυτή εξακολουθούν να την έχουν και οι μαθητές για την κίνηση των σωμάτων (Driver et al 2000). Η αυθεντία του Αριστοτέλη στιγμάτισε την κρατούσα κοσμολογία του Μεσαίωνα, που τέθηκε σε ουσιαστική αμφισβήτηση από τον Γαλιλαίο (1564/1642), ο οποίος συγκρούστηκε με την κρατούσα αντίληψη. Ο Γαλιλαίος οικοδόμησε την αντιαριστοτελική κριτική στο έξοχο βιβλίο του «*Διάλογοι περί των δύο κύριων κοσμοθεωριών: του Πτολεμαίου και του Κοπέρνικου*» βασισμένος σε απλά καθημερινά πειράματα που πραγματοποίησε με κεκλιμένα επίπεδα, από τα οποία προσπάθησε να αφαιρέσει την τριβή λειαίνοντας επιμελώς τις επιφάνειες. Ο Γαλιλαίος ήταν αυτός ο οποίος θεώρησε τη δύναμη ως μηχανικό αίτιο και συνειδητοποίησε ότι το πρόβλημα της κίνησης των ουρανίων σωμάτων είναι ένα μηχανικό πρόβλημα που δεν διαφέρει σε τίποτε από τα προβλήματα με τα κεκλιμένα επίπεδα που μελετούσε στο εργαστήριό του.

Το 1687 ο Νεύτωνας δημοσίευσε το μεγαλειώδες έργο του «*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*», στο οποίο διατυπώνονται οι 3 περίφημοι νόμοι της δυναμικής, όπου για τον τρίτο νόμο αναφέρει: *Σε κάθε δράση αντιτίθεται πάντα μια ίση αντίδραση ή οι αμοιβαίες δράσεις δυο σωμάτων του ενός πάνω στο άλλο είναι πάντοτε ίσες και κατευθύνονται σε αντίθετα μέρη.* Ο ίδιος αναλύοντας τον αναφέρει τα εξής (Cushing, J., 2003): «*Οτιδήποτε ασκεί έλξη ή πίεση πάνω σε κάτι άλλο δέχεται από αυτό την ίδια ακριβώς έλξη ή πίεση. Αν ασκήσετε με το δάκτυλο σας πίεση πάνω σε μια πέτρα, το δάκτυλο θα δεχτεί επίσης την πίεση της πέτρας. Αν ένα άλογο τραβάει μια πέτρα που, είναι δεμένη με σχοινί, το άλογο (αν μπορούμε να το πούμε έτσι) θα τραβιέται εξίσου πίσω προς την πέτρα, διότι το τεντωμένο σχοινί, καθώς προσπαθεί να χαλαρώσει ή να λυθεί, θα τραβάει το άλογο προς την πέτρα όσο και την πέτρα προς το άλογο και θα εμποδίζει τόσο το ένα να προχωρήσει, όσο επιτρέπει στο άλλο».*

Ο τρίτος νόμος μοιάζει εκ πρώτης όψεως με μια παρατήρηση, η οποία δεν φαίνεται να έχει ουσιαστική αξία για τον καθορισμό της κίνησης των μηχανικών συστημάτων, εφόσον οι δύο αντίθετες δυνάμεις δρουν σε διαφορετικά σώματα. Ο Νεύτωνας όμως αντιλήφθηκε την τεράστια σημασία που είχε η εισαγωγή ενός τέτοιου νόμου προκειμένου να επεκτείνει την εφαρμογή του δυναμικού νόμου (του 2ου νόμου του) από σωματίδια μηδενικών διαστάσεων, στα οποία αναφέρονται οι νόμοι του, σε εκτεταμένα υλικά στερεά σώματα. Με την εμφάνιση ίσων και αντιθέτων δυνάμεων καταργείται οποιαδήποτε δύναμη θα μπορούσαμε ενδεχομένως να αποδοθεί σε ένα σώμα εξαιτίας του εαυτού του, επειδή αυτό απαρτίζεται από πλήθος αλληλεπιδρώντων σωματιδίων. Έτσι δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη καμία *ιδιοδύναμη* (εσωτερική δύναμη) όταν μελετάται η κίνηση ενός στερεού (όπως για παράδειγμα της Γης), παρά μόνο όλες τις δυνάμεις που επενεργούν στο υπό μελέτη σώμα από τα άλλα γειτονικά του σώματα. Η διατύπωση του 3ου νόμου έδωσε τη δυνατότητα στο Νεύτωνα να αποφύγει να αναφερθεί σε ορισμένο τύπο σωμάτων, όσον αφορά την εφαρμογή των άλλων δύο νόμων. Σήμερα είναι γνωστή η σπουδαιότητα αυτού του φαινομενικά διαφορετικού νόμου. Πίσω από το νόμο αυτό της συμμετρίας των δυνάμεων αλληλεπίδρασης που ασκούνται μεταξύ των μερών ενός φυσικού συστήματος κρύβεται, η διατήρηση της ορμής ενός απομονωμένου συστήματος -κάτι ανάλογο δηλαδή με τη διατήρηση της ταχύτητας ενός ελεύθερου σωματιδίου-, οσοδήποτε μεγάλο και αν είναι αυτό, π.χ. ένας ολόκληρος γαλαξίας. Αν και ο 3ος νόμος του Νεύτωνα δεν ισχύει αυτολεξεί για όλα τα φυσικά συστήματα παρά μόνο για τα μηχανικά συστήματα, εντούτοις υπό την ευρύτερη έννοια της διατήρησης της ορμής ο νόμος έχει καθολική εφαρμογή.

Το πείραμα του Νεύτωνα για τον τρίτο νόμο

Για να στηρίξει ακόμη περισσότερο τον τρίτο νόμο του ο Νεύτωνας στο βιβλίο του *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, επεξεργάστηκε το παρακάτω παράδειγμα, εκτελώντας και ένα πείραμα (Arons, A., 1992):

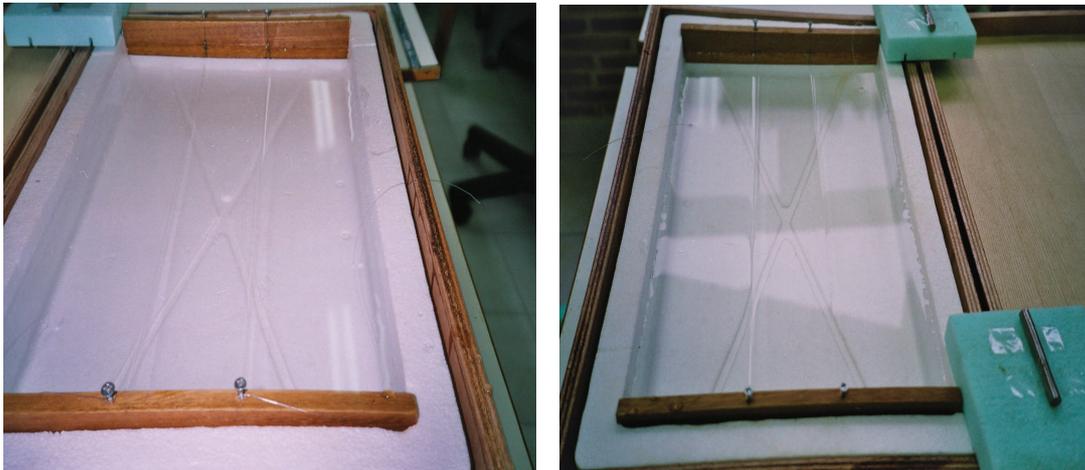
Στις έλξεις παρουσιάζω εν συντομία το ζήτημα με τον ακόλουθο τρόπο: «Υποθέστε ότι μεταξύ δύο σωμάτων *A* και *B* που έλκονται μεταξύ τους, παρεμβάλλουμε ένα εμπόδιο, για να αποτρέψουμε τη συνάντησή τους. Αν, λοιπόν, κάποιο σώμα, λόγω χάρη το *A*, ελκόταν περισσότερο προς το *B* απ' όσο το *B* έλκεται προς το *A*, τότε το εμπόδιο θα πιεζόταν περισσότερο από το *A* απ' όσο πιέζεται από το *B* και δεν θα παρέμενε σε ισορροπία: η μεγαλύτερη πίεση θα επικρατούσε και θα ανάγκαζε το σύστημα των δύο σωμάτων μαζί με το εμπόδιο να κινηθεί κατευθείαν προς το μέρος του *B*. Στον κενό χώρο, μάλιστα, θα κινείται προς το άπειρο με συνεχώς επιταχυνόμενη κίνηση». Το εν λόγω συμπέρασμα είναι παράλογο και αντίθετο προς τον 1^ο Νόμο. «Έκανα το πείραμα με ένα μαγνήτη και ένα κομμάτι σίδηρο. Αν, αφού τα τοποθετήσουμε σε κατάλληλα σκάφη, τα αφήσουμε να επιπλεύσουν το ένα προς το άλλο, κανένα δεν θα σπρώξει το άλλο- ελκόμενα εξίσου μεταξύ τους, το καθένα υφίσταται την πίεση τον άλλου και παραμένουν τελικά σε ισορροπία.» Να παρατηρηθεί ότι ο Νεύτωνας αναφέρει ότι χρησιμοποίησε «ένα μαγνήτη και ένα κομμάτι σίδηρο» και όχι δύο μαγνήτες- δηλαδή, στο πείραμα το ένα από τα δύο σώματα είναι παθητικό. Η διευκρίνιση αυτή είναι σημαντική γιατί πολλοί μαθητές σε καταστάσεις ισορροπίας θεωρούν διαφορετικές τις έννοιες «τραβάω» και κρατάω» (Erickson, G., and Hobbs, E., 1978)

Το παράδειγμα που περιγράφει ο Νεύτωνας είναι πολύ χρήσιμο για τους μαθητές, επειδή επεκτείνει και εμπλουτίζει σε μεγάλο βαθμό το αρχικό πλαίσιο στο οποίο παρουσιάζεται συνήθως ο 3^{ος} Νόμος.



Η κατασκευή της πειραματικής διάταξης

Λειτουργώντας σε μια επανάληψη ενός ιστορικού πειράματος οι πειραματικές διαδικασίες πρέπει να αναπτυχθούν μέσα από τα ιστορικά σχέδια (εάν είναι γνωστά). Οι κειμενικές πηγές στερούνται συνήθως μιας λεπτομερούς περιγραφής των πειραματικών διαδικασιών. Έτσι λοιπόν και στην παρούσα εργασία στηριζόμαστε στην απλή περιγραφή του ίδιου του Νεύτωνα.



Εικόνα 1. Η πειραματική συσκευή με βάση την περιγραφή του Νεύτωνα

Με βάση λοιπόν την περιγραφή του δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τι εννοούσε ο Νεύτωνας με τον όρο «κατάλληλα σκάφη». Εμείς στην θέση τους τοποθετήσαμε δυο ορθογώνια κομμάτια από φελιζόλ διαστάσεων 11cm x 11cm (από εδώ και στο εξής θα τα λέμε σκαφάκια). Πάνω τους προσαρμόσαμε κατάλληλα στο μεν ένα σκαφάκι έναν αρκετά ισχυρό και ταυτόχρονα ελαφρύ κυλινδρικό μαγνήτη στο δε άλλο σκαφάκι ένα όμοιο κυλινδρικό κομμάτι από σίδηρο και σε συμμετρικές θέσεις. Τόσο ο μαγνήτης όσο και το κομμάτι σιδήρου δεν πρέπει να έχουν μεγάλη μάζα για να μην βυθίζονται τα σκαφάκια στο νερό. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε να μειώσουμε την αντίσταση του νερού. Τόσο λόγω της επίδρασης του μαγνητικού πεδίου της γης, αλλά και του γεγονότος ότι μπορεί ο μαγνήτης και ο σίδηρος να μην βρίσκονται ακριβώς στην ίδια ευθεία είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ροπές οι οποίες μπορεί να περιστρέψουν το σύστημα. Για να αποφύγουμε την περιστροφή του συστήματος τόσο κατά την μεταξύ τους έλξη από απόσταση όσο και την στιγμή που είναι σε επαφή, τοποθετήσαμε το κάθε σκαφάκι πάνω σε δυο οριζόντια τεντωμένα λεπτά νήματα στην διεύθυνση Βορρά-Νότου. Τα νήματα είναι λεία (νήμα από πετονιά που χρησιμοποιούν οι ψαράδες) τοποθετημένα στην λεκάνη νερού και σε κατάλληλο βάθος ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τις τριβές ανάμεσα στα νήματα και τα κομμάτια φελιζόλ. Θέλουμε οι μοναδικές δυνάμεις που θα ασκούνται ανάμεσα στα δύο σκαφάκια και στην κατεύθυνση κίνησής τους, τόσο όταν αλληλεπιδρούν από απόσταση αλλά και όταν βρίσκονται σε επαφή να είναι μόνο οι μεταξύ τους δυνάμεις αλληλεπίδρασης. Το όλο σύστημα (σκαφάκια και νήματα) βρίσκονται μέσα σε ένα αρκετά μεγάλο ορθογώνιο κουτί από φελιζόλ.

Η πειραματική επίδειξη στους μαθητές

Οι μαθητές ήδη γνωρίζουν τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα από τα σχολικά τους εγχειρίδια. Στα σχολικά εγχειρίδια και τα βιβλία εργαστηριακών ασκήσεων Β' Γυμνασίου και Α' Λυκείου λείπουν τόσο οι ιστορικές αναφορές στον 3^ο νόμο του Νεύτωνα αλλά και οι πειραματικές

επιδείξεις μέσα από τις οποίες οι μαθητές θα κατανοήσουν καλύτερα τον εν λόγω νόμο. Δηλαδή οι μαθητές μαθαίνουν να διατυπώνουν τον τρίτο νόμο, να τον κατανοούν μέσα από απλά νοητικά πειράματα και τέλος να τον εφαρμόζουν στα προβλήματα.

Δεν γνωρίζουν όμως αν η διατύπωση αυτή έγινε με βάση απλά κάποιες παρατηρήσεις του Νεύτωνα ή ήταν αποτέλεσμα κάποιου πειράματος.

Στην σχολική τάξη αφού έγινε μια μικρή αναφορά στον ίδιο τον Νεύτωνα διαβάσαμε στους μαθητές τα ίδια τα λόγια του που αναφέρονται στον 3^ο νόμο, στα νοητικά πειράματα τα οποία ο ίδιος επινόησε για να τον στηρίξει καθώς και στο πείραμα που ο ίδιος εκτέλεσε για να επιβεβαιώσει τους ισχυρισμούς του. Η χρήση νοητικών πειραμάτων είναι ένα χρήσιμο διδακτικό εργαλείο προκειμένου να παρουσιαστούν στους μαθητές νόμοι και αρχές της φυσικής και ιδιαίτερα όταν η κατανόηση των αντίστοιχων εννοιών απαιτεί από το μαθητή να υπερβεί νοητικά την καθημερινή του εμπειρία (Σκορδούλης κ.ά. 2007). Με την διαδικασία αυτή δημιουργήθηκε στην τάξη ένα κλίμα ευχάριστο και το ενδιαφέρον των μαθητών να μάθουν ήταν αυξημένο. Στηριζόμενοι στην μέθοδο της καθοδηγούμενης ανακάλυψης λαμβάνοντας υπόψη και τις εναλλακτικές τους ιδέες, εκτελέσαμε τις παρακάτω δραστηριότητες στους μαθητές.

Αφήσαμε τα σκαφάκι με το κομμάτι σιδήρου ελεύθερο από αρκετή απόσταση (10cm) κρατώντας το άλλο σκαφάκι με τον μαγνήτη σταθερό. Ρωτήσαμε τους μαθητές τι περιμένουν να δουν. Εύκολα οι μαθητές απάντησαν ότι θα δούμε το σκαφάκι με τον σίδηρο να πλησιάζει τον μαγνήτη. Ένας μαθητής έγραψε το συμπέρασμα στον πίνακα: ο μαγνήτης ασκεί δύναμη από απόσταση στον σίδηρο.



Εικόνα 2. Το πείραμα

Επαναλάβουμε το ίδιο ακριβώς πείραμα αλλά τώρα αφήσαμε ελεύθερο να κινηθεί το σκαφάκι με τον μαγνήτη κρατώντας το άλλο σκαφάκι ακίνητο. Οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να απαντήσουν αρχικά στο ερώτημα για το αν το σκαφάκι με τον σίδηρο θα κινηθεί. Εκτελέσαμε το πείραμα και είδαν την κίνηση. Ένας μαθητής έγραψε το νέο συμπέρασμα στον πίνακα: ο σίδηρος-άψυχο αντικείμενο- ασκεί δύναμη από απόσταση στον μαγνήτη.

Στην συνέχεια αφήσαμε και τα δύο σκαφάκια ελεύθερα. Ρωτήσαμε τους μαθητές:

Τα σώματα αλληλεπιδρούν ή όχι; Μπορεί να θεωρηθεί κάποια από τις δύο δυνάμεις ως η αίτια και η άλλη ως το αποτέλεσμα ή οι δυνάμεις εμφανίζονται ταυτόχρονα;



Κάνοντας το διάγραμμα δυνάμεων ελευθέρου σώματος στον πίνακα για τον μαγνήτη και το κομμάτι σιδήρου χωριστά και με βάση τις παρατηρήσεις από την εκτέλεση του πειράματος φάνηκε ότι οι μαθητές αντιλήφθηκαν όχι μόνο ότι τα δύο αντικείμενα αλληλεπιδρούν αλλά και ότι αναφερόμαστε σε δύο **διαφορετικές** δυνάμεις που κάθε μια ασκείται σε **διαφορετικό** σώμα.

Γενικεύσαμε την πρόταση γράφοντας στον πίνακα το συμπέρασμα ότι: στην φύση δεν μπορούμε να μιλάμε για επίδραση αλλά για μόνο για αλληλεπίδραση μεταξύ των σωμάτων. Ονομάσαμε τις δύο δυνάμεις αλληλεπίδρασης ως την μια «*δράση*» και την άλλη «*αντίδραση*».

Τέλος τοποθετήσαμε ανάμεσα στα σκαφάκια ένα λεπτό ορθογώνιο κομμάτι από φελιζόλ ως εμπόδιο και αφήσαμε τα σκαφάκια να ηρεμήσουν ελκόμενα μεταξύ τους χωρίς όμως να ακουμπάνε. Οι μαθητές παρατήρησαν ότι το εμπόδιο ισορροπούσε. Τους θέσαμε τις εξής ερωτήσεις :

- Ποιες δυνάμεις ασκούνται στο εμπόδιο στην οριζόντια διεύθυνση;
- Από ποια σώματα ασκούνται αυτές οι δυνάμεις;
- Ο πρώτος ή ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα θα εξηγούσε καλύτερα την ισορροπία;
- Ποια η σχέση των μέτρων των δυνάμεων αυτών;

Στο σημείο αυτό διαβάσαμε στους μαθητές την εξήγηση που έκανε ο ίδιος ο Νεύτωνας. Μέσα από συζήτηση και κάνοντας το διάγραμμα δυνάμεων ελευθέρου σώματος για το εμπόδιο στον πίνακα, αβίαστα οι μαθητές καταλήξαν στο συμπέρασμα ότι οι δυνάμεις που δέχεται το εμπόδιο είναι οι δύο δυνάμεις αλληλεπίδρασης που πριν τις ονομάσαμε ως «*δράση*» και «*αντίδραση*». Με εφαρμογή του πρώτου νόμου του Νεύτωνα βρήκαν ότι η «*δράση*» και η «*αντίδραση*» έχουν μια ακόμα σημαντική ιδιότητα: *έχουν μεταξύ τους ίσα μέτρα.*

Τέλος αναγράψαμε την γενική διατύπωση του τρίτου νόμου του Νεύτωνα γενικεύοντας την για όλα τα υλικά σημεία.

Συμπεράσματα

Ο βασικός στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να παρατηρηθεί και να καταγραφεί πώς η επανάληψη ενός ιστορικού πειράματος εμπλουτισμένο με ιστορικά στοιχεία για το ίδιο το πείραμα, μπορεί να έχει επιπτώσεις όχι μόνο στην καλύτερη εκμάθηση και κατανόηση των επιστημονικών εννοιών που αφορούν τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα αλλά και την κατανόηση των μαθητών για την φύση της επιστήμης,

Παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν πολύ εύκολα όχι μόνο την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο σώματα, αλλά και γιατί οι δυνάμεις αυτές είναι ίσου μέτρου. Μαθαίνουν γενικά μέσα από την επανάληψη των ιστορικών πειραμάτων αφού το ενδιαφέρον τους τώρα είναι αυξημένο και έχουν κίνητρο για την μάθηση (Brouwer και Singh 1983). Επίσης οι μαθητές αρχίζουν να γνωρίζουν τις διαδικασίες για το τι κάνουν οι επιστήμονες όταν παράγουν την επιστημονική γνώση.

Τέλος μια τέτοια παιδαγωγική προσέγγιση, έδειξε να είναι εξαιρετικά ελκυστική, σε αντίθεση με την έλλειψη επιτυχίας μας να διδάξουμε και να καταλάβουν οι μαθητές μας σήμερα στις τάξεις τις έννοιες της φυσικής.

Η ένταξη λοιπόν της επανάληψης βασικών ιστορικών πειραμάτων καθώς και της διδασκαλίας της ιστορίας της φυσικής μέσα στο κανονικό σχολικό πρόγραμμα σπουδών πιστεύουμε ότι θα έχουν μια πολύτιμη συμβολή στην κατανόηση από τους μαθητές της φύσης της επιστήμης.

Προγραμματίζουμε να διευρύνουμε το πεδίο της παρούσας εργασίας προκειμένου να διαμορφωθούν ασφαλέστερα ερευνητικά ευρήματα σχετικά με τις απόψεις αυτές.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Βελέντζας, Α., Χαλκιά, Κ., Σκορδούλης Κ., (2007). Η χρήση των νοητικών πειραμάτων στα σχολικά εγχειρίδια. Η περίπτωση παρουσίασης της νευτώνειας μηχανικής, Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση. Πρακτικά 5^{ου} πανελληνίου συνεδρίου, τεύχος Β' σελ. 548-555, Αθήνα.
- Abd El Khalick, F. & Lederman, N. (2000). Improving Science Teachers Conceptions of the Nature of Science. A Critical Review of Theories Literature, *International Journal of Science Education* 22(7), 665-701.
- Arons, A., (1992). Οδηγός Διδασκαλίας της Φυσικής. Τροχαλία, Αθήνα.
- Cushing, J., (2003). Φιλοσοφικές Έννοιες στην Φυσική. Η ιστορική σχέση μεταξύ φιλοσοφίας και επιστημονικών θεωριών. Leader Books, Αθήνα.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. and Wood-Robinson, V. (2000). Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών. Τυπωθήτω, Γ. Δαρδάνος, Αθήνα.
- Erickson, G. and Hobbs, E. (1978). The developmental study of student beliefs about force concepts , Paper presented to the 1978 Annual Convention of the Canadian Society for the Study of Education. 2 June, London, Ontario, Canada.
- Heering, P. (1992). On Coulomb's Inverse Square Law. *American Journal of Physics* 60, 998-994.
- Heering, P. (2000). Getting Shocks. Teaching Electrostatics with Historical Experiments at Secondary School Level. *Science & Education* 9, 363-373.
- Heering, P.(2003). Analysing unsuccessful experiments and instruments with the replication method. Paper presented at the Itinerant Physicists of the 17th century. Conference, Pognana, Italy, June 1-6, 2003.
- Heering, P. (2003). History - Science - Epistemology: On the use of historical experiments in physics teacher training, in W.F. McComas (ed.), *Proceedings of the 6th International History, Philosophy and Science Teaching Group meeting*. (Denver,USA). [File 58 on CDROM from IHPST.ORG].
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, NewYork.
- Matthews, M. (1998). The nature of science and science teaching, In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.). *International Handbook of science Education* (pp. 981-999), Kluwer Academic Publishers,.
- Solomon, J., Duveen, J., Scot, L. & McCarthy, S. (1992). Teaching About the Nature of Science through History. *Action Research in the Classroom, Journal of Research in Science Teaching* 30(4), 409–421.
- Yager, R.E. (1992). Viewpoint: What We did not Learn from the 60s about Science Curriculum Reform, *Journal of Research in Science Teaching* 29(8), 905-910.
- Stinner, A. (1995). Contextual Settings, Science Stories, and Large Context Problems: Toward a More Humanistic Science Education, *Science Education* 79(5), 555-581.