



Η διδασκαλία του πρώτου νόμου του Νεύτωνα με την αξιοποίηση εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιήθηκαν στο Διεθνή Διαστημικό Σταθμό

Πιερράτος Θ., Πολάτογλου Χ.

2ο ΓεΛ Εχεδώρου, pierrat@auth.gr

Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ, hariton@physics.auth.gr

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη διδακτική πρόταση διδασκαλίας του πρώτου νόμου του Νεύτωνα με την αξιοποίηση εκπαιδευτικού υλικού που έχει παραχθεί από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία. Μέσα από πειράματα με καθημερινά υλικά που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και την παρακολούθηση πειραματικών δραστηριοτήτων που έχουν πραγματοποιηθεί τόσο στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό από αστροναύτες, όσο και από μαθητές Ευρωπαϊκών σχολείων στην επιφάνεια της Γης, επιχειρείται η διέγερση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριών και η αποτελεσματικότερη παρουσίαση των φυσικών εννοιών που εμπλέκονται. Η διδακτική πρόταση εφαρμόστηκε πιλοτικά κατά το τρέχον διδακτικό έτος σε μαθητές/τριες της Α' Λυκείου ενός Γενικού Λυκείου και επιχειρήθηκε να αποτιμηθεί με τη χρήση του εργαλείου Force Concept Inventory. Τα αποτελέσματα της αποτίμησης είναι ενθαρρυντικά, ενώ οι μαθητές εκδήλωσαν πολύ ζωντανό ενδιαφέρον για το εγχείρημα.

Εισαγωγή

Η διδασκαλία της Φυσικής, και ειδικότερα της μηχανικής, στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση συναντά διάφορα εμπόδια που σχετίζονται τόσο με την ίδια τη φύση του αντικείμενου όσο και με τις μεθόδους διδασκαλίας που υιοθετούνται από το διδάσκοντα εκπαιδευτικό. Η έρευνα στο χώρο της διδακτικής της Φυσικής τις τελευταίες δεκαετίες έχει δείξει ότι ένα από τα πιο συνηθισμένα εμπόδια είναι η προσκόλληση των μαθητών στις δικές τους, λανθασμένες επιστημονικά, εναλλακτικές ιδέες για την έννοια της δύναμης, παρά την τυπική διδασκαλία που έχουν παρακολουθήσει. Διάφορες έρευνες (Viennot 1979, Gilbert & Osborne 1980, Clement 1982, Gilbert *et al.* 1982, Watts 1983, Halloun & Hestenes 1985, Finegold & Gorsky 1991) έχουν οριοθετήσει το πλέγμα των ιδεών που ευθύνονται για αυτές τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών. Οι Gilbert and Watts (1983) έχουν περιγράψει το πιο κοινό πλέγμα τέτοιων ιδεών ως εξής:

- Αν ένα σώμα δεν κινείται, τότε δεν ασκείται καμία δύναμη σε αυτό.
- Αν ένα σώμα κινείται τότε ασκείται σε αυτό μια δύναμη στην κατεύθυνση της κίνησης.
- Σταθερή κίνηση απαιτεί σταθερή δύναμη.

Το πλέγμα αυτών των ιδεών, που σχετίζεται με τη διδασκαλία του πρώτου νόμου του Νεύτωνα, ταυτίζεται με την αριστοτελική θεώρηση της φύσης και υποστηρίζεται στέρεα από την καθημερινή εμπειρία των μαθητών. Εφόσον οι μαθητές εξακολουθούν να διαθέτουν αυτές τις λανθασμένες ιδέες είναι απίθανο αν όχι αδύνατο να καταφέρουν να χτίσουν μια συνεπή θεώρηση της μηχανικής.

Παράλληλα, ένα ακόμη εμπόδιο που αντιμετωπίζουν οι διδάσκοντες είναι η αποστροφή των μαθητών σε όλον τον κόσμο για τα μαθήματα Φυσικών Επιστημών (Φ.Ε.) γιατί τα θεωρούν χωρίς ενδιαφέρον και αποκομμένα από την καθημερινή πραγματικότητα (Hodge, 2006). Η διαδικασία, όμως, της μάθησης είναι στενά συνδεδεμένη με το ενδιαφέρον που προκαλείται στους μαθητές, με την παροχή κινήτρων και με τη συναισθηματική κατάστασή τους (Dierking



et al., 2003). Κατά συνέπεια είναι λογικό να υποτεθεί ότι η έλλειψη ενδιαφέροντος μαζί με την ισχυρή αντίσταση που παρουσιάζουν οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών στην αλλαγή, αποτελούν τροχοπέδη στην προσπάθεια διδασκαλίας τόσο της Νευτώνειας μηχανικής όσο και των άλλων κλάδων της Φυσικής.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας παρουσιάζεται μια συγκεκριμένη διδακτική πρόταση για τη διδασκαλία του πρώτου νόμου του Νεύτωνα με τη χρήση εργαστηριακών δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται με καθημερινά υλικά στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και την παράλληλη παρακολούθηση οπτικοακουστικού εκπαιδευτικού υλικού που έχει αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA). Σκοπός ήταν να διερευνηθεί καταρχάς αν η συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση διεγείρει το ενδιαφέρον των μαθητών και στη συνέχεια αν βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση των φυσικών εννοιών. Ένας λόγος που επιλέχθηκε διδακτικό υλικό που σχετίζεται με το Διάστημα είναι το γεγονός ότι αυτό ασκεί ιδιαίτερη γοητεία στους μαθητές. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από ερευνητές και υπεύθυνους σχεδιασμού εκπαίδευσης στη Μεγάλη Βρετανία, το Διάστημα ασκεί «άμεση και θετική επίδραση στις επιλογές σπουδών και επαγγέλματος» και αυξάνει την ενεργοποίηση των μαθητών στις φυσικές επιστήμες, ανεξάρτητα από φύλο, ηλικία, ικανότητα ή πολιτιστικό επίπεδο (Spencer & Hulbert G, 2006). Επιπλέον, η παιδαγωγική αξία του βίντεο και η πρόκληση του ενδιαφέροντος που προκαλεί στους μαθητές έχει επιβεβαιωθεί από διάφορες έρευνες (Σμυρναίου κ.α., 2004). Η προτεινόμενη διδασκαλία εφαρμόστηκε πιλοτικά σε 2 τμήματα της Α' Λυκείου ενός Γενικού Λυκείου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και, προκειμένου να αποτιμηθεί, οι μαθητές συμπλήρωσαν μία εβδομάδα αργότερα ένα μέρος του Force Concept Inventory (Hestenes *et al.*, 1992). Το ίδιο ερευνητικό εργαλείο συμπλήρωσαν και ακόμη 2 τμήματα της Α' Λυκείου του ίδιου Γενικού Λυκείου που διδάχτηκαν τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα με παραδοσιακό τρόπο.

Το εποπτικό υλικό

Το οπτικοακουστικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε έχει δημιουργηθεί από το Γραφείο Εκπαίδευσης του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού (ISS) της ESA (ESA, 2008). Έχει συνολική διάρκεια 17 λεπτά και αποτελεί μέρος μιας σειράς μαθημάτων φυσικών επιστημών. Η ESA αξιοποιώντας την ευκαιρία να πραγματοποιεί πειράματα στο διάστημα έχει παράγει εκπαιδευτικό υλικό για μαθητές ηλικίας 12-18 ετών, συμβατό με τα αναλυτικά προγράμματα των Ευρωπαϊκών χωρών, για να χρησιμοποιηθεί στην ερμηνεία βασικών επιστημονικών εννοιών. Μέσω απλών επιδείξεων Ευρωπαίοι αστροναύτες, κατά τη διάρκεια των αποστολών τους στον ISS, παρουσιάζουν μερικές βασικές επιστημονικές έννοιες. Στο πρώτο από τα DVD με τίτλο *Project: Zero gravity. Mission 1: Newton in space*, ο αστροναύτης Pedro Duque παρουσιάζει τους τρεις νόμους του Νεύτωνα. Κάθε επίδειξη που πραγματοποιείται στον ISS ακολουθείται από αντίστοιχες επιδείξεις στην επιφάνεια της Γης από μαθητές επιλεγμένων σχολείων από χώρες μέλη της ESA. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των επιδείξεων εξοικειώνει τους μαθητές με τις διαφορές μεταξύ γήινου και διαστημικού περιβάλλοντος.

Η εκπαιδευτική σειρά παρέχεται δωρεάν στους εκπαιδευτικούς χωρών μελών της ESA, άρα και στους Έλληνες, συμπληρώνοντας μια ηλεκτρονική αίτηση (<http://esa-hme-education.org/>). Όλα τα DVD της σειράς έχουν και ελληνική αφήγηση, εκτός από το συγκεκριμένο στο οποίο παρουσιάζονται οι νόμοι του Νεύτωνα. Η αγγλική γλώσσα που χρησιμοποιείται είναι ωστόσο απλή και οι περισσότεροι μαθητές δεν δυσκολεύονται να την παρακολουθήσουν.



Η διδακτική πρόταση.

Ξεκινώντας την προβολή της ταινίας οι μαθητές παρακολουθούν τον αστροναύτη Pedro Duque να στέκεται μπροστά σε μια μπάλα του πινγκ πονγκ η οποία αιωρείται λόγω της συνθήκης έλλειψης βαρύτητας που επικρατεί στον ISS. Ο αστροναύτης φυσάει για μικρό χρονικό διάστημα την μπάλα και αυτή ξεκινάει να κινείται. «Παγώνουμε» το βίντεο και ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν την κίνηση που θα κάνει η μπάλα. Οι μαθητές διατυπώνουν διάφορες απόψεις, για παράδειγμα «η μπάλα θα κινηθεί μεν αρχικά αλλά σύντομα θα σταματήσει». Κάποιοι προβλέπουν ότι «η μπάλα θα κάνει παραβολική τροχιά προς το πάτωμα του σταθμού». Καλούμε έναν μαθητή ο οποίος με τη βοήθεια ενός χάρακα διαπιστώνει ότι η μπάλα κινείται σε ευθύγραμμη τροχιά, με ελαφριά κλίση προς τα πάνω ως προς το κάδρο της εικόνας. «Παγώνουμε» και πάλι την εικόνα και ρωτάμε τους μαθητές πώς μεταβάλλεται το μέτρο της ταχύτητας της μπάλας, κατά την κίνησή της. Κάποιοι μαθητές διατυπώνουν την άποψη ότι «επειδή η μπάλα κινείται ελαφρώς προς τα πάνω, το μέτρο της ταχύτητας μειώνεται». Άλλοι θεωρούν ότι «επειδή στο διάστημα δεν υπάρχουν τριβές» το μέτρο της ταχύτητας παραμένει σταθερό. Επαναφέρουμε τη ροή του βίντεο οπότε εμφανίζεται ένα πλέγμα συντεταγμένων με τη βοήθεια του οποίου οι μαθητές μπορούν να διαπιστώσουν ότι η κίνηση της μπάλας είναι πρακτικά ισοταχής.

Ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν το φαινόμενο που παρατήρησαν με όρους φυσικής. Δεν επιχειρούμε διορθώσεις τυχόν λανθασμένων, επιστημονικά, διατυπώσεων, όπως π.χ. «η μπάλα ξεκινάει να κινείται επειδή ο αστροναύτης της έδωσε δύναμη», ή «η μπάλα συνεχίζει να έχει ενέργεια λόγω της αδράνειάς της» αλλά επιδιώκουμε στη συγκεκριμένη φάση την ανταλλαγή απόψεων και επιχειρημάτων μεταξύ των μαθητών. Στη συνέχεια τίθεται η ερώτηση τι θα έπρεπε να συμβεί για να αλλάξει «κινητική κατάσταση» η μπάλα. Αφού οι μαθητές εκφράσουν τις απόψεις τους (π.χ. «να τη φυσήξει πιο δυνατά ο αστροναύτης») προβάλλεται η συνέχεια του βίντεο στο οποίο παρουσιάζονται δυο καταστάσεις:

- Ο αστροναύτης φυσάει τη μπάλα, η οποία κινείται σε ευθύγραμμη τροχιά, μέχρι να τη σταματήσει ένας άλλος αστροναύτης με το χέρι.
- Ο αστροναύτης φυσάει τη μπάλα, η οποία τίθεται σε κίνηση και στη συνέχεια μετακινείται κάθετα ως προς την αρχική του θέση και ξαναφυσάει τη μπάλα αλλάζοντας την κατεύθυνση της κίνησής της.

Οι μαθητές προσπαθούν να ερμηνεύσουν τις δυο καταστάσεις, ενώ στη συνέχεια παρατηρούν το πείραμα στο βίντεο, ακούν την ερμηνεία και συζητούν την ακρίβεια των δικών τους εξηγήσεων. Όπως προκύπτει οι μαθητές στην προσπάθειά τους να περιγράψουν τις καταστάσεις χρησιμοποιούν ως συνώνυμες διάφορες εκφράσεις, για παράδειγμα, «δίνω δύναμη» και «ασκώ δύναμη», ή «ενέργεια» και «δύναμη», και θεωρούν ότι νομιμοποιούνται να τις χρησιμοποιούν κατά το δοκούν. Έτσι αρκετοί νομίζουν ότι οι ερμηνείες τους για τα φαινόμενα είναι σωστές, όταν τις συγκρίνουν με τις επιστημονικές. Επιπλέον, αντιμετωπίζουν τις δυο καταστάσεις (ακινητοποίηση της μπάλας και αλλαγή της κατεύθυνσης κίνησης) ως δυο διαφορετικά φαινόμενα. Διατυπώνουμε λοιπόν τον 1^ο νόμο του Νεύτωνα ως μια αρχή που φαίνεται να περιγράφει ενιαία όσα παρατηρήθηκαν. Για να εισάγουμε στη συνέχεια την έννοια αδράνεια ως μια ιδιότητα των σωμάτων που εμφανίζεται με δυο πρόσωπα, της «δυσφορίας» στην αλλαγή της κίνησης και του «δικαιώματος» στη διατήρηση της κίνησης (Κασσέτας, 2000), προβάλλουμε τη συνέχεια της ταινίας: μια γυναίκα αστροναύτης, μέλος του πληρώματος του ISS, σταματάει απότομα ένα κουτάλι με τροφή που κινείται μπροστά της, το κουτάλι σταματάει να κινείται όχι όμως και η τροφή την οποία και τρώει! Καλούμε τους μαθητές να ερμηνεύσουν

το απόσπασμα χρησιμοποιώντας τον 1^ο νόμο του Νεύτωνα. Αρκετοί ισχυρίζονται ότι «η τροφή συνεχίζει να κινείται επειδή δεν ασκήθηκε πάνω της δύναμη», ενώ άλλοι διαφωνούν θεωρώντας ότι «αφού ασκήθηκε δύναμη στο κουτάλι ασκείται και στην τροφή».

«Παγώνουμε» το βίντεο ώστε το επόμενο πείραμα να πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο από τους μαθητές. Πάνω σε ένα αμαξίδιο τοποθετείται μια παιδική κούκλα ενώ στην πορεία του τοποθετείται ένα χαμηλό εμπόδιο με το οποίο το αμαξίδιο θα συγκρουστεί. Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν τις συνέπειες της σύγκρουσης για το αμαξίδιο και για την κούκλα και στη συνέχεια πραγματοποιούμε τη σύγκρουση. Ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν με όρους φυσικής το συμβάν. Πώς σχετίζεται αυτό το φαινόμενο με την κίνηση που έκανε η τροφή στο τελευταίο βίντεο; Αφού συζητηθεί η αιτία της αλλαγής της κινητικής κατάστασης του αμαξιδίου (άσκηση δύναμης από το εμπόδιο) γίνεται προσπάθεια να εστιάσουν την προσοχή τους στην κίνηση της κούκλας: εγκαταλείποντας το αμαξίδιο ακολούθησε ευθύγραμμη τροχιά, όπως η μπάλα του πινγκ πονγκ στον ISS, ή καμπύλη; Για να γίνει πιο φανερή η καμπύλη κίνηση της κούκλας, επαναλαμβάνουμε το πείραμα πάνω σε έναν πάγκο εργασίας, στην άκρη του οποίου έχει τοποθετηθεί το εμπόδιο, ώστε η κούκλα να πέσει στο κενό εκτελώντας οριζόντια βολή (Hsu, 2001). Περιγράφει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα αυτό το φαινόμενο; Αν όχι, γιατί; Τι θα συνέβαινε αν το πείραμα πραγματοποιούνταν στον ISS; Με τον τρόπο αυτό επιχειρείται να διαπιστώσουν οι μαθητές τα όρια εφαρμογής του πρώτου νόμου καθώς και να διαπιστώσουν τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του πλανήτη μας και στον ISS.

Συνεχίζοντας τη ροή του βίντεο οι μαθητές παρακολουθούν το ίδιο πείραμα να εκτελείται από μαθητές κάποιου Ευρωπαϊκού σχολείου. Χάρη στην αργή κίνηση που προσφέρει το βίντεο οι μαθητές μπορούν να διαπιστώσουν ότι η κούκλα συνεχίζει να κινείται με σταθερού μέτρου ταχύτητα στην οριζόντια διεύθυνση, αλλά ταυτόχρονα μετατοπίζεται στην κατακόρυφη διεύθυνση, μετά τη σύγκρουση με το εμπόδιο. Όταν μετά από συζήτηση γίνει αποδεκτό ότι η ταχύτητα, ως διανυσματικό μέγεθος, δεν παραμένει σταθερή ζητείται ο λόγος. Κάποιοι μαθητές απαντούν «λόγω της βαρύτητας». Τίθεται τότε η ερώτηση τι θα συνέβαινε αν το ίδιο πείραμα πραγματοποιούνταν στον ISS. Κάποιοι μαθητές στηριζόμενοι στην προηγούμενη απάντηση ισχυρίζονται ότι «αφού δεν υπάρχει βαρύτητα, η κούκλα θα κινηθεί σε ευθεία». Αφού διατυπωθούν απαντήσεις δείχνουμε το βίντεο και ακολουθεί συζήτηση μεταξύ των μαθητών με τον εκπαιδευτικό να συντονίζει.

Συνεχίζοντας τη ροή του βίντεο ακολουθεί μια μαθήτρια που μεταφέρει ένα ανοικτό δοχείο με νερό. Το κορίτσι αφού τεθεί σε κίνηση από μια συμμαθήτριά της σταματάει απότομα όταν την συγκρατούν δύο άλλες μαθήτριες. «Παγώνουμε» το βίντεο και ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν τι θα γίνει. Εκτελείται το πείραμα στο εργαστήριο και οι μαθητές καλούνται να ερμηνεύσουν το φαινόμενο χρησιμοποιώντας όρους φυσικής. Σε ποιο σώμα ασκήθηκε δύναμη; Γιατί το νερό συνεχίζει να κινείται; Ποιες διαφορές και ποιες ομοιότητες υπάρχουν με το βίντεο και το πείραμα με την παιδική κούκλα;

Διατυπώνουμε την έννοια αδράνεια ως την ιδιότητα – «δικαίωμα» των σωμάτων να διατηρούν σταθερή την κινητική τους κατάσταση. Ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν εκ νέου όλα τα πειράματα που παρακολούθησαν ή/και πραγματοποίησαν χρησιμοποιώντας την νέα έννοια.

Η αδράνεια όμως μπορεί να εμφανιστεί και με άλλον χαρακτήρα: ως ιδιότητα των σωμάτων να «δυσφορούν» στην απότομη αλλαγή της κινητικής τους κατάστασης. Παρακολουθούμε στο βίντεο ένα μαθητή να ισορροπεί ένα μολύβι πάνω σε δακτύλιο που ισορροπεί πάνω σε ένα μπουκάλι. «Παγώνουμε» το βίντεο και επιχειρούμε το ίδιο πείραμα στο εργαστήριο. Τι θα συμβεί; Μερικοί δηλώνουν ότι το μολύβι θα πέσει μέσα στο μπουκάλι οι περισσότεροι όμως διαφωνούν. Εκτελώντας το πείραμα σπρώχνουμε απαλά το δακτύλιο και στη συνέχεια το επαναλαμβάνουμε σπρώχνοντας το δακτύλιο απότομα. Στην πρώτη περίπτωση το μολύβι πέφτει δίπλα από το μπουκάλι ενώ στη δεύτερη μέσα στο μπουκάλι. Η ροή του βίντεο συνεχίζεται και



οι μαθητές παρακολουθούν την εκτέλεση του ίδιου πειράματος από τους Ευρωπαίους συμμαθητές τους. Ζητείται από τους μαθητές να ερμηνεύσουν ό,τι είδαν με βάση τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα δίνοντας, αν μπορούν, ένα σχέδιο με τις εφαρμοζόμενες δυνάμεις. Αρκετοί μαθητές περιγράφουν ικανοποιητικά την αρχική ισορροπία του μολυβιού ως αποτέλεσμα εφαρμογής του 1^{ου} νόμου του Νεύτωνα, δεν μπορούν όμως να δώσουν ικανοποιητικά ελεύθερα σχέδια με τις εφαρμοζόμενες δυνάμεις.

Συνεχίζεται η ροή του βίντεο όπου εμφανίζεται μια κοπέλα που φοράει πατίνια πάνω σε ένα τραπέζι. Το τραπέζι τίθεται σε παλινδρομική κίνηση από 2 μαθήτριες. «Παγώνουμε» το βίντεο, περιγράφουμε το πείραμα και ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν την έκβασή του. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πείραμα στο βίντεο και ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν ό,τι βλέπουν: η μαθήτρια μετατοπίζεται ελάχιστα καθώς εκτελεί παλινδρομική κίνηση, όπως και το τραπέζι, αλλά πολύ μικρότερου πλάτους. Τι θα γινόταν αν η κίνηση του τραπεζιού ήταν πιο αργή και τι αν ήταν πιο γρήγορη; Μερικοί μαθητές απαντούν «*ό,τι συνέβη και με το μολύβι*». Πραγματοποιούμε το ίδιο πείραμα στο εργαστήριο όπου ένα αμαξίδιο τοποθετείται σε οριζόντια επιφάνεια η οποία μετακινείται από δυο μαθητές αργά και στη συνέχεια με απότομες παλινδρομικές κινήσεις. Επιχειρούμε συζητώντας με τους μαθητές να συνδέσουμε το πείραμα αυτό με το προηγούμενο πείραμα με το μολύβι. Ποιες δυνάμεις δέχεται η κοπέλα όσο βρίσκεται πάνω στο τραπέζι; Ποιες όταν φεύγει το τραπέζι και μένει, προς στιγμή, μετέωρη;

Διατυπώνουμε την έννοια αδράνεια ως την ιδιότητα – «δυσφορία» των σωμάτων να μεταβάλλουν την κινητική τους κατάσταση. Ζητάμε από τους μαθητές να περιγράψουν εκ νέου τα δυο τελευταία πειράματα που παρακολούθησαν ή/και πραγματοποιήσαν χρησιμοποιώντας την νέα έννοια. Κάποιοι μαθητές ρωτούν «*γιατί τα σώματα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά όταν το τραπέζι ή ο δακτύλιος στο πρώτο πείραμα κινείται αργά και όταν κινείται απότομα*»; Αποφεύγουμε να απαντήσουμε υποστηρίζοντας ότι το ερώτημα θα απαντηθεί όταν θα συζητηθεί ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα. Με τον τρόπο αυτό επιχειρούμε να αναδείξουμε την αναγκαιότητα εισαγωγής και των άλλων νόμων του Νεύτωνα ώστε η φυσική θεωρία να είναι ολοκληρωμένη, αλλά επιπλέον να διατηρήσουμε το ενδιαφέρον των μαθητών για την επόμενη διδακτική ενότητα.

Η αποτίμηση της διδακτικής μεθόδου

Μία εβδομάδα μετά την πραγματοποίηση της διδασκαλίας του πρώτου νόμου του Νεύτωνα, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, σε 2 τμήματα της Α' Λυκείου ενός Γενικού Λυκείου, επιχειρήθηκε η αποτίμηση της μεθόδου. Προκειμένου να επιτευχθεί η εγκυρότητα της μεθόδου αποτίμησης χρησιμοποιήθηκε το ερευνητικό εργαλείο Force Concept Inventory. Το συγκεκριμένο εργαλείο περιλαμβάνει 29 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής σχετικά με τους νόμους του Νεύτωνα. Επιλέχθηκαν οι 8 από τις ερωτήσεις που αξιολογούν την κατανόηση του πρώτου νόμου του Νεύτωνα, δηλαδή οι ερωτήσεις 4, 6, 8, 10, 18, 26, 27 και 28 (Hestenes *et al.*, 1992). Τρεις ερωτήσεις (οι 4, 6 και 10) αναφέρονται σε καταστάσεις όπου δεν ασκείται καμία δύναμη, μία ερώτηση (η 26) σε κατάσταση κίνησης με σταθερή διανυσματική ταχύτητα, δύο ερωτήσεις (οι 8 και 27) σε καταστάσεις κίνησης με σταθερού μέτρου ταχύτητα και δυο (οι 18 και 28) σε καταστάσεις όπου η συνισταμένη δύναμη είναι μηδέν. Στις προσφερόμενες απαντήσεις περιλαμβάνονται πολλές από τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, όπως αυτές έχουν καταγραφεί στην βιβλιογραφία (Driver *et al.*, 2000).

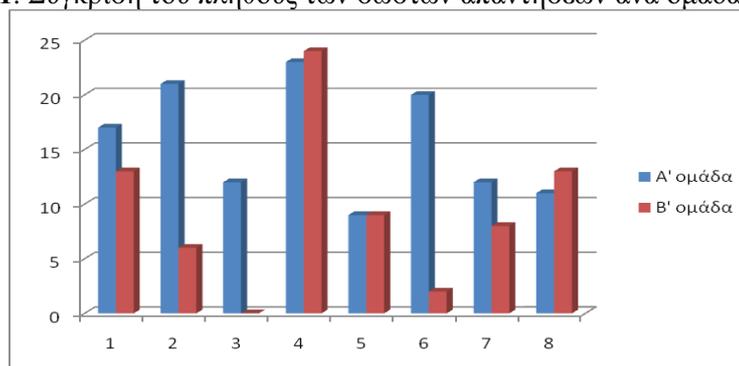
Το ερωτηματολόγιο συμπλήρωσαν ανώνυμα δυο ομάδες μαθητών: η ομάδα Α την οποία αποτελούσαν οι μαθητές των δύο τμημάτων που παρακολούθησαν τη συγκεκριμένη διδασκαλία, σύνολο 40 μαθητές, και η ομάδα Β που αποτελούνταν από τους μαθητές των άλλων δυο τμημάτων της Α' Λυκείου, σύνολο 41 μαθητές, που διδάχθηκαν την ίδια ενότητα με τον

παραδοσιακό τρόπο. Και τα τέσσερα τμήματα θεωρούνται ίδιας δυναμικότητας ως προς τις ικανότητες των μαθητών που τα απαρτίζουν, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των επιδόσεών τους στο ωριαίο διαγώνισμα Α' τετραμήνου. Στον Πίνακα 1 καταγράφονται ανά ερώτηση και ανά ομάδα μαθητών οι απαντήσεις που δόθηκαν. Με έντονη γραφή εμφανίζεται το πλήθος των σωστών απαντήσεων για κάθε ερώτηση. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται συγκριτικά το πλήθος των σωστών απαντήσεων για τις οκτώ ερωτήσεις και για κάθε ομάδα.

Πίνακας 1: Οι απαντήσεις ανά ερώτηση και ανά ομάδα μαθητών.

	Α' ομάδα					Β' ομάδα				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1 ^η ερώτηση (4)	11	17	2	5	5	12	13	2	3	11
2 ^η ερώτηση (6)	12	21	0	2	5	12	6	1	11	11
3 ^η ερώτηση (8)	12	7	1	13	7	0	2	2	33	4
4 ^η ερώτηση (10)	13	23	2	1	1	9	24	2	6	0
5 ^η ερώτηση (18)	25	9	0	6	-	18	9	10	4	-
6 ^η ερώτηση (26)	7	20	4	7	2	12	2	15	7	5
7 ^η ερώτηση (27)	12	6	7	9	5	8	3	9	11	10
8 ^η ερώτηση (28)	8	12	11	9	-	8	4	13	16	-

Σχήμα 1: Σύγκριση του πλήθους των σωστών απαντήσεων ανά ομάδα μαθητών



Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται το πλήθος και το ποσοστό των μαθητών των δυο ομάδων που έδωσαν από μηδέν μέχρι και οκτώ συνολικά σωστές απαντήσεις, καθώς και οι αντίστοιχοι μέσοι όροι.

Πίνακας 2: Το πλήθος και το ποσοστό των μαθητών που απάντησαν σωστά από 0 έως 8 ερωτήσεις, για κάθε ομάδα.

	Α' ομάδα (40 άτομα)	Β' ομάδα (41 άτομα)
0	2 (5%)	6 (14,6%)
1	6 (15%)	13 (31,7%)
2	10 (25%)	12 (29,3%)
3	6 (15%)	7 (17,1%)
4	5 (12,5%)	2 (4,9%)
5	4 (10%)	1 (2,4%)
6	7 (17,5%)	0 (0%)
7	0 (0%)	0 (0%)
8	0 (0%)	0 (0%)
Μέσος Όρος	3,2	1,88



Οι μαθητές της ομάδας Α κλήθηκαν αμέσως μετά το τέλος της διδασκαλίας, να χαρακτηρίσουν ανώνυμα τη διδασκαλία που παρακολούθησαν ως προς το ενδιαφέρον που τους προκάλεσε, καθώς και το επίπεδο κατανόησης του μαθήματος, όπως το αντιλαμβάνονται οι ίδιοι. Στον Πίνακα 3 εμφανίζεται το πλήθος και το ποσοστό των μαθητών και οι απαντήσεις τους στην ερώτηση: «Θα χαρακτήριζες το σημερινό μάθημα ως:...».

Πίνακας 3: Το πλήθος και το ποσοστό των μαθητών της Α' ομάδας ως προς το ενδιαφέρον που τους προκάλεσε το μάθημα

Αδιάφορο	Μέτριου ενδιαφέροντος	Ενδιαφέρον	Εξαιρετικά ενδιαφέρον
1 (2,5%)	5 (12,5%)	19 (47,5%)	15 (37,5%)

Στον Πίνακα 4 εμφανίζεται το πλήθος και το ποσοστό των μαθητών και οι απαντήσεις τους στην ερώτηση: «Το σημερινό μάθημα μου φάνηκε:...».

Πίνακας 4: Τα ποσοστά των μαθητών της Α' ομάδας ως προς το επίπεδο κατανόησης που εξέφρασαν.

Ακατανόητο	Μάλλον κατανητό	Απόλυτα κατανητό
3 (7,5%)	13 (32,5%)	24 (60%)

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3, το ενδιαφέρον των μαθητών της ομάδας Α' κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα. Χάρη στο συνδυασμό πειραματικών δραστηριοτήτων και οπτικοακουστικού υλικού οι μαθητές παρακολούθησαν και συμμετείχαν ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία στην συντριπτική τους πλειοψηφία. Είχαν μάλιστα την εντύπωση ότι κατάλαβαν σε πολύ ψηλό ποσοστό τις συγκεκριμένες έννοιες, γεγονός όμως που διαψεύδεται από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν. Ο μέσος όρος των 3,2 σωστών απαντήσεων ανά ερωτηματολόγιο απέχει πολύ από το να θεωρηθεί ικανοποιητικός. Σε σύγκριση όμως με το αντίστοιχο ποσοστό της ομάδας Β', μόλις 1,88, υποδεικνύει το δυναμικό της μεθόδου που ακολουθήθηκε.

Οι μαθητές φαίνεται ότι εξακολουθούν να μένουν προσκολλημένοι στις εναλλακτικές τους ιδέες, όπως ακριβώς έχει καταγραφεί και στη βιβλιογραφία. Όταν καλούνται να απαντήσουν σε θέματα που σχετίζονται με αυτά που παρακολούθησαν στο βίντεο, όπως οι ερωτήσεις 2, 3 και 6, τότε απαντούν σωστά με εντυπωσιακή διαφορά σε σχέση με τους μαθητές της ομάδας Β' (Σχήμα 1). Ειδικά στην ερώτηση 3, που σχετίζεται με το μέτρο της ταχύτητας ενός σώματος μετά τη δράση μιας δύναμης, οι μαθητές της ομάδας Α' απαντούν σωστά σε ποσοστό 30%, όταν κανένας από τους μαθητές της ομάδας Β' δεν δίνει σωστή απάντηση. Όταν όμως οι ίδιοι μαθητές καλούνται να περιγράψουν την κίνηση ενός ανελκυστήρα, απαντούν σε ποσοστό 62,5% ότι όταν ένα σώμα δέχεται την επίδραση δυο αντίρροπων δυνάμεων και κινείται με σταθερή ταχύτητα προς μια από τις δύο κατευθύνσεις, τότε η αντίστοιχη δύναμη έχει μεγαλύτερο μέτρο!



Συμπεράσματα

Οι στόχοι της προτεινόμενης εκπαιδευτικής δραστηριότητας ήταν να προκληθεί το ενδιαφέρον των μαθητών βοηθώντας στην αλλαγή της στάσης τους απέναντι στο μάθημα της Φυσικής, και η διευκόλυνση κατανόησης των εννοιών που εμπλέκονται με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα. Όπως προέκυψε από την αξιολόγηση της δραστηριότητας από τους μαθητές, ο πρώτος στόχος επιτεύχθηκε σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο.

Ο δεύτερος στόχος, όπως αναμενόταν με βάση τη βιβλιογραφία, δεν ήταν εξίσου εύκολο να επιτευχθεί. Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών δύσκολα αλλάζουν. Χάρη στην υψηλή εποπτεία των εννοιών που επιτεύχθηκε με την αξιοποίηση των δραστηριοτήτων που πραγματοποιήθηκαν στον ISS, φαίνεται ότι κάποιες από αυτές κατέστη δυνατό να επαναπροσδιοριστούν για αρκετούς μαθητές. Το αναπόφευκτα, όμως, περιορισμένο εύρος δραστηριοτήτων περιόρισε αντίστοιχα και το εύρος της επιθυμητής εννοιολογικής αλλαγής. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η περαιτέρω ίσως χρήση κατάλληλου οπτικοακουστικού υλικού και η οργάνωση και ο προγραμματισμός βιωματικών πειραματικών δραστηριοτήτων θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αναδόμηση των ιδεών των μαθητών προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η υπόθεση αυτή απομένει να διερευνηθεί.

Βιβλιογραφία

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V.. Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μια παγκόσμια σύνοψη των Ιδεών των Μαθητών. Τυπωθήτω, Αθήνα 2000.

Κασσέτας Α. (2000). Το μακρόν Φυσική προ του βραχέος διδάσκω, 84-97. Σαββάλας.

Σμυρναίου, Ζ., Δημητρακοπούλου, Α., Πολίτης Π. & Κόμης Β. (2004). Η χρήση βίντεο, φυσικών αντικειμένων και εκπαιδευτικού λογισμικού στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου ΕΤΠΕ, σ. 45-54.

Dierking, L. D., Falk J. H., Rennie L., Anderson D., Ellenbogen K. (2003). Policy Statement of the “Informal Science Education” Ad Hoc Committee. Journal of Research in Science Teaching vol. 40, no. 2, pp. 108–111.

ESA (2008). Δικτυακός τόπος: http://www.esa.int/esaHS/SEMJWDYO4HD_education_0.html

Finegold M., Gorsky P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for Consistency.

Gilbert, J. & Osborne, R. (1980). Identifying science students concepts: The IAI approach. In W. Archenhold (ed.), Cognitive Development Research in Science and Mathematics (Centre for Studies in Science Education, University of Leeds, Leeds).

Gilbert, J., Watts, M. & Osborne, J. (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. Physics Educ, Vol. 17, pp. 62-66.

Halloun, I. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge of college physics students, Am. J. Phys. 53, 1043.

Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory, The Physics Teacher, Vol. 30, March 1992.



Hodge R. (2006). What Europeans really think (and know) about science and technology, *Science in school*, issue 3, pp. 71-77.

Hsu, L. (2001). Teaching Newton's Laws *Before* Projectile Motion, *The Physics Teacher*, Vol. 39, April 2001.

Spencer P. Hulbert G. (2006). The Education and Skills Case for Space. Swindon, UK: Particle Physics and Astronomy Research Council. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο www.pparc.ac.uk/Ed/ESCS.asp

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, Vol. 1, pp. 205-221.

Watts, D. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, Vol. 4, pp. 217-230.