

Οι έννοιες έργο και μαγνητικό πεδίο

Ανδρέας Βαλαδάκης (Βαρβάκειο Λύκειο)
Γιάννης Θάνος (υπεύθυνος ΕΚΦΕ Πειραιά)
Κώστας Καμπούρης (υπεύθυνος ΕΚΦΕ Χαλανδρίου)
Βαγγέλης Κολτσάκης (Καλλιτεχνικό Γυμνάσιο Θεσσαλονίκης)
Γιάννης Κυριακόπουλος (2^ο Λύκειο Αγίας Βαρβάρας)
Πάνος Μουρούζης (υπεύθυνος ΕΚΦΕ Κέρκυρας)
Γιώργος Μωραΐτης (5^ο Γυμνάσιο Καλλιθέας)
Μερκούρης Παναγιωτόπουλος (2^ο Λύκειο Χαλανδρίου)
Θοδωρής Πιερράτος (2ο Γενικό Λύκειο Εχιδάρου)
Σπύρος Σαμιακός (1^ο Λύκειο Νέου Ηράκλειου)
Γιώργος Φασουλόπουλος (5^ο Γυμνάσιο Καλλιθέας)
Συντονιστής : Ανδρέας Ιωάννου Κασσέτας (akasset@otenet.gr)

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εντάσσεται στην ευρύτερη συλλογική εργασία με θέμα «Διδάσκοντας Φυσική στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση». Η παρουσίαση της έννοιας έργο έχει ως αφετηρία τον χρυσό κανόνα της Μηχανικής. Η θεμελίωση αυτή μας επιτρέπει να προχωρήσουμε στην οικοδόμηση της έννοιας, συνδέοντας το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» με το «τι ξοδεύει» μια μηχανή ή ένας άνθρωπος και στη συνέχεια με την ενέργεια. Παράλληλα η έννοια έργο συμβάλλει στην οικοδόμηση των εννοιών κινητική ενέργεια και δυναμική ενέργεια. Στη βαθμίδα Λύκειο η διδασκαλία μας θα περιλάβει εμπλουτισμό των ορισμών, εισαγωγή νέων εννοιών όπως οι διατηρητικές δυνάμεις και το δυναμικό, κυρίως όμως θα εστιάσει στην ενοποίηση έργου και θερμότητας στο πλαίσιο της Θερμοδυναμικής. Στην παρουσίαση της έννοιας μαγνητικό πεδίο παρουσιάζονται επιλεγμένα στοιχεία από την ιστορική εξέλιξη της έννοιας με βάση τα οποία αρθρώνεται μία προσπάθεια οικοδόμησης της έννοιας, στη βάση ενός συνεχούς «διαλόγου» εμπειρίας και θεωρητικής σκέψης κατά τον οποίο αποδίδεται ο επιβαλλόμενος, κατά την άποψή μας, σεβασμός στα υλικά αντικείμενα. Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση μιας πρότασης για την – μέσα από διδασκαλία – οικοδόμηση της έννοιας μαγνητικό πεδίο στη βαθμίδα Λύκειο. Με την πρόταση αυτή, αποδίδεται έμφαση στο ότι η διδακτική διαδικασία οφείλει να εμπεριέχει μια σύνθεση εργαστηριακής πρακτικής και αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών.

Abstract

This work is anchored in the collective work on "Teaching Physics in Secondary Education. The construction of concepts". In the presentation of the concept of work the starting point is the "Golden Rule of Mechanics". This foundation allows us to move forward in the construction of the concept linking the product of "force and displacement" with the " what spends" a machine or a man and then with energy. Similarly, the concept of work contributes to the construction of the concepts of kinetic energy and potential energy. In Lyceum our teaching will include the enrichment of the definitions and the introducing of new concepts. Nevertheless, our main point of interest at this level should be the unification of work and heat in the realm of Thermodynamics. In the presentation of the concept of magnetic field the starting point is selected items from the historical evolution of the concept of magnetic field with which an attempt to "build" the concept is articulated, based on a continuous "dialogue" between experience and theoretical thought in which assigned the adequate, in our point of view, respect for the materials objects. The paper ends with the presentation of a proposal on the construction of the concept of magnetic field through teaching in Lyceum. In this proposal emphasis is given on the idea that the teaching process must involve a synthesis of laboratory practice and use of new technologies.



Η έννοια ΕΡΓΟ

Εμπειρία, ανθρώπινη σκέψη, κρίσιμες ιδέες, διαμόρφωση θεωριών
ΕΜΠΕΙΡΙΑ. **Η εμπειρία του πανάρχαιου μοχλού** (Holton 1985).

Ο χρυσός κανόνας της Μηχανικής. Όσο κερδίζουμε σε δύναμη χάνουμε σε δρόμο.

Η φύση δεν τσιγκουνεύεται τις δυνάμεις αλλά δείχνει φειδωλή στο εκάστοτε γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» το οποίο καμιά μηχανή δεν μπορεί να το μεγαλώσει (Κασσέτας 2000).

Η εμπειρία των μετρήσεων.

Οι μετρήσεις δείχνουν ότι το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» εμφανίζεται ανάλογο προς την ποσότητα καυσίμου που ξοδεύτηκε για τη μετατόπιση.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΚΕΨΗ. Μια λογική προέκταση της ανθρώπινης σκέψης είναι ότι το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση», μπορεί να θεωρηθεί ανάλογο προς κάτι που ξοδεύει ο εργαζόμενος για την πραγματοποίηση της μετατόπισης ως βάση για την αποτίμηση της ανθρώπινης σωματικής εργασίας, βάση για το «πόσο κουράζεται ο άνθρωπος». Για το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση», το 1829 ο Γάλλος Coriolis θα προτείνει τον όρο *travail*, στην αγγλική θα αποδοθεί με το *Work*, στη γερμανική *Arbeit*, στην ιταλική *lavoro*, στην ελληνική *έργο*.

ΙΔΕΕΣ. Η παλιά ιδέα. Καθώς ο άνθρωπος εργάζεται και μοχθεί υπάρχει κάτι που μεταβιβάζεται από το σώμα του στα αντικείμενα, υπάρχει ένα αόρατο κάτι το οποίο ο εργαζόμενος ξοδεύει.

Η κρίσιμη ιδέα. Το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» (Hewitt 1985) μπορεί να μετρήσει την ποσότητα του αόρατου κάτι που μεταβιβάζεται από τον ασκούντα τη δύναμη στο μετατοπιζόμενο αντικείμενο. Το «κάτι» είναι ενέργεια (Lemeignn & Weil-Barais 1993).

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΚΕΨΗ. Υπάρχουν δυνάμεις που δεν εργάζονται. Κάθε δύναμη κάθετη στην ταχύτητα του κινουμένου σώματος δεν μεταβιβάζει ενέργεια. Χρειάζεται να εμπλουτίσουμε τον ορισμό του έργου (Holton 1985).

Το έργο στη νευτωνική δυναμική.

α. Μεταβιβάζοντας ενέργεια μέσω έργου σε ένα υλικό σημείο η νευτωνική δυναμική δείχνει ότι η τιμή του είναι ίση με την αύξηση μιας ποσότητας αναφερόμενης στο κινούμενο υλικό σημείο (Arons 1990). Η ποσότητα αυτή είναι το μισό του γινομένου μάζα επί τετράγωνο της ταχύτητας.

β. Με κριτήριο το έργο μπορούμε να διακρίνουμε τις δυνάμεις σε διατηρητικές και μη διατηρητικές. Σε περίπτωση που η αλληλεπίδραση περιγράφεται με διατηρητικές δυνάμεις μπορεί να εισάγουμε και την έννοια δυναμική ενέργεια.

γ. Στην περίπτωση του έργου δύναμης πεδίου μπορεί να θεμελιωθεί και η έννοια διαφορά δυναμικού.

ΕΜΠΕΙΡΙΑ. Η εμπειρία των θερμικών μηχανών (Segre 1983). Οι θερμικές μηχανές επινοήθηκαν για να παίρνουμε από αυτές έργο. Το αέριο μεταβιβάζει ενέργεια στο πιστόνι με μηχανισμό έργου, σε περίπτωση θέρμανσης με σταθερή πίεση το έργο είναι ίσο με το γινόμενο πίεση επί μεταβολή όγκου.

Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΙΔΕΑ. Η εμπειρία της μηχανής του ατμού οδήγησε την ανθρώπινη σκέψη στην τολμηρή ιδέα ότι η θερμότητα είναι κάτι σαν το έργο. Η ιδέα μετασχηματίστηκε σε θεωρία αποδεκτή η οποία οδήγησε στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής (Arons 1990).

Η εξισου ΚΡΙΣΙΜΗ ΙΔΕΑ. Η εμπειρία της μηχανής του ατμού οδήγησε την ανθρώπινη σκέψη και στην επίσης τολμηρή ιδέα ότι το έργο είναι πολυτιμότερο από τη θερμότητα. Η ιδέα μετασχηματίστηκε σε θεωρία αποδεκτή η οποία οδήγησε στον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής.

Η -μέσα από τη διδασκαλία- οικοδόμηση της έννοιας ΕΡΓΟ

α. Στη βαθμίδα Γυμνάσιο

Το πρώτο βήμα . Δραστηριότητες με μοχλό . Ο μοχλός μας διδάσκει τον πανάρχαιο κανόνα - όσο κερδίζουμε σε δύναμη χάνουμε σε δρόμο.

Το δεύτερο βήμα Ο μετασχηματισμός του στο ότι «με μια μηχανή μπορούμε να αυξήσουμε μια δύναμη αλλά δεν μπορούμε να αυξήσουμε το γινόμενο *δύναμη επί μετατόπιση*»

Το τρίτο βήμα . Προσομοιώσεις . Νέες τεχνολογίες. Το γινόμενο δύναμη επί μετατόπιση είναι ανάλογο προς την ποσότητα καυσίμου που ξοδεύτηκε.

Το τέταρτο βήμα. Το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση», μπορεί να θεωρηθεί ανάλογο προς *κάτι* που ξοδεύει ο εργαζόμενος για την πραγματοποίηση της μετατόπισης, να θεωρηθεί βάση για το «πόσο κουράζεται ο άνθρωπος», να θεωρηθεί βάση για την αποτίμηση της ανθρώπινης σωματικής εργασίας,

Το πέμπτο βήμα

Η κρίσιμη ιδέα . Το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» συνιστά ποσότητα ενός αόρατου «κάτι» που μεταβιβάζεται από το σώμα του μοχθούντος στο μετατοπιζόμενο αντικείμενο. Το «κάτι» είναι ενέργεια . Το γινόμενο «δύναμη επί μετατόπιση» λέγεται *έργο*. Διδασκαλία με επιδίωξη να αντιμετωπιστεί η εννοιακή σύγχυση (Driver et.al. 1994) ανάμεσα στις έννοιες, *δύναμη* και *μεταβιβαζόμενη ενέργεια* και οι σχετικές εναλλακτικές ιδέες.

Το έκτο βήμα. Μεταβιβάζοντας ενέργεια μέσω έργου σε ένα υλικό σημείο υποστηρίζουμε ότι η τιμή του είναι ίση με την αύξηση μιας ποσότητας αναφερόμενης στο κινούμενο υλικό σημείο. Η ποσότητα αυτή είναι το μισό του γινομένου μάζα επί τετράγωνο της ταχύτητας.

Το έβδομο βήμα. Βασιζόμενοι στην έννοια *έργο του βάρους* εισάγουμε την έννοια (βαρυτική) δυναμική ενέργεια

Το όγδοο βήμα Η ενέργεια που μεταβιβάζεται σε έναν λαμπτήρα– η λεγόμενη και ηλεκτρική ενέργεια – είναι *έργο*, ηλεκτρικό έργο. Είναι ενέργεια μεταβιβαζόμενη από το υπόλοιπο κύκλωμα – ή από το δίκτυο- στον λαμπτήρα. Το ίδιο ισχύει για μεταβίβαση ενέργειας σε έναν κινητήρα.

β. Στη βαθμίδα Λύκειο

Το ένατο βήμα. Εμπλουτίζουμε τον ορισμό του έργου σταθερής δύναμης έτσι ώστε να συμπεριλάβουμε το εμπειρικό δεδομένο ότι υπάρχουν δυνάμεις που δεν μεταβιβάζουν ενέργεια. Έργο θετικό και έργο αρνητικό.

Το δέκατο βήμα Εμπλουτίζουμε τον ορισμό με υπολογισμό του έργου δύναμης με σταθερή διεύθυνση η τιμή της οποίας μεταβάλλεται βάσει γνωστής συνάρτησης με τη μετατόπιση.

Το ενδέκατο βήμα Η έννοια *έργο* στη νευτωνική δυναμική I.

Μεταβιβάζοντας ενέργεια μέσω έργου σε ένα υλικό σημείο, με βάση τη νευτωνική δυναμική αποδεικνύουμε ότι η τιμή του είναι ίση με την αύξηση μιας ποσότητας αναφερόμενης στο κινούμενο υλικό σημείο. Η ποσότητα αυτή λέγεται κινητική ενέργεια. .

Το δωδέκατο βήμα Η έννοια *έργο* στη νευτωνική δυναμική II.

Με κριτήριο το έργο μπορούμε να διακρίνουμε τις δυνάμεις σε διατηρητικές και μη διατηρητικές. Σε περίπτωση που η αλληλεπίδραση περιγράφεται με διατηρητικές δυνάμεις μπορούμε, βασιζόμενοι στο έργο, να εισάγουμε την έννοια *δυναμική ενέργεια συστήματος*, ως έννοια ικανή να περιγράφει τις διατηρητικές αλληλεπιδράσεις, όχι μόνο τη βαρυτική

Το δέκατο τρίτο βήμα Η έννοια *έργο* στην ηλεκτροστατική.

Το έργο δύναμης και η έννοια ηλεκτρικό πεδίο . Με βάση την έννοια *έργο δύναμης πεδίου* μπορεί να θεμελιωθεί και η έννοια *διαφορά δυναμικού*.

Το δέκατο τέταρτο βήμα. Η έννοια *έργο* στην ηλεκτροδυναμική.



Επανερχόμαστε στην διδαγμένη στο Γυμνάσιο θεώρηση ότι η ενέργεια που μεταβιβάζεται σε έναν λαμπτήρα από το υπόλοιπο κύκλωμα είναι **έργο**, ηλεκτρικό έργο. Το ίδιο ισχύει για μεταβίβαση ενέργειας σε έναν κινητήρα.

Το δέκατο πέμπτο βήμα. Η έννοια *έργο* στη Θερμοδυναμική I.

Η εμπειρία των θερμικών μηχανών. Οι θερμικές μηχανές επινοήθηκαν για να παίρνουμε από αυτές έργο. Το αέριο μεταβιβάζει ενέργεια στο πιστόνι με μηχανισμό έργου, σε περίπτωση θέρμανσης με σταθερή πίεση το έργο είναι ίσο με το γινόμενο πίεση επί μεταβολή όγκου.

Το δέκατο έκτο βήμα. Η έννοια *έργο* στη Θερμοδυναμική II.

Η εμπειρία των θερμικών μηχανών. Η ιδέα ότι η θερμότητα είναι κάτι σαν το έργο. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής.

Το δέκατο έβδομο βήμα. Η έννοια *έργο* στη Θερμοδυναμική III.

Η ιδέα ότι το έργο και η θερμότητα είναι μεν μηχανισμοί μεταβίβασης ενέργειας αλλά το έργο είναι πολυτιμότερο από τη θερμότητα. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής.

Η έννοια ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Η πρόταση για την μέσω διδασκαλίας οικοδόμηση της έννοιας *μαγνητικό πεδίο* σχετίζεται με συγκεκριμένη άποψη για τον ρόλο της Ιστορίας των Επιστημών. Σύμφωνα με αυτή «χρειάζεται να σκάψουμε στο έδαφος της Ιστορίας των Επιστημών με σκοπό να εξορύξουμε υλικό το οποίο θα εκμεταλλευθούμε μετατρέποντάς το σε υλικό οικοδόμησης διδακτικών καινοτομιών. Η μελέτη του υλικού αυτού θα μας βοηθήσει να διακρίνουμε τις ειδικές νοησιακές διεργασίες που οδήγησαν στη συγκρότηση επιστημονικών γνώσεων, διεργασίες που -σε ορισμένες περιπτώσεις- εμφανίζουν ομοιότητες με αυτές που συντελούνται μέσα στη σκέψη των νεαρών μαθητών μας» (Κασσέτας 2004).

Εάν δηλαδή θέλουμε να προχωρήσουμε σε ριζική αναδιάρθρωση των Προγραμμάτων Σπουδών και των μεθόδων διδασκαλίας τα βασικά μας καθήκοντα είναι δύο και σχετίζονται –μεταφορικά- με δύο συγκεκριμένα «ορυχεία».

Το πρώτο είναι να ενδιαφερθούμε για το «μέσα Σύμπαν» των νεαρών μαθητών μας, αναζητώντας το σχετικό «ορυχείο», ώστε να μελετήσουμε τις εναλλακτικές ιδέες τους και τα νοησιακά μοντέλα που χρησιμοποιούν και να αντλήσουμε διδακτικό υλικό.

Το δεύτερο είναι να σκάψουμε στο έδαφος της Ιστορίας των Επιστημών και να αναζητήσουμε μετάλλευμα για να το μετατρέψουμε σε υλικό διδασκαλίας.

Η έννοια *πεδίο* δεν σχετίζεται με βιωματική αισθητηριακή εμπειρία, όπως συμβαίνει με τις έννοιες πίεση, θερμοκρασία, μάζα, δύναμη, χρώμα, θερμότητα. Κατάγεται από εργαστηριακή εμπειρία η οποία συνδυάστηκε με την οξυδέρκεια του Michael Faraday, και έδωσε μια από τις πιο γόνιμες ιδέες στην εξέλιξη της Φυσικής.

Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ Μαγνήτης, Faraday και σιδηρορινίσματα.

Στον πάγκο του εργαστηρίου ο ραβδομαγνήτης με ένα χαρτονάκι πάνω του που τον σκεπάζει. Ρίχνει με τυχαίο τρόπο πάνω στο χαρτόνι σιδηρορινίσματα από την ειδική «αλατιέρα» που τα περιέχει. Αυτά πέφτουν και διατάσσονται σε έναν συγκεκριμένο σχηματισμό, δημιουργούν έτσι μια εικόνα. Μαζεύει τα ρινίσματα και κάνει το ίδιο, ρίχνει δηλαδή και πάλι ρινίσματα με τυχαίο τρόπο. Η προηγούμενη εικόνα επανέρχεται. Όσες φορές κι αν επαναλάβει το εγχείρημα τα ρινίσματα θα διατάσσονται σε ορισμένες πάντοτε θέσεις, θα «ξαπλώνουν» σε καμπύλες γραμμές. Η φαντασία του τον οδηγεί στο «να δει» αόρατες γραμμές (Arons 1990) να διασχίζουν τον χώρο γύρω από τον σκεπασμένο μαγνήτη.

Η ΣΚΕΨΗ. Θεωρεί ότι όλα συμβαίνουν λες και ο χώρος γύρω από τον μαγνήτη «έχει» ειδικές καμπύλες γραμμές, «δυναμικές γραμμές» δικές του πάνω στις οποίες θα ξαπλώνουν

πάντα τα ρινίσματα σιδήρου. Απομακρύνει τον μαγνήτη και ο σχηματισμός καταστρέφεται ενώ διαπιστώνει ότι τα επόμενα ρινίσματα ξαπλώνουν όπου νάναι. Η σκέψη λέει ότι η παρουσία του μαγνήτη δημιουργεί μια ιδιαίτερη δομή στον χώρο (Κασσέτας 2000) τον κάνει μαγνητικό πεδίο ενώ αν ο μαγνήτης δεν είναι παρών, ο χώρος είναι ένας γεωμετρικός χώρος τριών διαστάσεων με την ίδια ποσότητα αέρα αλλά χωρίς τις παράξενες δυναμικές γραμμές.

Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ Διατηρώντας τον ραβδομαγνήτη χρησιμοποιεί, εκτός από ρινίσματα, και μικρές μαγνητικές βελόνες τις οποίες έχει κατασκευάσει. Τις αφήνει να εκφραστούν ελεύθερα κι εκείνες ταλαντώνονται μέχρις ότου καθεμιά από αυτές αναπαυθεί όχι όπου νάναι αλλά πάνω σε μία δυναμική γραμμή του μαγνητικού πεδίου.

Η ΣΚΕΨΗ. Ο σημαντικότερος βιογράφος του, ο John Tyndall, μας λέει (Gillispie 1980) ότι *το βλέμμα του νου του μετακινήθηκε από τον μικρό μαγνήτη του εργαστηρίου προς τον πλανήτη Γη, τον οποίο αντίκρισε ως ένα μεγάλο μαγνήτη με δυναμικές γραμμές να διατρέχουν την ατμόσφαιρα και τις θάλασσες.* Θα υποστηρίξει ότι η υφίσταται γήινο μαγνητικό πεδίο στις δυναμικές γραμμές του οποίου ξαπλώνουν οι ανθρώπινες μαγνητικές βελόνες

Το μαγνητικό πεδίο είναι χώρος όπου ασκούνται δυνάμεις σε επισκέπτες μαγνήτες. Δημιουργείται από μαγνήτες και περιγράφεται με δυναμικές γραμμές.

Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ. Στον πάγκο του εργαστηρίου ένας κατακόρυφο καλώδιο, ένα οριζόντιο χαρτονάκι και σιδηρορινίσματα. Αν το καλώδιο ρευματοδοτηθεί τα ρινίσματα «ξαπλώνουν» πάνω σε αόρατες δυναμικές γραμμές (Holton 1985). Αν το καλώδιο τυλιχτεί ώστε να δημιουργηθούν σπείρες το φαινόμενο εκδηλώνεται πολύ πιο έντονα. Σε μια τέτοια περίπτωση φαίνεται να επιδρά όχι μόνο σε μικρές μαγνητικές βελόνες και σε σιδηρορινίσματα αλλά και σε ένα άλλο ρευματοφόρο αγωγό.

Η ΣΚΕΨΗ. Μαγνητικό πεδίο δεν δημιουργείται μόνο από μαγνήτη. Πηγή του μπορεί να είναι και ένας ρευματοφόρος αγωγός και στην καλύτερη περίπτωση ένα ρευματοφόρο πηνίο.

Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ. Σε έναν μεγάλο πεταλοειδή μαγνήτη πλησιάζουμε έναν ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό. Αν ο αγωγός ρευματοδοτηθεί εμφανίζεται να ασκείται σε αυτόν δύναμη με τιμή που γίνεται μέγιστη εάν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές. Η έρευνα στην τιμή της δύναμης οδηγεί τη θεωρητική σκέψη να οικοδομήσει μια έννοια με την οποία περιγράφεται και ποσοτικά το «πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο». Με την ίδια έννοια μπορεί να προβλεφθεί και η κατεύθυνση της δύναμης σε επισκέπτη ρευματοφόρο αγωγό. Η έννοια είναι η ένταση μαγνητικού πεδίου. Μπορούμε να επιτύχουμε το ίδιο εάν αντί για πεταλοειδή μαγνήτη χρησιμοποιήσουμε και ρευματοφόρο πηνίο.

Η ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΚΕΨΗ. Η θεωρητική σκέψη εμπλουτίζει την αρχική πρόταση για την έννοια *μαγνητικό πεδίο*. Την **ορίζει** ως χώρο όπου ασκούνται δυνάμεις είτε σε «επισκέπτες» μαγνήτες είτε σε «επισκέπτες» ρευματοφόρους αγωγούς. **Δημιουργείται** είτε από μαγνήτη είτε από ρευματοφόρο αγωγό. **Περιγράφεται** με την γεωμετρική έννοια *δυναμικές γραμμές* (Segre 1983) και με την έννοια *ένταση μαγνητικού πεδίου*

Η ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΚΕΨΗ. Από τη στιγμή που το ηλεκτρικό ρεύμα θεωρήθηκε κατευθυνόμενη κίνηση σωματιδίων με ηλεκτρικό φορτίο η σκέψη των φυσικών οδηγήθηκε στο να ερευνήσουν εάν τα μαγνητικό πεδίο δρα σε μεμονωμένο κινούμενο σωματίδιο με ηλεκτρικό φορτίο.

Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ. Από τη στιγμή που επινοήθηκε τρόπος να εικονοποιείται η τροχιά κινουμένων σωματιδίων, η έρευνα έδειξε ότι το μαγνητικό πεδίο δρα σε κινούμενα σωματίδια με ηλεκτρικό φορτίο. Η τιμή της σχετικής δύναμης θα οδηγήσει σε έναν νέο ορισμό της έννοιας *ένταση μαγνητικού πεδίου*

Η ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΚΕΨΗ. Το μαγνητικό πεδίο ορίζεται ως χώρος όπου ασκούνται δυνάμεις σε επισκέπτες μαγνήτες, ρευματοφόρους αγωγούς, κινούμενα σωματίδια με ηλεκτρικό φορτίο. Η θεωρητική σκέψη αναζητώντας το κοινό στοιχείο στα τρία είδη επισκεπτών θα



καταλήξει ότι σε όλες τις περιπτώσεις ο κοινός παρονομαστής είναι σωματίδια με ηλεκτρικό φορτίο ευρισκόμενα σε κίνηση.

Οι συνέπειες

19^{ος} αιώνας. 1. Η έννοια *μαγνητικό πεδίο* θα παίξει ρόλο πρωταγωνιστή στην περιγραφή, την ερμηνεία και την διατύπωση νόμων του φαινομένου *ηλεκτρομαγνητική επαγωγή*, της μεγαλύτερης επιστημονικής ανακάλυψης του πρώτου μισού του 19^{ου} αιώνα

2. Η έννοια *μαγνητικό πεδίο* σε συνδυασμό με την έννοια *ηλεκτρικό πεδίο* θα οδηγήσει τη σκέψη του Maxwell στο να προβλέψει θεωρητικά την οντότητα *ηλεκτρομαγνητικό πεδίο* η οποία σύμφωνα με την πρόβλεψη θα διαδίδεται με μηχανισμό κύματος. Λίγα χρόνια χρόνια αργότερα η «προφητεία» του Maxwell θα γίνει πραγματικότητα και η οντότητα *ηλεκτρομαγνητικό κύμα* θα φέρει απρόβλεπτες ανατροπές στα θεμέλια του πολιτισμού

20^{ος} αιώνας. Το μαγνητικό πεδίο θα αποτελέσει ένα από τα σημαντικότερα εργαστηριακά «μέσα» για την έρευνα των στοιχειωδών σωματιδίων.

H - μέσα από τη διδασκαλία – οικοδόμηση της έννοιας μαγνητικό πεδίο

Το πρώτο βήμα (Knight 2004) Εργαστηριακή δραστηριότητα με αντικείμενα μαγνήτη, μαγνητικές βελόνες και σιδηρορινίσματα. Τα φαινόμενα *αλληλεπίδραση του μαγνήτη με τη βελόνα* και *αλληλεπίδραση του μαγνήτη με τα ρινίσματα*. Εστίαση στα αντικείμενα. Η μαγνητική βελόνα είναι μαγνήτης με σχετικά μικρή αδράνεια, σε ειδική κατασκευή ώστε να αγνοεί τη δράση του πεδίου βαρύτητας και να είναι ασήμαντη η παρουσία των τριβών. Τα σιδηρορινίσματα είναι αντικείμενα με μικρή αδράνεια, δεν είναι μαγνήτες αλλά με την εμφάνισή τους στο μαγνητικό πεδίο γίνονται μαγνήτες, μαγνητίζονται.

Το δεύτερο βήμα Καθοδήγηση προς το να διακρίνουν οι διδασκόμενοι τις άορατες γραμμές στις οποίες ξαπλώνουν τα ρινίσματα. Η έννοια *δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου* ως μέσο για την περιγραφή του.

Το τρίτο βήμα. Το φαινόμενο αλληλεπίδραση δύο μαγνητών.

Η περιγραφή του **α.** ως δράση του ενός μαγνήτη στον άλλο

β. με βάση την έννοια *μαγνητικό πεδίο*.

Το τέταρτο βήμα. Διατύπωση των τριών βασικών ερωτημάτων

«Τι λέγεται μαγνητικό πεδίο ; » «Πώς δημιουργείται;» και «Πώς περιγράφεται ;» Οι πρώτες απαντήσεις στα τρία ερωτήματα. Εστίαση στη διάκριση των *αντικειμένων πηγή μαγνητικού πεδίου* και *«επισκέπτης»*.

Το πέμπτο βήμα. Εργαστηριακές δραστηριότητες με ρευματοφόρους αγωγούς σιδηρορινίσματα και μαγνητικές βελόνες. Αρχικά με ευθύγραμμους αγωγούς στη συνέχεια με πηνία. Η μαγνητική βελόνα ένας εξαιρετικός ανιχνευτής μαγνητικού πεδίου. Καθοδήγηση προς το να διακρίνουν οι διδασκόμενοι τις δυναμικές γραμμές ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού και ρευματοφόρου πηνίου.

Τα περισσότερα από τα βήματα για την οικοδόμηση της έννοιας προτείνουμε να βασίζονται σε συνδυασμό πειραμάτων στο σχολικό εργαστήριο και αξιοποίησης νέων τεχνολογιών.

Σύμφωνα με τον Randal D.Knight (2004) ακόμα και οι επιδείξεις πειραμάτων μαγνητισμού είναι ιδιαίτερα διδακτικές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σκιαγραφηθούν με αποτελεσματικό τρόπο πολλές από τις βασικές ιδέες του Μαγνητισμού.

Το έκτο βήμα. Εμπλουτισμός της απάντησης στο ερώτημα « πώς δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο;» με την εισαγωγή του αντικειμένου-πηγή *«ρευματοφόρος αγωγός»*. Το μαγνητικό πεδίο με πηγή το ρευματοφόρο πηνίο συγκριτικά ισχυρότερο από το μαγνητικό πεδίο με πηγή τον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό.

Το έβδομο βήμα. Εργαστηριακές δραστηριότητες με πεταλοειδές πηνίο και ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό. Καθοδήγηση στο να διακρίνουν οι διδασκόμενοι τη γεωμετρία της

σχετικής δύναμης Λαπλάς. Το ερώτημα για την τιμή της δύναμης Λαπλάς και η απάντησή του.

Χρήση νέων τεχνολογιών για την παρουσίαση της – σε τρεις διαστάσεις - δράσης της δύναμης Λαπλάς . Παρουσίαση και ορισμός της έννοιας *ένταση μαγνητικού πεδίου*. Η μονάδα ένα τέσλα.

Το έβδομο βήμα. Εμπλουτισμός της απάντησης στο ερώτημα « τι λέγεται μαγνητικό πεδίο ;» με την αποσαφήνιση ότι «επισκέπτης» θα μπορούσε να είναι όχι μόνο ο μαγνήτης αλλά και ένα ρευματοφόρο καλώδιο.

Εμπλουτισμός της απάντησης στο ερώτημα «πώς περιγράφεται ένα μαγνητικό πεδίο» με την προσθήκη της έννοιας *ένταση μαγνητικού πεδίου*

Το όγδοο βήμα. Η θεωρία για το τι είναι ηλεκτρικό ρεύμα. Το σωματίδιο ηλεκτρόνιο. Αναφορά σε πρωτόνια και σε ιόντα. Η δράση του μαγνητικού πεδίου σε κινούμενο σωματίδιο με ηλεκτρικό φορτίο. **Χρήση νέων τεχνολογιών.** Το ερώτημα για την τιμή και την κατεύθυνση της ασκούμενης δύναμης. Η εξίσωση Λόρεντζ. Επαναδιατύπωση του ορισμού της έννοιας *ένταση μαγνητικού πεδίου*

Το ένατο βήμα. Εμπλουτισμός της απάντησης στο αρχικό ερώτημα « τι λέγεται μαγνητικό πεδίο ;» με την αποσαφήνιση ότι «επισκέπτης» θα μπορούσε να είναι ο μαγνήτης, το ρευματοφόρο καλώδιο είτε ένα κινούμενο σωματίδιο με ηλεκτρικό φορτίο. Το κοινό στοιχείο ανάμεσα στις τρεις μορφές του επισκέπτη (Feynman 1964).

Το δέκατο βήμα. Το μαγνητικό πεδίο ως βασικό εργαλείο για την έρευνα των σωματιδίων στον 20^ο αιώνα. Πώς μετρήθηκε η μάζα του πρωτονίου; Πώς οδηγήθηκαν οι φυσικοί στη θεώρηση ότι υπάρχουν ισότοπα ;

Η έννοια *μαγνητικό πεδίο* προτείνεται να διδάσκεται μόνο στο Λύκειο

Βιβλιογραφία

Κασσέτας, Ι., Α. (2000). Το μακρόν Φυσική προ του βραχέος διδάσκω. Έκδοση Β', Εκδόσεις Σαββάλα, Αθήνα.

Κασσέτας, Ι., Α. (2004). Ορυχείο δύο. Πρακτικά από το 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Συμβολή της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών .

Arons, A. (1990). A guide to introductory physics teaching, John Willey and Sons. Στην ελληνική μετάφραση Ανδρέα Βαλαδάκη, Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής, εκδ. Τροχαλία, 1992.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). Making sense of secondary science. Routledge, London and New York.

Feynman, R. (1964). The Feynman Lectures on Physics, Volume II. Addison-Wesley, USA.

Gillispie, C., C. (1980). The Edge of Objectivity. Σε ελληνική μετάφραση του Δημοσθένη Κούρτοβικ , Στην κόψη της αλήθειας, εκδ. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.

Hewitt, G., P. (1985). Conceptual Physics. Little, Brown and Company Boston Toronto.

Holton, G. (1985). Introduction to Concepts and Theories in Physical Science. Princeton University Press, USA.

Knight, D., R., (2007). Five Easy Lessons. Σε ελληνική μετάφραση Παύλου Τζαμαλή, - Πέντε εύκολα μαθήματα - 2006, εκδ. Δίαυλος.

Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). Σε ελληνική μετάφραση Νίκου Δαπόντε – Αγγελικής Δημητρακοπούλου, Η οικοδόμηση των εννοιών στη Φυσική εκδ. Τυπωθήτω, 1997.

Segré, E., (1983). Personaggi e scoperte della fisica classica σε ελληνική μετάφραση Κωνσταντίνος Μεργιά – Ιστορία της Φυσικής, τόμος Α' - εκδ. Δίαυλος, 1997.