

**"Ο Νόμος του Αντιστρόφου Τετραγώνου"
στο ΟΛΟκληρωμένο ΤΕΧΝΟλογικά και Μεθοδολογικά
Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών**

Σαράντος Οικονομίδης, Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης
*Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αθηνών*
seconom@primedu.uoa.gr, kalkanis@primedu.uoa.gr

Περίληψη. Το έναυσμα για την εργασία αυτή αποτέλεσε το παρακάτω ερώτημα: Είναι δυνατόν μέσα από εργαστηριακές δραστηριότητες να αναδειχθεί η ενοποιητική και η μη αποσπασματική περιγραφή διαφόρων φυσικών φαινομένων; Σημειακές πηγές βαρυτικών δυνάμεων, ηλεκτρικών πεδίων, φωτός, ήχου ή ακτινοβολίας υπακούν στο νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Αυτός ο καθαρά γεωμετρικός νόμος μας δίνει τη δυνατότητα μιας ενοποιητικής και μη αποσπασματικής εκπαιδευτικής προσέγγισης διαφόρων θεματικών ενοτήτων σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης.. Η προσέγγιση που περιγράφεται εδώ εφαρμόστηκε πιλοτικά σε 15 τριτοετείς φοιτητές/τριες του Π.Τ.Δ.Ε. του πανεπιστημίου Αθηνών. Αρχικά υπήρξε μια προεργαστηριακή δραστηριότητα με σκοπό την εξοικείωση των φοιτητών/τριων με τον εξοπλισμό και το λογισμικό διαχείρισης των αισθητήρων. Οι φοιτητές/τριες είχαν επίσης διδαχθεί στο δεύτερο έτος των σπουδών τους τα αντίστοιχα θέματα από τα ηλεκτρομαγνητικά τα οπτικά και τα πυρηνικά φαινόμενα. Η δραστηριότητες των φοιτητών στο εργαστήριο υποστηρίχθηκαν από λογισμικό πολύμορφης επικοινωνίας δημιουργημένο με ένα εργαλείο δημιουργίας ιστοσελίδων και δομημένο με βάση το ερευνητικά εξελισσόμενο διδακτικό πρότυπο.

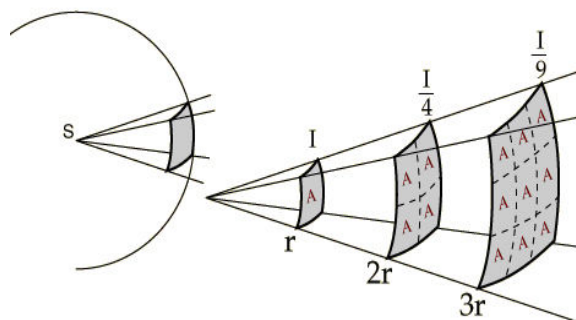
Εισαγωγή

Η ένταση της επίδρασης μιας σημειακής πηγής S , χωρίς όριο στην εμβέλειά της η οποία επιδρά ισοδύναμα σε όλες τις κατευθύνσεις σε κάθε δεδομένη απόσταση r είναι ίση με το πηλίκο της ισχύος της πηγής S προς την επιφάνεια νοητής σφαίρας ακτίνας r .

Στην εικόνα 1, I είναι η ένταση της πηγής S σε απόσταση r , που αντιστοιχεί σε επιφάνεια εμβαδού A . Σε διπλάσια απόσταση $2r$ το ίδιο ποσό ενέργειας "απλώνεται" σε τετραπλάσια ($4A$) επιφάνεια, οπότε η ένταση υποτετραπλασιάζεται κ.ο.κ. είναι δηλαδή, αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης.

Στην εργασία αυτή προτείνονται τόσο δραστηριότητες με απλά υλικά όσο και με τη χρήση αισθητήρων σε διασύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Οι φοιτητές εργάστηκαν σε ομάδες των τριών ατόμων ανά ομάδα. Θεωρούμε πολύ σημαντική τη δραστηριότητα που επιλέξαμε ως έναυσμα του ενδιαφέροντος διότι όχι μόνο αναδεικνύει το γεωμετρικό χαρακτήρα του νόμου αλλά οδηγεί σε γόνιμη συζήτηση, διατύπωση νέων υποθέσεων, δοκιμών, ερμηνειών και προβλέψεων.



Μέσα από το περιβάλλον του ΟΛΟΤΕΧΝΟΥ, το εκπαιδευτικό υλικό που έχει ελεγχθεί η αξιοπιστία του, μπορεί και να χρησιμοποιείται ανεμπόδιστα, ενώ δίνεται η δυνατότητα χρησιμοποίησης εξωτερικών προγραμμάτων για την καταγραφή των δραστηριοτήτων των μαθητών σε μορφή κειμένου, σχεδίων – απεικονίσεων, ηχογραφήσεων και βιντεοσκοπήσεων που πραγματοποιούν στα πλαίσια του μαθήματος. Μέσα από το ΟΛΟΤΕΧΝΟ γίνεται η άμεση έναρξη των προγραμμάτων λήψης, καταγραφής και απεικόνισης των πειραματικών δεδομένων που χρησιμοποιούμε.

Σύμφωνα με τον Domin 1999 περιγράφονται τέσσερις μορφές εργαστηριακής διδασκαλίας και πρακτικής όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 1.

Πίνακας 1.

Μορφή	Έκβαση	Προσέγγιση	Διαδικασία
Ερμηνευτικό	Προκαθορισμένη	Παραγωγική	Δεδομένη
Ερευνητικό	Μη Προκαθορισμένη	Επαγωγική	Παράγεται από τους φοιτητές
Ανακαλυπτικό	Προκαθορισμένη	Επαγωγική	Δεδομένη
Επίλυσης προβλημάτων	Προκαθορισμένη	Παραγωγική	Παράγεται από τους φοιτητές

Στην περίπτωση αυτή το εργαστήριο ήταν ερμηνευτικό στο πρώτο πείραμα, και ανακαλυπτικό στο δεύτερο και το τρίτο. Είχε όμως και ένα χαρακτήρα επίλυσης προβλήματος.

Εκπαιδευτική Μεθοδολογία

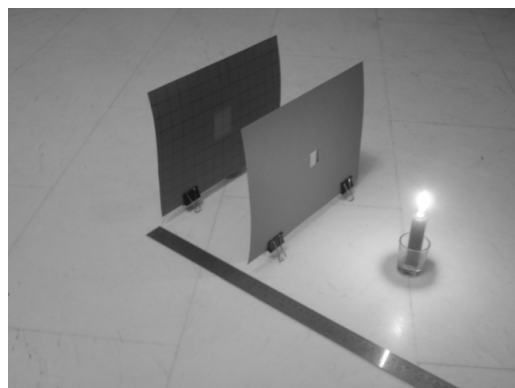
Ως εκπαιδευτική μεθοδολογία για τις εκπαιδευτικές δράσεις που επιχειρούνται στα πλαίσια αυτής της εργασίας προτείνουμε το ερευνητικά εξελισσόμενο εκπαιδευτικό πρότυπο (ή μοντέλο).

Αυτή η μεθοδολογία βασίζεται στην ιστορικά καταξιωμένη ερευνητική ή επιστημονική μεθοδολογία που απετέλεσε -και αποτελεί- το εργαλείο του ανθρώπου / ερευνητή / επιστήμονα για τη γνωριμία, την περιγραφή και την κατανόηση του φυσικού μας κόσμου. Αυτή είναι δυνατό να εξοικειώσει και να ασκήσει το μαθητή στις διαδικασίες της επιστήμης.

Σε αδρές γραμμές τα βήματα της επιστημονικής μεθοδολογίας είναι:

- Έναυσμα ενδιαφέροντος
- Διατύπωση υποθέσεων
- Πειραματισμός
- Διατύπωση θεωρίας / συμπερασμάτων
- Συνεχής έλεγχος (επιβεβαίωση ή διάψευση) / Γενίκευση

Για έναυσμα ενδιαφέροντος επιλέξαμε την παρακάτω δραστηριότητα.



Εικόνα 2: Το έναυσμα

Πέτασμα χωρισμένο σε τετραγωνάκια, στηρίγματα-συνδετήρες, χάρακας, κερί, χαρτόνι με τετραγωνική οπή ίσου εμβαδού με καθένα από τα τετράγωνα του πετάσματος.

Στην εικόνα 2 φαίνεται μία πηγή φωτός (κόκκινο κερί) σε μία απόσταση (που τη μετράμε με το μεταλλικό χάρακα) από ένα μπλε χαρτόνι με τετραγωνική οπή και πίσω του ακριβώς σε κάποια απόσταση ένα δεύτερο χαρτόνι.

Για διατύπωση υποθέσεων θέτουμε τα παρακάτω ερωτήματα:

Όταν η απόσταση κεριού-οπής είναι ίση με την απόσταση οπής-πετάσματος πόσα τετραγωνάκια φωτίζονται;

Κρατώντας σταθερή την απόσταση κεριού οπής, τι νομίζετε ότι θα συμβεί στη φωτιζόμενη επιφάνεια του πετάσματος αν διπλασιάσουμε την απόσταση οπής – πετάσματος;

Πώς μεταβάλλεται με την απόσταση η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας;

Για τη δραστηριότητα με τα χαρτόνια το κερί και τον κανόνα.

Σκοπός: Οι μαθητές ελέγχουν τις υποθέσεις τους.

Γίνεται συζήτηση και εξηγείται ο νόμος και η γεωμετρική του προέλευση.

Για πειραματισμό προτείνονται τρία πειράματα εκτός της δραστηριότητας που χρησίμευσε και ως έναυσμα. Το πρώτο συμπεριλαμβάνει την κατασκευή ενός απλού φωτόμετρου, το δεύτερο με χρήση αισθητήρα φωτός και αισθητήρα θέσης και το τρίτο με χρήση μετρητή Geiger Muller.

Πείραμα 1 : Κατασκευή φωτόμετρου παραφίνης– Επαλήθευση του νόμου για το φως.

Σκοπός: Να κατασκευάσουν οι μαθητές ένα φωτόμετρο και να επαληθεύσουν τη σχέση μεταξύ της έντασης του φωτός και της απόστασης.

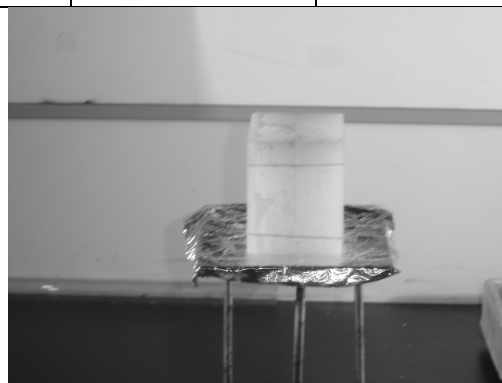
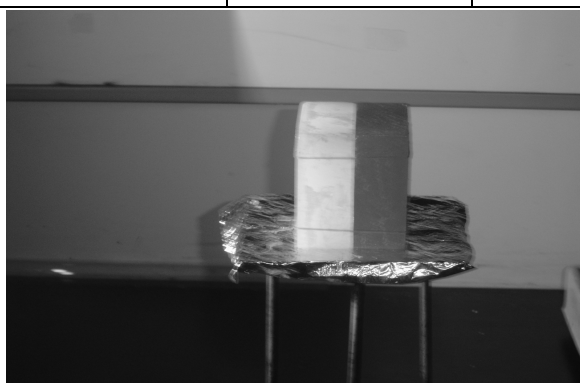
Υλικά: 2 κομμάτια του κεριού παραφίνης, χάρακας, δύο όμοια φωτιστικά, τέσσερις λαμπτήρες, 2 λαστιχάκια, φύλλο αλουμινίου

Διαδικασία:

1. Τοποθετούμε το φύλλο αλουμινίου μεταξύ των δύο κομματιών του κεριού παραφίνης.
2. Τοποθετούμε τα δύο φωτιστικά έτσι ώστε να απέχουν μεταξύ τους 1m.
3. Και τα δύο φωτιστικά έχουν λαμπτήρες των 100W. Κλείνουμε όλα τα άλλα φώτα και τοποθετούμε το φωτόμετρο μεταξύ των δύο φωτιστικών έτσι ώστε τα δύο κομμάτια κεριού να έχουν την ίδια φωτεινότητα.
4. Συμπληρώνουμε τον πίνακα δεδομένων.
5. Αντικαθιστούμε τον ένα λαμπτήρα των 100W με έναν των 75W και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 και 3.
6. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 και 3 και με άλλους συνδυασμούς λαμπτήρων και συμπληρώνουμε τον πίνακα δεδομένων 2.

Πίνακας 2.

Λαμπτήρες 1 και 2 σε Watt	Αναλογία της ισχύς του λαμπτήρα 1:2	Απόσταση του λαμπτήρα 1 από το κέντρο του φωτόμετρου (cm)	Απόσταση του λαμπτήρα 2 από το κέντρο του φωτόμετρου (cm)	Αναλογία των αποστάσεων του λαμπτήρα 1:2
100,100	1:1			
75,100	3:4			



Εικόνα 3: Η εκτέλεση του πειράματος

$I = k / r^2$ όπου k μια σταθερά που εξαρτάται από την πηγή και είναι ανάλογη της ισχύος της. Εάν πάρουμε την περίπτωση των λαμπτήρων 75W, 100W έχουμε μια αναλογία $\frac{3}{4}$ ως προς τις ισχύς τους. Από τα δεδομένα του πειράματος μας προκύπτει ότι οι εντάσεις είναι ίσες σε αποστάσεις $r_1=46$ cm και $r_2=54$ cm από τις πηγές 1 και 2 αντίστοιχα έτσι:

$$I = k / (r_1)^2$$

$$I = k' / (r_2)^2 \Rightarrow k / (r_1)^2 = k' / (r_2)^2 \Rightarrow (r_1 / r_2)^2 = 3/4$$

$$k = 3/4 k'$$

$$(r_1 / r_2)^2 = (46/54)^2 = 0,73 \sim 3/4$$

Ομοίως για τις επόμενες δύο περιπτώσεις

$$(r_1 / r_2)^2 = (39/61)^2 = 0,41 \sim 2/5 \quad (r_1 / r_2)^2 = (43/57)^2 = 0,57 \sim 8/15$$

Επαληθεύεται έτσι ο νόμος.

Πείραμα 2: Νόμος αντιστρόφου τετραγώνου για την ένταση του φωτός με χρήση αισθητήρων

Σκοπός: Να βρεθεί η σχέση μεταξύ της έντασης του φωτός και της απόστασης

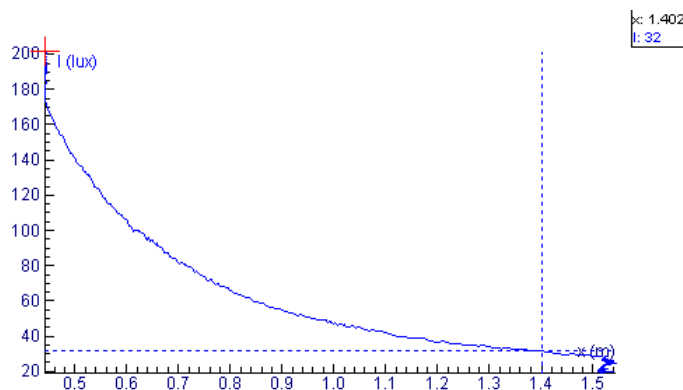
Υλικά: Ηλεκτρονικός υπολογιστής, πρόγραμμα coach 5, κονσόλα, αισθητήρας φωτός, αισθητήρας θέσης, λαμπτήρας.

Διαδικασία:

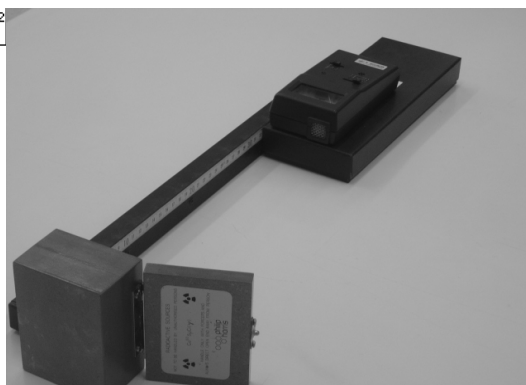
1. Κατασκευάζουμε την διάταξη τοποθετώντας τους αισθητήρες όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα 4.
2. Ενεργοποιήστε το πρόγραμμα coach 5, καθορίστε τους αισθητήρες και ζητήστε από το πρόγραμμα πίνακα μετρήσεων και γραφική παράσταση της έντασης του φωτός με την απόσταση (εικόνα 5).
3. Αφού τοποθετήσετε τον λαμπτήρα σε απόσταση περίπου 2m από τους αισθητήρες, μετακινήστε τον με σταθερή ταχύτητα προς αυτούς.
4. Ταυτόχρονα με τη μετακίνηση του λαμπτήρα δημιουργείται το διάγραμμα της έντασης σε σχέση με την απόσταση όπως φαίνεται παρακάτω. Επίσης καταγράφονται σε πίνακα τιμών όλα τα ζεύγη των τιμών έντασης- απόστασης.
5. Από την επεξεργασία των τιμών εξάγεται ο νόμος.



Εικόνα 4: Οι αισθητήρες



Εικόνα 5: Το διάγραμμα



Εικόνα 6: Το τρίτο πείραμα

Πείραμα 3: Νόμος αντιστρόφου τετραγώνου με ραδιενεργό πηγή. Χρήση μετρητή Geiger-Miller.

Σκοπός: Να διαπιστωθεί η ισχύς του νόμου και στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας γ που εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες.

Υλικά: Ραδιενεργό Κοβάλτιο ^{60}Co 5 μCi , Ανιχνευτής Geiger Muller, Μετροταινία ή κανόνας.

Διαδικασία:

- 1) Καταγράφουμε τον αριθμό των κρούσεων που δίνει ο απαριθμητής, για διάρκεια 2 λεπτών.
- 2) Επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση τέσσερις φορές και βρίσκουμε τη μέση τιμή σε κρούσεις ανά λεπτό.
- 3) Περιστρέφουμε τον σωλήνα του ανιχνευτή κατά 90° και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία των βημάτων 2 και 3.
- 4) Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που πήραμε για τους δύο προσανατολισμούς του απαριθμητή. Αυτή είναι η ραδιενέργεια (ενεργότητα) υποβάθρου (Κρούσεις σε κάθε λεπτό).
- 5) Τοποθετούμε τον ανιχνευτή 8cm από την πηγή
- 6) Σημειώνουμε τις κρούσεις σε κάθε λεπτό.
- 7) Επαναλαμβάνουμε σε απόσταση 16cm, 24cm, 32cm το βήμα 3.

Με χρήση μετρητή Geiger-Miller πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ακτινοβολίας υποβάθρου για χρονικό διάστημα 2min σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις. Έγιναν πέντε (5) διαφορετικές μετρήσεις για κάθε διεύθυνση.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η ραδιενεργή πηγή ^{60}Co 5 μCi και ελήφθησαν πέντε (5) μετρήσεις για χρονικό διάστημα 2min σε τρεις (3) διαφορετικές αποστάσεις 10cm, 20cm, 40cm. Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν σε ικανοποιητικό βαθμό (στα όρια αποδεκτού σφάλματος) το νόμο αντιστρόφου τετραγώνου.

Συμπεράσματα

Η ένταση του φωτός μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή της ακτινοβολίας και ακολουθεί τον νόμο $I = k/r^2$.

Γενικεύσεις

Γενικεύσεις που θα μπορούσαν να αναφερθούν και μελετηθούν:

1. Φαινόμενο μέγεθος αστέρα
2. Απόλυτο μέγεθος αστέρα
3. Το μάτι ως ένας λογαριθμικός ανιχνευτής
4. Ο νόμος αντιστρόφου τετραγώνου για τις βαρυτικές και για τις ηλεκτρικές δυνάμεις και συσχετίσή του με τα σωματίδια φορείς των βαρυτικών και των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων.

Αποτελέσματα και σχόλια

Διαπιστώθηκε αδυναμία των φοιτητών/τριών στην επεξεργασία και την εξαγωγή συμπερασμάτων από πειραματικά δεδομένα, καταγράφηκαν ενδιαφέρουσες εσφαλμένες αντιλήψεις, αλλά και ενδιαφέρον για μια γνήσια προσπάθεια διερεύνησης. Οι φοιτητές/τριες δυσκολεύτηκαν στην επαλήθευση του νόμου από τις μετρήσεις των μηκών και την ισχύ των λαμπτήρων στο πείραμα με το φωτόμετρο παραφίνης. Επίσης στο πείραμα με την ακτινοβολία γ δε σκέφτηκαν να αφαιρέσουν την ακτινοβολία υποβάθρου της οποίας μέτρησαν τη μέση τιμή της στις 22 κρούσεις σε χρονικό διάστημα 2min. Στο ερώτημα «Κρατώντας σταθερή την απόσταση κεριού οπής, τι νομίζετε ότι θα συμβεί στη φωτιζόμενη επιφάνεια του πετάσματος αν διπλασιάσουμε την απόσταση οπής – πετάσματος;» κανείς δεν απάντησε ότι θα φωτιστούν εννέα τετράγωνα του πετάσματος. Η συντριπτική πλειοψηφία

των φοιτητών/τριών απάντησε ότι θα φωτιστούν 8 ή 16 τετράγωνα. Η δικαιολόγησή τους ήταν ότι αν ισχύει ο νόμος σε διπλάσια απόσταση η ένταση θα υποτετραπλασιάζεται. Δεν θεώρησαν δηλαδή την απόσταση από την πηγή η οποία τριπλασιάζεται όταν διπλασιάζεται η απόσταση της οπής από το πέτασμα. Οι φοιτητές/τριες διατύπωσαν ερωτήματα του τύπου «Τι θα γινόταν αν το δεύτερο πέτασμα κοβόταν στο φωτεινό του μέρος και πίσω από αυτό τοποθετούσαμε τρίτο πέτασμα;» Μετά από συζήτηση, διατύπωση νέων υποθέσεων και πειραματισμό, όχι μόνο κατέληξαν στα συμπεράσματά τους αλλά τα ερμήνευσαν και διατύπωσαν προβλέψεις αν η εκτέλεση του πειράματος γινόταν με διαφορετικό τρόπο. Στο πείραμα με τους αισθητήρες διαπίστωσαν την ισχύ του νόμου για το φως από πηγή που μπορεί να θεωρηθεί σημειακή και είχαν την αίσθηση του πολλαπλού ελέγχου της ισχύος του νόμου. Οι εργαστηριακές ασκήσεις που περιγράφονται στην εργασία αυτή έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα των ασκήσεων που εκτελούν φοιτητές του παιδαγωγικού τμήματος από το 2007. Η μέτρηση της ακτινοβολίας υποβάθρου με ανιχνευτή Geiger Miller έχει ήδη ενταχθεί από το 2005. Την περίοδο αυτή δοκιμάζουμε και μια δραστηριότητα με χρήση πομπού και δέκτη μικροκυμάτων όχι μόνο για να ενταχθεί και αυτή στην παραπάνω άσκηση αλλά και για την εκτέλεση εργαστηριακών ασκήσεων με αντίστοιχο χαρακτήρα και μεθοδολογία.

Παραπομπές

- Καλκάνης Γ.Θ. ΕκΠαιδευτική Φυσική Ι. Οι θεωρίες.(2005)
- Καλκάνης Γ.Θ. Γεώργιος ΕκΠαιδευτική Φυσική ΙΙ. Τα φαινόμενα (2005)
- Καλκάνης Γ.Θ. Γεώργιος “ΕκΠαιδευτική Τεχνολογία ΕκΠαιδευτικές Εφαρμογές των Τεχνολογιών Πληροφόρησης (και) στην Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες”, Αθήνα 2002.
- Πατρινόπουλος Μ. Ολοκληρωμένο ΤΕΧΝΟλογικά Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Σχεδίαση Ανάπτυξη Εφαρμογές στις Φυσικές Επιστήμες» Διδακτορική Διατριβή ΠΤΔΕ Εθν. Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών 2006.
- PSSC Φυσική. Ίδρυμα Ευγενίδου.
- Domin D.S. (1999). A. review of laboratory instruction styles. Journal of Chemical Education, 76, 543-547.