

ΕΝΑ ΣΥΝΘΕΤΟ ΜΑΥΡΟ ΚΟΥΤΙ

Αναστάσιος Νέζης

Πριν από αρκετούς μήνες έπεσε στα χέρια μου το 12^ο τεύχος του Science in School στο οποίο διάβασα το άρθρο: «Φυσική: ένα μαύρο κουτί;» της *Ludmila Onderoná* [1]. Αμέσως άρχισα να σκέφτομαι την προοπτική να το εφαρμόσω στο σχολείο μου. Διδάσκω φυσική στο 1^ο Λύκειο Σαλαμίνας (ένα νησί πολύ κοντά στην Αθήνα [2]) σε παιδιά 15-18 ετών. Στην αρχή σκεφτόμουν τα στοιχεία και τα υλικά που θα είχαν τα κουτιά, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα Φυσικής για το Ελληνικό σχολείο. Κατέληξα σε 7 στοιχεία (τα οποία θα δούμε παρακάτω) και άρχισα να το συζητώ με τους μαθητές μου. Πάνω στη κουβέντα προέκυψε ένα πρόβλημα: αν θέλαμε, κατά τη διεξαγωγή του πειράματος να έχουμε 5 ομάδες εργασίας, θα υπήρχαν σκορπισμένα στους πάγκους του εργαστηρίου $5 \times 7 = 35$ μαύρα κουτιά συν καλώδια, λαμπάκια, τροφοδοτικά κλπ. Μάλλον λίγο άβολο, αν θέλαμε να τελειώσουμε το πείραμα σε μια διδακτική ώρα (45 min). Τότε μια μαθήτρια έριξε την ιδέα: «γιατί δεν βάζουμε και τα 7 στοιχεία σε ένα κουτί;» Αυτό ήταν! Η ιδέα ξεκίνησε να υλοποιείται και τελικά έφτιαξα 5 σύνθετα κουτιά, το φύλλο εργασίας [3] και το video του πειράματος [4].

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

Οι συσκευές που μπήκαν στο κουτί ήταν:

- μια μπαταρία 9 Volt
- ένας πυκνωτής 1000 $\mu\text{F}/25\text{V}$
- ένα κομμάτι ξύλο (μονωτής)
- μια δίοδος
- ένα λαμπάκι (μη ωμικός αντιστάτης)
- ένας (ωμικός) αντιστάτης 100 Ω
- ένα πηνίο

Ο ένας πόλος κάθε συσκευής ενώθηκε σε μια αριθμημένη (από 1 έως 7) είσοδο και όλοι οι δεύτεροι πόλοι ενώθηκαν μαζί σε μια κοινή έξοδο.

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκε ένα κουτί από χαρτόνι (περίπου 20x25x10 cm), κόντρα πλακέ για ενίσχυση του εσωτερικού, θερμή κόλλα, ξυλόκολλα, χαρτόνι, καλώδια και υλικά (λαμπάκια, αντιστάτες, δίοδους κλπ) από ένα τοπικό κατάστημα ηλεκτρονικών. Το συνολικό κόστος του κάθε κουτιού δεν ξεπέρασε τα 10 €.

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε για κάθε κουτί ένα τροφοδοτικό χαμηλών τάσεων (0-20 V), ένα λαμπάκι με βάση, τρία καλώδια με ακροδέκτες μπανάνες, ένα ψηφιακό πολύμετρο και μια μικρή πυξίδα.

Κάθε κουτί ήταν πανομοιότυπο με τα υπόλοιπα, εξωτερικά και εσωτερικά. Υπήρχε όμως διαφορετικός τρόπος σύνδεσης των συσκευών στις εισόδους, ώστε κάθε ομάδα να έχει «τη χαρά» να βγάλει το δικό της (μοναδικό) αποτέλεσμα. Για το σκοπό αυτό υπήρχε ένας διαφορετικός 7-ψήφιος «κωδικός» τυπωμένος στο εξωτερικό μέρος κάθε κουτιού.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος, οι μαθητές ακολούθησαν το φύλλο εργασίας [3], το οποίο σταδιακά συμπλήρωναν με τις απαντήσεις τους. Έχουν ήδη διδαχτεί τις βασικές έννοιες που θα

αντιμετωπίσουν στο πείραμα και έχει προηγηθεί μια ώρα προετοιμασίας μέσα στην τάξη σε θεωρητικό επίπεδο.

Η φιλοσοφία του φύλλου εργασίας είναι η καθοδήγηση των μαθητών βήμα – βήμα μέχρι την ανακάλυψη όλων των στοιχείων του κουτιού. Αυτό έγινε με το σκεπτικό ότι το συγκεκριμένο μάθημα (η Φυσική που ασχολείται με τον ηλεκτρισμό & ηλεκτρομαγνητισμό) είναι μάθημα γενικής παιδείας στο Ελληνικό σχολείο και όχι ειδικότητας (κατεύθυνσης). Με άλλα λόγια είναι μάθημα που το παρακολουθούν όλοι οι μαθητές είτε ακολουθήσουν τις θετικές επιστήμες είτε όχι.

Θα μπορούσε, αν γινόταν σε ένα πιο εξειδικευμένο ακροατήριο μαθητών, να γίνει με εντονότερη ανακαλυπτική φιλοσοφία, δηλαδή αφήνοντας τους μαθητές να βρουν μόνοι τους τις διαδικασίες ταυτοποίησης των στοιχείων του κουτιού. Μόνη πληροφορία: τι υπάρχει μέσα στο κουτί.

Για το συγκεκριμένο πείραμα όμως η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Εύρεση Πηγής

Χρησιμοποιούμε ένα λαμπάκι και καλώδια. Βρίσκουμε την μπαταρία εκεί που ανάβει το λαμπάκι.

2. Εύρεση Πυκνωτή & Ξύλου

Χρησιμοποιούμε το τροφοδοτικό, στα 5 Volt και το ψηφιακό πολύμετρο, ρυθμισμένο σαν αμπερόμετρο. Δοκιμάζουμε όλες τις εισόδους (πλην αυτής που βρήκαμε πριν ότι περιείχε την πηγή) και σημειώνουμε τις δύο που δεν διαρρέονται από ρεύμα.

Εδώ να αναφέρω ότι πρόσεξα την δίοδο να την συνδέσω έτσι ώστε αρχικά να διαρρέεται από ρεύμα, ώστε να μην δημιουργήσω επιπλέον δυσκολία στους μαθητές. Φυσικά μια πρόταση είναι να συνδεθεί ανάποδα η δίοδος και οι εισόδους που δεν διαρρέονται από ρεύμα να είναι τρεις.

Στη συνέχεια αποσυνδέουμε το τροφοδοτικό, αλλάζουμε το πολύμετρο σε βολτόμετρο και μετράμε την τάση στις δύο εισόδους που βρήκαμε. Η είσοδος με τον πυκνωτή θα μας δώσει ένδειξη (περίπου 5 Volt) λόγω φόρτισής του ενώ η είσοδος με το ξύλο θα δώσει «μηδέν».

➤ Εδώ σταματάμε για λίγο την διαδικασία και βάζουμε τους μαθητές να κάνουν το εξής: φορτίζουν τον πυκνωτή (που πια ξέρουν που βρίσκεται) με το τροφοδοτικό στα 10 Volt. Με προσοχή αποσυνδέουν το τροφοδοτικό και συνδέουν το λαμπάκι. Παρατηρούν μια γρήγορη λάμψη στο λαμπάκι καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται. Αυτό αποτελεί μια καλή στιγμή στο πείραμα (highlight), αφού οι μαθητές βλέπουν στην πράξη, αυτό που έχουν μάθει στη θεωρία: ο πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια.

3. Εύρεση Διόδου

Γνωρίζουμε ότι η δίοδος είναι συσκευή που επιτρέπει το ρεύμα να διέρχεται προς μια κατεύθυνση και το αποκόπτει προς την άλλη [5]. Χωρίς άλλες θεωρητικές εξηγήσεις, βάζουμε τους μαθητές να ελέγξουν τις 4 εναπομείνουσες εισόδους, με ανάποδη πολικότητα (κουτί, αμπερόμετρο και τροφοδοτικό στα 5 Volt με $\pm \rightarrow \mp$). Η δίοδος βρίσκεται εκεί που το αμπερόμετρο δεν δείχνει ένδειξη.

4. Εύρεση Πηνίου

Γνωρίζοντας που ακριβώς έχω κολλήσει το πηνίο στο κουτί, ζωγραφίζω στο καπάκι, ακριβώς από πάνω, το σχήμα μιας πυξίδας. Οι μαθητές τοποθετούν την πυξίδα που τους δίνεται πάνω στο σχήμα και δοκιμάζουν τις υπόλοιπες εισόδους. Βρίσκουν την είσοδο με το πηνίο εκεί που η πυξίδα εκτρέπεται. Το κύκλωμα τώρα αποτελείται μόνο από το κουτί και το τροφοδοτικό στα 5 Volt.

➤ Και σε αυτό το σημείο, υπήρξε ενθουσιασμός από τα παιδιά, βλέποντας τις πυξίδες να γυρίζουν, όπως φαίνεται και στο video [4]. Αυτή ήταν η πρώτη «ηλεκτρομαγνητική» εμπειρία για τους περισσότερους μαθητές, που μέχρι τώρα δεν μπορούν να συνδυάσουν τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό ως μια θεωρία – έννοια.

5. Εύρεση Αντιστάτη & Λάμπας

Εδώ χρησιμοποιούμε τις γνώσεις που οι μαθητές έχουν ήδη διδαχθεί και πειραματικά, τουλάχιστον σε ότι αφορά τον νόμο του Ohm. Φτιάχνουν κύκλωμα με το κουτί, αμπερόμετρο και το τροφοδοτικό

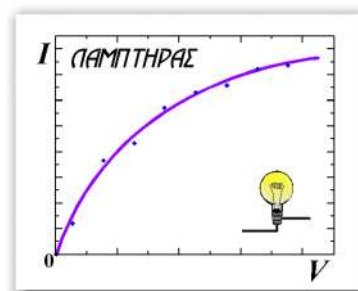
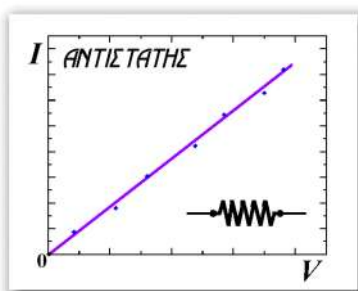
και πραγματοποιούν μετρήσεις τάσης – έντασης για τις δύο τελευταίες εισόδους του κουτιού. Μεταβάλλοντας την τάση στο τροφοδοτικό από 0 έως 8 Volt ανά 2 Volt συμπληρώνουν έναν πίνακα σαν τον παρακάτω:

$V \text{ (Volt)}$	Είσοδος Ν ^ο :		Είσοδος Ν ^ο :	
	$I \text{ (A)}$	$R \text{ (}\Omega\text{)}$	$I \text{ (A)}$	$R \text{ (}\Omega\text{)}$
0	0	-	0	-
2				
4				
6				
8				

Τις τιμές της αντίστασης τις υπολογίζουν από τον τύπο $R=V/I$. Γίνεται εμφανές ότι ο αντιστάτης είναι αυτός για τον οποίο η τιμή R παραμένει πάνω – κάτω η ίδια, ενώ για το λαμπάκι παρατηρούμε μια δραματική αύξηση της τιμής R .

☞ Το πείραμα τελειώνει με τη αποκάλυψη του περιεχομένου του κουτιού. Οι μαθητές ξεβιδώνουν τις βίδες στο καπάκι, ανοίγουν τα κουτί και επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματά τους.

☞ Τέλος παίρνουν ως εργασία για το σπίτι την κατασκευή δύο διαγραμμάτων $I-V$ για αντιστάτη και λαμπτήρα. Στο φύλλο εργασίας [3] δίνω τα ποιοτικά διαγράμματα, από τα οποία φαίνεται η σταθερότητα της αντίστασης του αντιστάτη (σταθερή αναλογία I και V : ευθεία) και αντίστοιχα η μεταβολή της αντίστασης του λαμπτήρα. Οι τιμές που πήραν οι μαθητές στον παραπάνω πίνακα θα τους δώσει μια πολύ καθαρή εικόνα των παραπάνω.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Το πείραμα στόχευε σε δύο πράγματα: α) στην αξιολόγηση των ήδη υπάρχουσών γνώσεων των μαθητών και β) την ενεργοποίηση επιπλέον του ενδιαφέροντός τους για το μάθημα.

Στην Ελλάδα το εκπαιδευτικό σύστημα γυρίζει γύρω – γύρω από την εισαγωγή των μαθητών στην 3-βάθμια εκπαίδευση, με αποτέλεσμα το ενδιαφέρον των μαθητών να επικεντρώνεται στις εξετάσεις εισαγωγής. Έτσι η φυσική «ενδιαφέρει» μόνο τους μαθητές που στοχεύουν στις αντίστοιχες σχολές θετικών επιστημών και όχι όλους.

Η ανταπόκριση ΟΛΩΝ των μαθητών στο πείραμα ήταν μεγάλη (ίσως ανέλπιστα μεγάλη) και αυτό το αποδίδω στην ανακαληπτική μέθοδο, που η ίδια η ιδέα του μαύρου κουτιού προωθεί. Δυστυχώς το πρόγραμμα των μαθητών μας είναι τέτοιο που ΔΕΝ επιτρέπει «μεγάλες παρεκκλίσεις ενδιαφέροντος». Ίσως το θεωρήσουμε ένα ευχάριστο «επιστημονικό» διάλειμμα...

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ:

- [1] <http://www.scienceinschool.org/2009/issue12/blackbox> (το άρθρο της αρχικής ιδέας)
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Salamis_Island
- [3] http://issuu.com/tasosne/docs/black_box (το pdf αρχείο με το φύλλο εργασίας του πειράματος)
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=0kkorfZXaHM> (το video του πειράματος: περιέχει τη διαδικασία ταυτοποίησης των εισόδων, αποκάλυψη του εσωτερικού του κουτιού και του τρόπου σύνδεσης, το πείραμα στο σχολείο και γρήγορες οδηγίες για την κατασκευή του κουτιού).
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Diode>

ΔΕΙΤΕ ΕΠΙΣΗΣ:

- [6] <http://www.scienceinschool.org/2008/issue9/funphysics>
- [7] <http://www.scienceinschool.org/2008/issue8/pencil>
- [8] <http://www.scienceinschool.org/2007/issue7/whathappens>
- [9] “*Physics for Scientists and Engineers With Modern Physics*”, by R.A. Serway
- [10] “*Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach with Modern Physics*”, 2nd Edition, by R.D. Knight
- [11] “*Supplementary Conceptual Physics Labs*” and “*Conceptual Physics 4th Edition Lab Manual*”, by P.G. Hewitt (http://www.arborsci.com/Labs/CPintro_new.aspx)

Σκοπός αυτού του πειράματος είναι να ανακαλύψουμε πού είναι συνδεδεμένες 7 ηλεκτρικές συσκευές μέσα σε ένα “μαύρο” κουτί. Το κουτί έχει 7 εισόδους, σε κάθε μία από τις οποίες, είναι συνδεδεμένος ο ένας πόλος μιας συσκευής και μια κοινή έξοδο, στην οποία συνδέονται όλοι οι δεύτεροι πόλοι μαζί. Οι συσκευές είναι:

Α. μια μπαταρία 9 Volt (πηγή) 

Β. ένας πυκνωτής 1000 μF / 25 Volt 

Γ. ένα κομμάτι ξύλο (μονωτής) 

Δ. μια δίοδος 

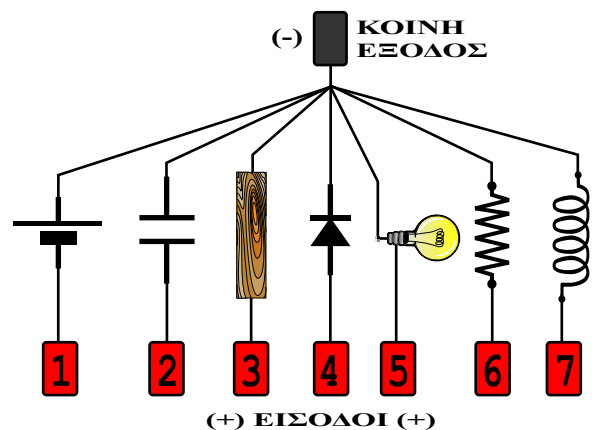
Ε. ένα λαμπάκι (μη ωμικός αντιστάτης) 

ΣΤ. ένας αντιστάτης 100 Ω (ωμικός αντιστάτης) 

Ζ. ένα πηνίο 



ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ



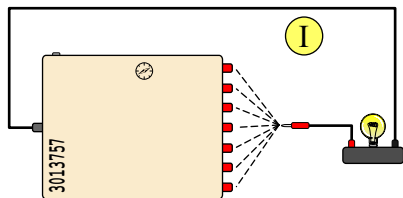
Τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε στο πείραμα είναι:

- 1) τροφοδοτικό 0-20 Volt
- 2) ψηφιακό πολύμετρο
- 3) τρία καλώδια με ακροδέκτες μπανάνες
- 4) λαμπάκι με βάση
- 5) πυξίδα

1^ο ΜΕΡΟΣ

ΕΥΡΕΣΗ ΠΗΓΗΣ

Γνωρίζουμε ότι μια πηγή έχει σταθερή διαφορά δυναμικού στα άκρα της. Μπορούμε λοιπόν να “βρούμε” την πηγή με ένα βολτόμετρο. Εδώ όμως θα ακολουθήσουμε μια πιο απλή διαδικασία: φτιάχνουμε κύκλωμα με το κουτί, καλώδια και ένα λαμπάκι με βάση.



Δοκιμάζουμε μια-μια τις εισόδους του κουτιού. Αυτή στην οποία θα ανάψει το λαμπάκι, είναι η είσοδος της πηγής - μπαταρίας.

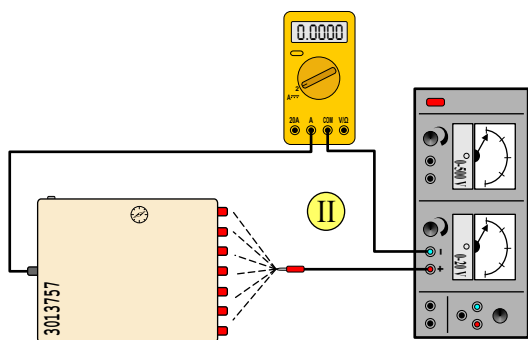


2^ο ΜΕΡΟΣ

ΕΥΡΕΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ-ΞΥΛΟΥ

Γνωρίζουμε ότι ένα κομμάτι ξύλο είναι μονωτής, άρα δεν διαρρέεται από ρεύμα. Όμως, και ένας πυκνωτής (από την κατασκευή του) λειτουργεί ως διακόπτης σε ένα κύκλωμα. Ούτε ο πυκνωτής λοιπόν δεν διαρρέεται από ρεύμα.

2.1 Για να απομονώσουμε τις εισόδους που έχουν αυτές τις δύο συσκευές (πυκνωτή & ξύλο) φτιάχνουμε κύκλωμα με το κουτί, καλώδια, αμπερόμετρο (ακροδέκτες στα A και COM και περιστροφικό διακόπτη στο 2 A $\rightarrow$) και τροφοδοτικό 0-20 Volt.



Ανοίγουμε τον διακόπτη του τροφοδοτικού και ρυθμίζουμε την τάση στα 5 Volt. Δοκιμάζουμε κάθε μια από τις 6 εισόδους που έχουν απομείνει (εκτός αυτής που βρήκαμε πριν ότι ανήκει στην πηγή) κοιτώντας ταυτόχρονα το αμπερόμετρο. Σημειώνουμε στον παρακάτω πίνακα “0” για τις εισόδους χωρίς ένδειξη ρεύματος και “I” για αυτές με ρεύμα:

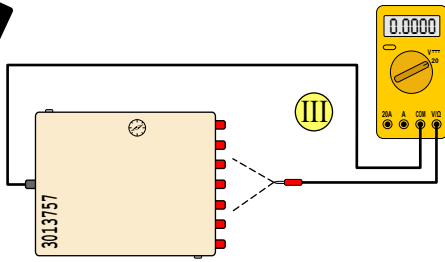
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ						
ΡΕΥΜΑ (I) ή ΟΧΙ (0)						

Έχουμε, λοιπόν, “βρει” τις δύο εισόδους που δεν διαρρέονται από ρεύμα. Όμως ποιά είναι του πυκνωτή και ποιά του ξύλου;...



2.2 Η προηγούμενη διαδικασία μπορεί να μην μας έδωσε ρεύμα, όμως φόρτισε τον πυκνωτή ($Q=CV$). Επομένως, με ένα βολτόμετρο θα έχουμε ένδειξη Volt ($V=Q/C$) για τον πυκνωτή ενώ για το ξύλο δεν θα έχουμε τίποτα. Φτιάχνουμε λοιπόν το κύκλωμα, γυρίζοντας τον περιστροφικό διακόπτη του πολυμέτρου στα 20V --- και βάζοντας τους ακροδέκτες στα COM και V/ Ω ..

ΠΡΟΤΙΘΕΙ ΔΕΝ ΑΚΟΥΓΑΤΑΙ
ΜΕ ΤΑ ΔΑΧΤΥΛΙΑ ΜΑΣ ΤΟΥΣ ΑΚΡΟ-
ΤΟΥΣ ΠΙΝΣΕΤΕ



Δοκιμάζουμε τις δύο υποψήφιες εισόδους και “βρίσκουμε” τον πυκνωτή στην είσοδο που θα μας δώσει τάση (περίπου) ίση με τα αρχικά 5 Volt που είχαμε βάλει στο 2.1. Το ξύλο δεν θα μας δώσει ένδειξη σε Volt.



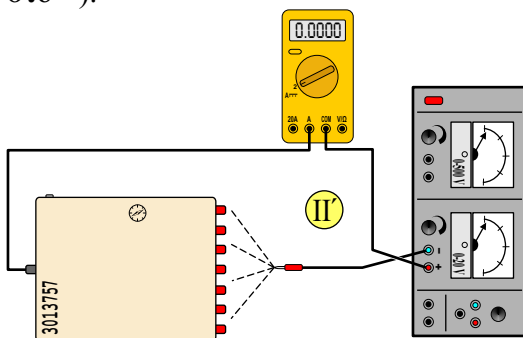
ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΕΛΕΓΧΟΣ: αφού καταλήξαμε που είναι ο πυκνωτής φτιάχνουμε το αριστερό κύκλωμα φόρτισης του πυκνωτή και ρυθμίζουμε το τροφοδοτικό στα 10 Volt. Αποσυνδέουμε το κουτί χωρίς να κλείσουμε το τροφοδοτικό και στη συνέχεια φτιάχνουμε το δεξί ανοιχτό κύκλωμα. Μόλις ακουμπήσουμε τον ακροδέκτη στην είσοδο του πυκνωτή θα δούμε στιγμιαία το λαμπάκι ν' ανάβει. Γίναμε μάρτυρες της εκφόρτισης του πυκνωτή...

3^ο ΜΕΡΟΣ ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΟΔΟΥ

» Δίοδος είναι η συσκευή που επιτρέπει το ρεύμα να διέρχεται προς τη μια κατεύθυνση και το “κόβει” προς την άλλη.



Από τον πίνακα που συμπληρώσαμε στο 2.1 έχουμε 4 εισόδους που διαρρέονται από ρεύμα. Φτιάχνουμε το κύκλωμα II με τη διαφορά ότι τώρα έχουμε διασταυρώσει τους ακροδέκτες στο τροφοδοτικό (το + στο - και το - στο +).



Επειδή αρχικά είχαμε 4 εισόδους που έδιναν ρεύμα, τώρα θα έχουμε μόνο 3, αφού η μία θα αντιστοιχεί στη δίοδο. Αυτή θα αποκόβει το ρεύμα, δηλαδή το αμπερόμετρο θα δείχνει “μηδέν”.

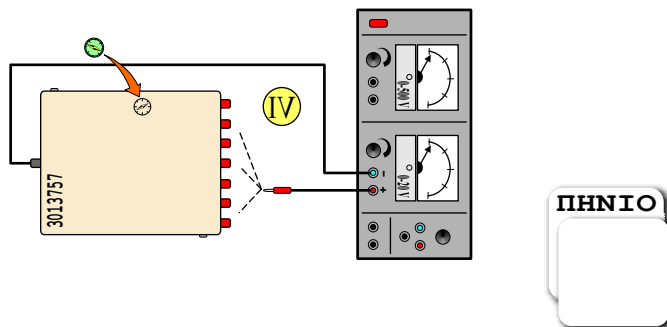


4^ο ΜΕΡΟΣ ΕΥΡΕΣΗ ΠΗΝΙΟΥ

Μας έχουν μείνει τρεις εισόδους με αντίστοιχες τρεις συσκευές: το πηνίο, ο ωμικός αντιστάτης και ο λαμπτήρας. Για να “βρούμε” το πηνίο πρέπει να θυμηθούμε ότι το πηνίο είναι ένα περιελιγμένο σύρμα (συνήθως πολλών σπειρών) που όταν διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Φυσικά υπάρχουν κι άλλες λειτουργίες - φαινόμενα για το πηνίο, αλλά εδώ θα αρκεστούμε στο μαγνητικό πεδίο.

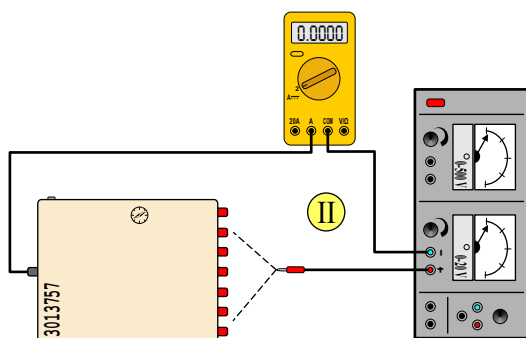
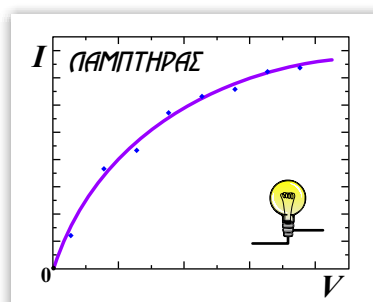
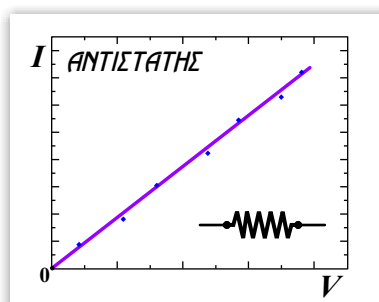
Φτιάχνουμε λοιπόν το διπλανό κύκλωμα, τοποθετούμε την πυξίδα πάνω στο σχέδιο “☉” που υπάρχει στο κουτί (ακριβώς από κάτω από το σχέδιο, υπάρχει το πηνίο) και ρυθμίζουμε το τροφοδοτικό στα 5 Volt.

Δοκιμάζουμε τον ακροδέκτη στις τρεις πιθανές εισόδους που έχουν απομείνει. Θα “βρούμε” το πηνίο “εκεί” που έχουμε εκτροπή της πυξίδας από τη διεύθυνση Βορράς - Νότος.



5^ο ΜΕΡΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ-ΛΑΜΠΤΗΡΑ

-Η διαφορά του αντιστάτη από τον λαμπτήρα, είναι ότι ο αντιστάτης ακολουθεί τον νόμο του Ohm ενώ ο λαμπτήρας όχι. Η αντίσταση του αντιστάτη είναι σταθερή και ανεξάρτητη της τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα του (αρκεί βέβαια να μην προλάβει να ζεσταθεί αρκετά), ενώ η αντίσταση του λαμπτήρα αλλάζει αν αλλάξουμε την τάση στα άκρα του. Μας έχουν μείνει δύο αδιευκρίνιστες εισόδους και αυτή η διαφορά θα μας βοηθήσει στον διαχωρισμό αντιστάτη - λαμπτήρα. Οι χαρακτηριστικές για τις δύο συσκευές είναι:



Κατασκευάζουμε λοιπόν πάλι το κύκλωμα II. Ρυθμίζουμε το τροφοδοτικό στα 2 Volt και βάζουμε τον ακροδέκτη πρώτα στη μια υποψήφια είσοδο (και καταγράφουμε την ένδειξη του αμπερομέτρου) και στη συνέχεια στην άλλη υποψήφια είσοδο (και κάνουμε το ίδιο).

Συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία για 4, 6, 8 Volt καταγράφοντας κάθε φορά τις τιμές των εντάσεων για την κάθε είσοδο στον επόμενο πίνακα τιμών. Υπολογίζουμε για κάθε ζεύγος $V-I$ την αντίσταση $R = V/I$.

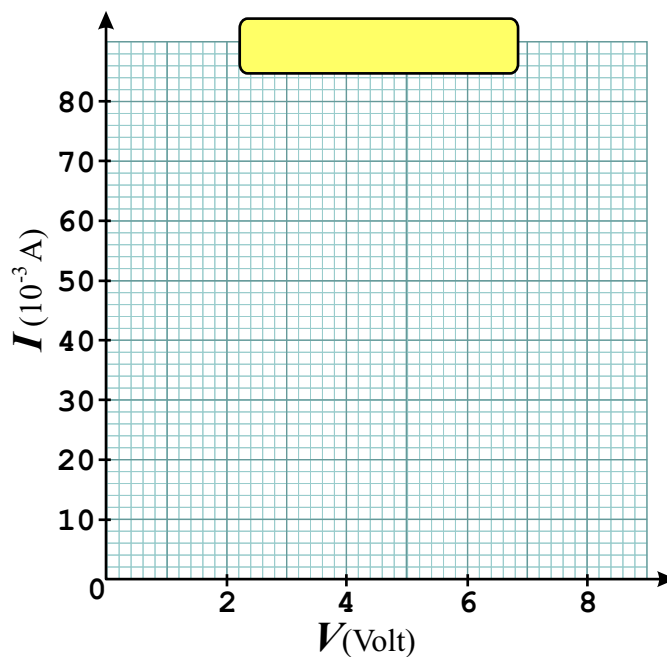
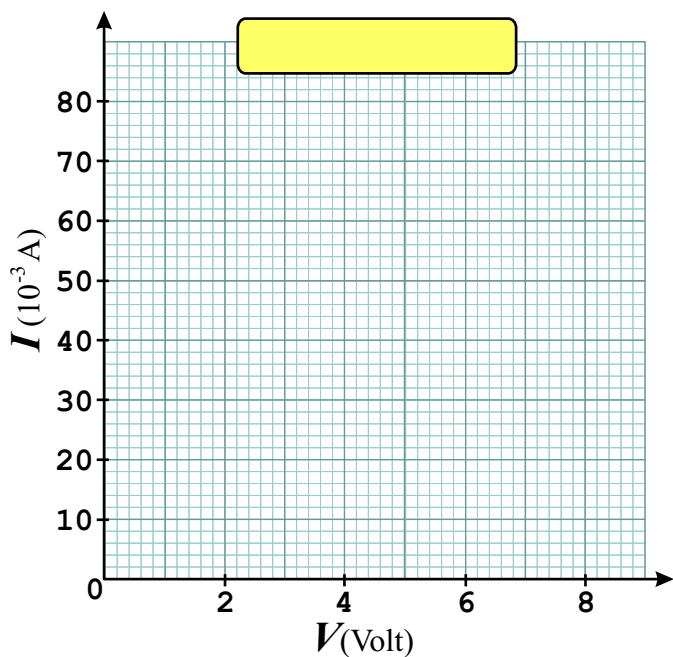
		ΕΙΣΟΔΟΣ Νο		ΕΙΣΟΔΟΣ Νο	
V (Volt)	$I_{\square}$ (A)	$R_{\square}(\Omega)$	$I_{\square}$ (A)	$R_{\square}(\Omega)$	
0	0	—	0	—	
2					
4					
6					
8					

Μπορούμε πλέον να αγνωρίσουμε τον αντιστάτη, ως τη συσκευή που διατηρεί την αντίστασή της (περίπου) σταθερή. Αντίθετα, η αντίσταση του λαμπτήρα αλλάζει δραματικά.

Μπορούμε επίσης να κατασκευάσουμε τις δύο χαρακτηριστικές και να δούμε τη διαφορά:

ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ

ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ



ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΥΤΙΟΥ:

ΠΗΓΗ	ΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΕΥΛΟ	ΔΙΟΔΟΣ	ΠΗΝΙΟ	ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ	ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ

A COMPLEX BLACK BOX

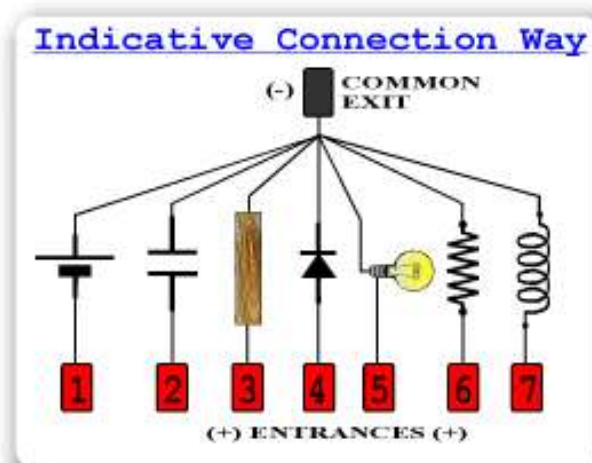
Several months ago, I read the article “*Physics: A Black Box?*” by *Ludmila Onderová* [1]. Right after that, I started thinking about doing that in my school. I teach physics at the 1st Lycee (high school with 15-18 year-old students) of Salamina [2], an island very close to Athens, Greece. At the beginning I thought about the elements and the devices that the boxes would have, according to the Greek physics course curriculum. I abutted on 7 devices (that we will see later) and I started to discuss it with my students. During the discussion, a problem came up: if, performing the experiment, we need 5 work teams, there would be scattered $5 \times 7 = 35$ black boxes, plus cables, lamps, power supply devices etc., on the lab benches. Probably not convenient, if we wanted to finish the experiment in one lesson (45 minutes). Then a student came up with an idea: “*why we don’t put all 7 devices in one box?*” That was it! The idea finally began to be implemented. I made 5 complex boxes, a work sheet [3] and the video of the experimet [4].

CONSTRUCTION DATA:

The devices included in each box are:

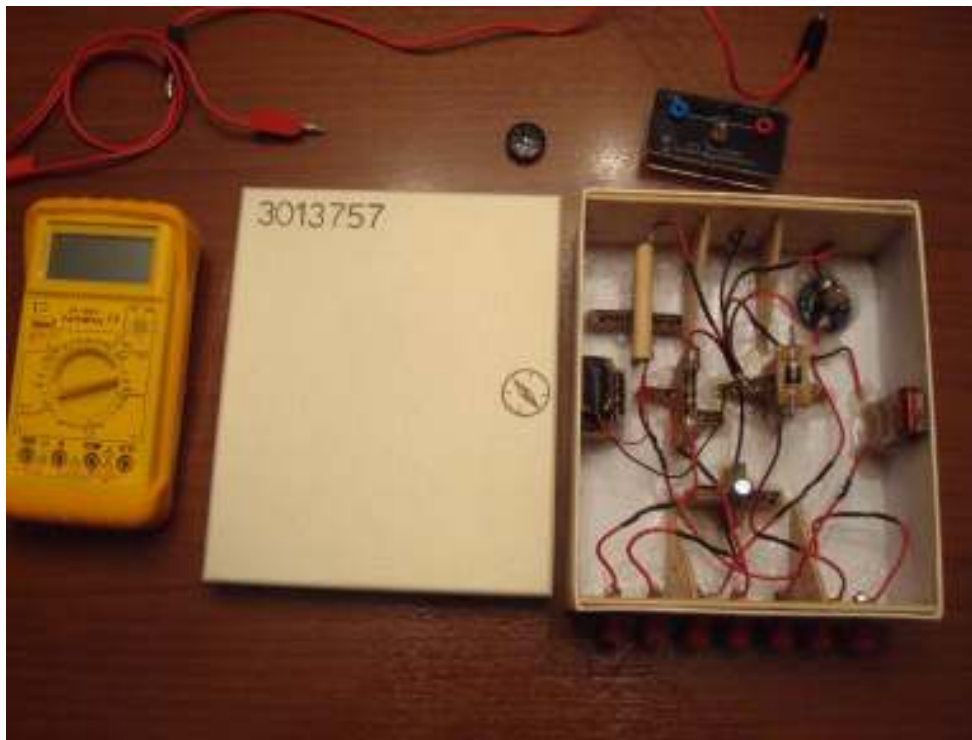
- a. a 9 Volt battery
- b. an (electrolytic) capacitor $1000\mu F / 25V$
- c. a peace of wood (insulator)
- d. a diode
- e. a lamp (non ohmic conductor)
- f. an ohmic resistor $100\ \Omega$
- g. a solenoid

The one pole of every device is connected to one numbered entrance (from 1 to 7) and all the second poles are soldered to one common exit.



For the construction I used a cardboard box (about $20 \times 25 \times 10\text{ cm}$), plywood for the interior reinforcement, hot glue, wood glue, cardboard, cables and materials (such us lamps, resistors, capacitors etc) from a local electronics shop. The total cost of each box didn’t exceed the 10 €.

During the experimental procedure, the students used for each box, one *Power Supply Device* (PSD) [0-20 Volts], one lamp in its base, three cables with banana ends, one digital multimeter and one small compass.



Each box was exactly the same (internal and external) as the others. There was however, a different way of connecting the devices to the entrances, so every team would come up with a different unique answer. For that purpose there was a different 7-digit number printed on the cover of each box.



EXPERIMENTAL PROCEDURE

During the experiment, students follow the work sheet [3] which gradually they filled with their answers. They had already learned the basic concepts they would face in the experiment and there had already been one hour prior preparation at theoretical level in the classroom.

The philosophy of the work sheet is the step by step guidance of the students, till the discovery of all the components of the box. This came up because this specific course (the electricity and electromagnetism physics) is a *general education course* in the Greek school and not a *specialization course*. In other words, it is a course that all students take, whether they follow the science curriculum or not.

If the experiment, was to take place before a more special audience, i.e. students with science direction, it would have a more discovering philosophy, thus letting the students find out what is in the boxes, with only one piece of information: the content of the boxes.



For this specific experiment, the procedure is the following:

1. Finding of the battery

We use a lamp and cables. We find the battery where the lamp illuminates.

2. Finding of the capacitor and the wood

We use the PSD, at 5 Volts and the digital multimeter, as an ammeter. We test all the entrances (except the one we found earlier that belongs to the battery) and notice the two that are not flooding by current (the ammeter saws zero).

At this point I must mention that I paid particular attention to the diode from the very beginning so that it is flooded by electric current. In that way I wouldn't cause further problems to the students. Another suggestion is of course to connect the diode vise-versa and so the non-current entrances would increase to three.

Next we disconnect the PSD, we change the multimeter to voltmeter and we measure the voltage on the two (non-current) entrances that we found. The entrance with the capacitor will give us voltage (about the initial 5 Volts), because of the charging, during the previous procedure. The "wood" entrance will give us nothing.

➡ At that point we stop the procedure and tell the students to do the following: they are charging the capacitor (now they know where it is) with the PSD at 10 Volts. Very carefully they disconnect the PSD and connect the lamp. They observe a quick glow on the lamp, as the capacitor discharges. That was one of the highlights of the experiment because the students see in practice what they had learned in theory: *the capacitor stores energy*.

3. Finding of the diode

We know that the diode is a device that permits the current to flow on one direction and stops it on the other [5]. Without any further theoretical explanation, we tell the students to check the 4 left entrances, with the opposite polarity (box, ammeter and PSD at 5 Volts with $\pm \rightarrow \mp$). The diode is behind the entrance in which the ammeter gives us "zero".

4. Finding of the solenoid

Knowing exactly where we have glued the solenoid, we draw on the cover of the box, the sign of a compass, at the same place. Every group of students puts a compass over the "compass sign" and they test the rest of the entrances. They find the entrance with the solenoid, where the compass diverts. The circuit now is only the box and the PSD at 5 Volts.



➡At that point the students were very enthusiastic, seeing the compasses turning, as we can also see at the video [4]. This, for most of the students, was their first “*electromagnetic experience*”. Most of them couldn’t combine electricity and magnetism as one theory – concept.

5. Finding of the resistor and the lamp

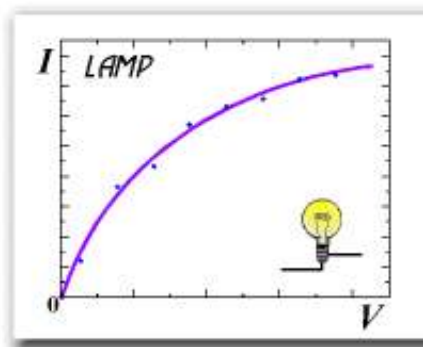
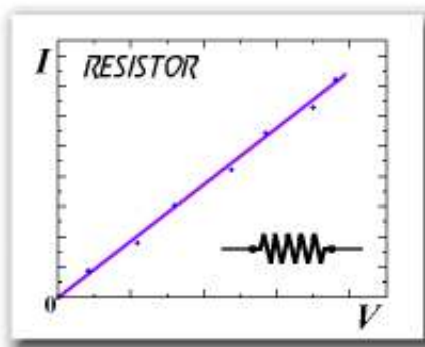
Here we use the knowledge that students already have, due to the experimental confirmation of Ohm’s law. They built a circuit with the box, the PSD and an ammeter. They take measurements of voltage (V) and intensity of electric current (I) for the two last entrances of the box, by varying the voltage on the PSD from 0 to 8 Volts per 2 Volts. They fill the next table of data:

	Entrance N°:		Entrance N°:	
V (Volt)	I (A)	R (Ω)	I (A)	R (Ω)
0	0	-	0	-
2				
4				
6				
8				

The values of the resistance (R) can be calculated by the formula: $R=V/I$. It is obvious that the resistor is the one that has the value of R almost constant. On the other hand the lamp’s value of R increased dramatically.

➡The experiment ends with the revelation of the content of the box. The students unscrew the two screws in the cover, they open the box and confirm their findings

➡At the end students take, as homework, the construction of two graphs I - V for the resistor and the lamp. On the work sheet [3] we give the quality graphs, from which, we can see the constant value of R for the resistor (I - V : straight line) and respectively, the increasing value of R for the lamp. The experimental values that students took before will show very clearly all the above.



CONCLUSIONS

The experiment aimed on two things: a) the evaluation of the knowledge that the students, already had and b) the triggering of their interest for the lesson. In Greece, the curriculum focuses on the entrance to the Universities after school graduation. So students are mainly interested in that goal. Physics “interests” only students that aim to science Universities and Polytechnic Schools and not all. The response of ALL students to the black box experiment was strong (maybe surprisingly strong) and I attribute this to the discovering method which is promoted by the idea of the “black box” itself. Unfortunately the schedule of our students is such that cannot permit *large deviations of interest*. Maybe this can be considered as a pleasant “science break”...



REFERENCES:

- [1] <http://www.scienceinschool.org/2009/issue12/blackbox> (the article of the original idea, by *Ludmila Onderová*)
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Salamis_Island
- [3] http://issuu.com/tasosne/docs/black_box (the work sheet of the experiment, in Greek)
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=0kkorfZXaHM> (the video of the experiment: it contains the identification process of the entrances, reveal of the box interior, the experiment at school and quick instructions for the construction of the box).
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Diode>

ALSO SEE:

- [6] “*Physics for Scientists and Engineers With Modern Physics*”, by R.A. Serway
- [7] “*Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach with Modern Physics*”, 2nd Edition, by R.D. Knight
- [8] “*Supplementary Conceptual Physics Labs*” and “*Conceptual Physics 4th Edition Lab Manual*”, by P.G. Hewitt (http://www.arborsci.com/Labs/CPintro_new.aspx)