Πειράματα ηλεκτρισμού με απλά μέσα και αυτοσχέδιες συσκευές

Ι. Γάτσιος, Ν. Παπασταματίου*
Φυσικός, Υπευθ. ΕΚΦΕ Νέας Σμύρνης, gatsiosj@myflash.gr
Φυσικός, Υπευθ. ΕΚΦΕ Ομόνοιας, npapastam@yahoo.gr

Θεματική Ενότητα: Διδακτικό υλικό
Επίπεδο Εκπαίδευσης: Γυμνάσιο, Λύκειο

Περίληψη: Τα πειράματα ηλεκτρισμού που αναφέρονται στα διδακτικά εγχειρίδια φυσικής είτε της πρωτοβάθμιας είτε της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εύκολα μπορούν να πραγματοποιηθούν με απλά υλικά και ιδιοκατασκευές που μπορεί να φτιάξει το ίδιο το παιδί. Έτσι, το παιδί βοηθιέται να συνδέσει την επιστήμη με την καθημερινή ζωή και να αναπτύξει τις δεξιότητες και ικανότητές του. Η παρακάτω πρόταση περιλαμβάνει τέσσερις τέτοιες ιδιοκατασκευές: Διακόπτη, αμπερόμετρο, ζυγό στρέψης Coulomb και συσκευή Coulomb. Είναι κατασκευασμένες με βάση το χαρτόνι, το πλαστικό, το αλουμινόχαρτο, το καλώδιο γραμμής κουδουνιού και άλλα υλικά καθημερινής χρήσης μηδαμινού κόστους. Ο διακόπτης και το αμπερόμετρο αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για την ποιοτική και ποσοτική μελέτη κάθε ηλεκτρικού κυκλώματος, ενώ ο ζυγός στρέψης Coulomb και η και η συσκευή Coulomb λύνουν το πρόβλημα της πειραματικής (ποσοτικής) επαλήθευσης των σχέσεων $F = f(r)$ και $F = f(q_1, q_2)$.

Λέξεις Κλειδιά: Πειράματα ηλεκτρισμού, αυτοσχέδιες συσκευές, ποσοτική μέτρηση, διδακτική της φυσικής

Conference Theme: Didactic material
Paper Classification: Lower and upper high school

Abstract: The school electricity experiments could be done easily with simple daily materials and do-it-your self apparatus by the pupils. So the child helped to relate the science with the daily life and to develop his skills and his abilities. The following propose contains four do-it-your self apparatus: simple switch, ammeter, Coulomb's torsion balance and Coulomb's apparatus. These are construct with cartridge paper, plastic, aluminum foil, telephone wire and other simple daily materials without any price. The simple switch and the ammeter are essentials parts for the qualitative and quantitative study of any electric circuit and parallel the Coulomb's torsion balance and Coulomb's apparatus solve the problem of the experimental quantitative confirmative for the relations $F = f(r)$ and $F = f(q_1, q_2)$.

Keywords: Electricity experiments, do-it-your self apparatus, quantitative measurement, didactic of physics

Πειράματα με απλά μέσα

Είναι σημαντικό όλοι οι μαθητές είτε στο μέλλον ακολουθήσουν επιστημονικά επαγγέλματα είτε όχι, να έχουν τη δυνατότητα στο σχολείο να πραγματοποιούν οι ίδιοι πειράματα κατά τη διδασκαλία των μαθημάτων των φυσικών επιστημών αποκτώντας με τον τρόπο αυτό πρωτογενείς εμπειρίες. Τα πειράματα μπορούν να γίνουν είτε με τυποποιημένα "εργαστηριακά" όργανα και συσκευές είτε με όργανα και συσκευές που θα κατασκευάσουν οι μαθητές μόνοι τους με αντικείμενα που υπάρχουν στο σπίτι τους ή βρίσκονται εύκολα. Η πραγματοποίηση πειραμάτων με υλικά καθημερινής χρήσης είναι παιδαγωγικά και διδακτικά ωφέλιμη, επειδή, συσχετίζει τη διδασκαλία και μάθηση των φαινομένων με την καθημερινή ζωή, απομυθοποιεί την (λανθασμένη) εντύπωση ότι τα πειράματα γίνονται αποκλειστικά με τη βοήθεια πολύπλοκων συσκευών και ειδικά κατασκευασμένων οργάνων, συντελεί στην επικέντρωση της προσοχής του μαθητή στο φαινόμενο και όχι στη συσκευή που χρησιμοποιείται για το πείραμα κ.ά. Επίσης, αν τα πειράματα είναι απλά στο σχεδιασμό διευκολύνουν το μαθητή να προσεγγίσει πιθανόν περισσότερο εύκολα βασικές αρχές της φυσικής, ιδιαίτερα όταν οι προτεινόμενες δράσεις μπορούν να προκαλέσουν παρατηρήσεις και να δημιουργήσουν ερωτήματα, που να αμφισβητούν τις προηγούμενες απόψεις του, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες για εννοιολογική αλλαγή.[1],[2]

Τα πειράματα ηλεκτρισμού που αναφέρονται στα διδακτικά εγχειρίδια φυσικής είτε της πρωτοβάθμιας είτε της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (και στους αντίστοιχους εργαστηριακούς οδηγούς) μπορούν να γίνουν εύκολα με τα τυποποιημένα όργανα και συσκευές – όπως είναι τα ποικίλα λαμπάκια, αντιστάτες, διακόπτες, πηνία, τροφοδοτικά, όργανα μέτρησης ρεύματος και τάσης, κινητήρες και άλλα – που υπάρχουν στο σχολικό εργαστήριο φυσικών επιστημών. Τα ίδια πειράματα, ή τα περισσότερα από αυτά, γίνονται και με αντικείμενα και υλικά που υπάρχουν είτε στο περίπτερο της γειτονιάς (μπαταρίες, λαμπάκια φανού) είτε βρίσκονται σε κάποιο κατάστημα εμπορίας ηλεκτρονικών (καλώδια, αντιστάτες, σύρμα περιέλιξης πηνίων, μαγνήτες κτλ.) είτε στο σπίτι μας (χαρτί, χαρτόνι, αλουμινόχαρτο, πλαστική σακούλα κ.ά.) και με τις συσκευές που θα συναρμολογηθούν με αυτά. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να φτιαχτεί ένα σύνολο οργάνων και συσκευών: Από

[1] Tobón, R. : "Low – cost materials for science and technology education" στο: D. Layton (ed): *Innovations in science and technology education*, v. II, ed. Unesco, Paris 1988, pp. 223-224.
[2] Κουμαράς, Π.: «Υλικά καθημερινής χρήσης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στους μαθητές της υποχρεωτικής εκπαίδευσης και καταστάσεων από την καθημερινή ζωή», *Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις,* τχ.6, 2000, σελ. 3-9.

πολύ απλές κατασκευές μέχρι περισσότερο σύνθετες συσκευές με τις οποίες μπορούν να γίνουν ποσοτικές μετρήσεις.
Η παρακάτω πρόταση (που συνιστά βελτιωμένη πρόταση άλλων παρόμοιων προτάσεων) περιλαμβάνει τέσσερις τέτοιες ιδιοκατασκευές : διακόπτη[3], αμπερόμετρο[4], ζυγό στρέψης Coulomb[5] και συσκευή Coulomb, κατασκευασμένες με βάση το χαρτόνι, το πλαστικό, το αλουμινόχαρτο, το καλώδιο γραμμής κουδουνιού και άλλα υλικά καθημερινής χρήσης μηδαμινού κόστους Ο διακόπτης και το αμπερόμετρο αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για την ποιοτική και ποσοτική μελέτη κάθε ηλεκτρικού κυκλώματος, ενώ ο ζυγός στρέψης Coulomb και η συσκευή Coulomb λύνουν το πρόβλημα της πειραματικής επαλήθευσης των σχέσεων $F = f(r)$ και $F = f(q_1, q_2)$ (νόμος Coulomb) – αλλά και της κατοχής και χρήσης μιας «εξωτικής» συσκευής όπως είναι ο ζυγός στρέψης Coulomb!

(Χαρτο)Διακόπτης
Υλικά - Κατασκευή

- Αλουμινόχαρτο.
- Χαρτόνι, κόλλα στικ , ψαλίδι, συρραπτικό .
- Δυο καλώδια από σύρμα γραμμής τηλεφώνου ή κουδουνιού μήκους

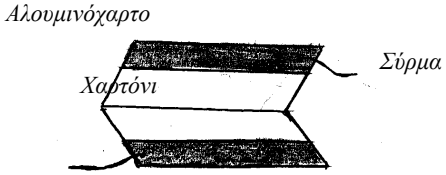
10 cm περίπου το καθένα γυμνωμένα στις δυο άκρες γύρω στα 5 cm .

Εικόνα 1. Διακόπτης.

1. Κόψε ένα κομμάτι χαρτόνι που να έχει διαστάσεις 4 cm x 4 cm και δίπλωσέ το στη μέση.2. Σε μια γωνιά κάθε πλευράς άνοιξε μία μικρή τρύπα με τη μύτη του μολυβιού σου και πέρασε από αυτή την άκρη ενός απογυμνωμένου σύρματος. Λύγισε το σύρμα, στρίβοντάς το, ώστε να στερεωθεί καλά (ή πιάσε το με το συρραπτικό).3. Κόψε δυο λουρίδες αλουμινόχαρτου που να έχουν μήκος 4 cm και πλάτος 1 cm .4. Κόλλησε καλά τη λουρίδα του αλουμινόχαρτου στην πλευρά που έχεις περάσει το καλώδιο. 5. Δοκίμασε, όταν διπλώνεις το χαρτόνι, αν εφάπτονται μεταξύ τους οι ταινίες, δηλαδή οι επαφές από αλουμινόχαρτο.
Η κατασκευή μας πρέπει τώρα να είναι σαν αυτή της Εικόνας 1.

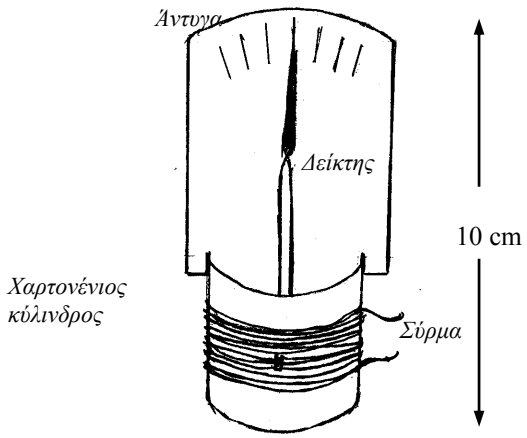
Αμπερόμετρο
Υλικά- Κατασκευή

- Δυόμισι μέτρα σύρματος γραμμής κουδουνιού ή τηλεφώνου .
- Ένας χαρτονένιος κύλινδρος (από ρολό χαρτιού υγείας ή κουζίνας).
- Ένα ζεύγος επίπεδων μαγνητών από κλείστρο ντουλαπιών κουζίνας ή πόρτας ψυγείου μήκους 2 cm .
- Κομμάτι λεπτού χαρτονιού με διαστάσεις περίπου 9 cm × 6 cm (για την κατασκευή της άντυγας).



- Κομμάτι κυματιστού χαρτονιού συσκευασίας με πλάτος 1 cm , πάχος 2 mm και ύψος 10 cm (για την κατασκευή του δείκτη).
- Δυο πλαστικά σωληνάκια δεξαμενής μελάνης στυλό (bic) με μήκος 3 cm το καθένα .
- Βελόνα ραψίματος με μήκος περίπου 4 cm.
- Ψαλίδι, μοιρογνωμόνιο, σελοτέιπ, χαρτοκόπτης λεπίδας.

[3] Καραπαναγιώτης, Β., Παπασταματίου, Ν., Φέρτης, Α., Χαλέτσος, Χ.: *Φυσική γ΄ τάξης γυμνασίου*, εκδ. ΟΕΔΒ, Αθήνα 2000, σελ. 308.
[4] Παπασταματίου, Ν.: «Αυτοσχέδιο αμπερόμετρο και αυτοσχέδιος ηλεκτροκινητήρας», *Εκπαιδευτικές προσεγγίσεις,* τχ. 7, 2001, σελ. 77-79.
[5] Haber – Schaim, U., Dodge, J., Walter, J.: *PSSC Φυσική*, εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1995, σελ. 232-233.



Εικόνα 2: Αμπερόμετρο DC .

1.Κόβουμε από το χαρτονένιο κύλινδρο ένα κυλινδράκι ύψους περίπου 6 cm .2. Γυμνώνουμε 2 cm στην κάθε άκρη του σύρματος και στη συνέχεια, έχοντας φροντίσει να αφήσουμε 10 cm ελεύθερο σύρμα από την κάθε άκρη του, τυλίγουμε στο (μέσο) του κυλίνδρου 15 σπείρες, τη μία δίπλα από την άλλη, φτιάχνοντας ένα πηνίο. (Τις σπείρες τις συγκρατούμε στερεά στο χαρτόνι με σελοτέιπ.) 3. Παίρνουμε τα πλαστικά σωληνάκια δεξαμενής μελάνης στυλού και με το μαχαιράκι κόβουμε εγκάρσια τεμάχιο 1,5 cm από το καθένα, δημιουργώντας ένα ανοικτό ημικυλινδρικό τμήμα (φτιάχνοντας έτσι δυο έδρανα). Κατόπιν από τη βάση του πηνίου, στο νοητό κύκλο ανάμεσα στην έκτη και στην έβδομη σπείρα, ανοίγουμε με το ψαλίδι στο χαρτόνι δύο τρύπες αντίκρυ η μία από την άλλη. Από τις τρύπες περνάμε τα δυο έδρανα με το ανοικτό ημικυλινδρικό τμήμα τους στο εσωτερικό του πηνίου. 4.Περνάμε τη βελόνα κατά μήκος της στενής πλευράς του χαρτονένιου δείκτη, 1,5 cm πάνω από τη μία άκρη του και στερεώνουμε τις άκρες της στα «έδρανα». Διαμορφώνουμε την άλλη άκρη του δείκτη σε αιχμή βέλους.5. Παίρνουμε το χαρτόνι και περιγράφουμε σε αυτό με το μολύβι την άντυγα του μοιρογνωμονίου. Στη θέση 90° σημειώνουμε την ένδειξη 0 A και εκατέρωθεν του μηδενός ±0,10 A , ±0,20 A, ±0,30 A στις θέσεις 100°, 110°, 120° και 80°, 70°, 60° αντίστοιχα, βαθμονομώντας έτσι μια κλίμακα. Τώρα δε μένει παρά να τοποθετηθεί στο χαρτόνι όρθιο σε δυο σχισμές που έχουμε κάνει στο πηνίο, κατά τρόπο, που ο δείχτης να δείχνει 0 A .(Η ρύθμιση μηδενός του αυτοσχέδιου οργάνου γίνεται όταν συνδεθεί σε σειρά με άλλο αμπερόμετρο DC 0-1 A , αναλογικό ή ψηφιακό, σε κύκλωμα με μπαταρία 4,5 V και λαμπάκι φανού 3,5 V, 0,3 A .)
Η κατασκευή μας πρέπει τώρα να είναι σαν αυτή της Εικόνας 2.

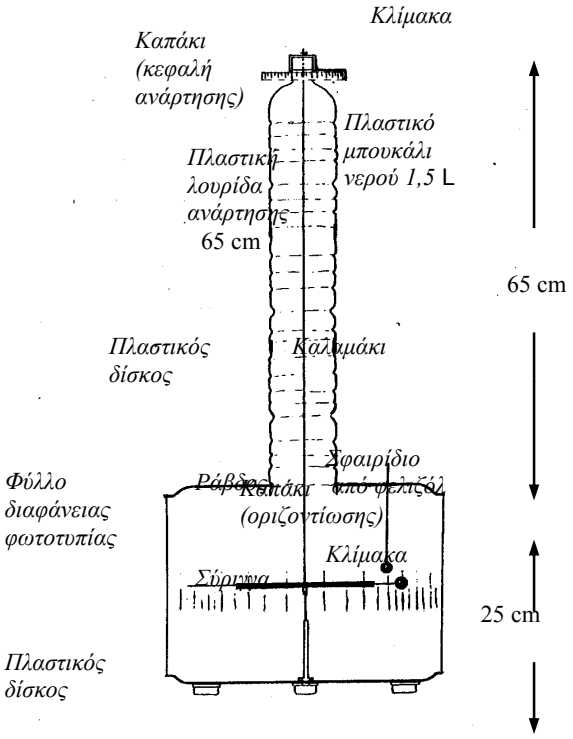
Ζυγός στρέψης Coulomb

Υλικά- Κατασκευή

- Τρία όμοια διαφανή πλαστικά μπουκάλια νερού 1,5 λίτρου, που να έχουν διαμορφωμένη την κυλινδρική επιφάνειά τους σε οριζόντιες παράλληλες δακτυλιοειδείς αύλακες .
- Δύο διαφανείς πλαστικούς δίσκους τούρτας διαμέτρου 40 cm .
- Διαφανές πλαστικό φύλλο (του μέτρου) πάχους τουλάχιστον 0,2 mm , μήκους 130 cm και πλάτους 50 cm .
- Κομμάτι από χαρτόνι.
- Ένα δυο φύλλα χιλιοστομετρικού χαρτιού (μιλιμετρέ).
- Τρεις διαφάνειες φωτοτυπικού μεγέθους Α4 .
- Μία πλαστική ράβδος ανάρτησης αφίσας με μήκος 20 cm .
- Καλαμάκι από σουβλάκι .
- Δυο τρεις πλαστικές οδοντογλυφίδες.
- Μία σύριγγα ινσουλίνης.
- Πλαστικό σωληνάκι δεξαμενής μελάνης στυλό (bic) με μήκος 1 cm .
- Τρία σφαιρίδια από φελιζόλ διαμέτρου 10 mm περίπου (καλυμμένα με μελάνι εκτυπωτή ώστε να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα).
- Τρία στόμια πλαστικών μπουκαλιών νερού 1,5 λίτρου με τα πώματά τους και τρεις φελλοί που να χωρούν σφιχτά στα στόμια των μπουκαλιών.
- Αυτοκόλλητη διάφανη ταινία (σελοτέιπ), αυτοκόλλητη ταινία διπλής όψης ή ρευστή κόλλα, μελάνι εκτυπωτή.
- Τρίγωνο, μοιρογνωμόνιο , ψαλίδι , συρραπτικό , χαρτοκόπτης λεπίδας , κυλινδρική λίμα .

1. Φωτοτυπούμε σε διαφάνεια ένα φύλλο χιλιοστομετρικού χαρτιού (μιλιμετρέ). Στη συνέχεια κόβουμε τη διαφάνεια σε λουρίδες πλάτους 2 cm που τις ενώνουμε μεταξύ τους σε μία ενιαία με μήκος 126 cm .Φτιάχνουμε μια κλίμακα μέτρησης αντιστοιχώντας 35 mm σε 10 μοίρες.2. Στο κέντρο του ενός δίσκου με το αιχμηρό σκέλος

του ψαλιδιού ανοίγουμε μια τρύπα με κατάλληλη διάμετρο για να τοποθετήσουμε σφικτά σε αυτή το στόμιο της σύριγγας (χωρίς το έμβολό της) με τη βελόνα κατακόρυφη προς τα πάνω. Στον ίδιο δίσκο κολλούμε σε διάταξη ισοπλεύρου τριγώνου τρία πόδια οριζοντίωσης, ρυθμιζόμενου ύψους, από ισάριθμα στόμια- καπάκια μπουκαλιού νερού. Τα στόμια-καπάκια είναι κομμένα στη βάση της στεφάνης και η οπή έχει καλυφθεί με φελλό. 3. Στο κέντρο του δεύτερου πλαστικού δίσκου ανοίγουμε μία



Εικόνα 3: Ζυγός στρέψης Coulomb (εγκάρσια τομή).

κυκλική τρύπα διαμέτρου λίγο μεγαλύτερη από 8 cm. Στην ίδια διάμετρο ανοίγουμε δεύτερη κυκλική τρύπα διαμέτρου περίπου 4 cm , το κέντρο της οποίας να απέχει από το αντίστοιχο του δίσκου απόσταση ίση με 13,5 cm. Από αυτή τη μικρότερη τρύπα την περνάμε ένα σφαιρίδιο φελιζόλ καρφωμένο σε οδοντογλυφίδα κολλημένη στο καλαμάκι από σουβλάκι που είναι προσαρμοσμένο σε ένα πλαστικό καπάκι από μπουκάλι.4. Κόβουμε από το πλαστικό φύλλο μια λουρίδα πλάτους 25 cm και μήκους 126 cm και ενώνουμε τα άκρα της με διαφανή αυτοκόλλητη ταινία έτσι, ώστε να σχηματιστεί ένας κύλινδρος. 5. Περιμετρικά και στο μέσο του κυλίνδρου προσαρμόζουμε την κλίμακα (δηλαδή τη βαθμονομημένη λουρίδα από τη μιλιμετρέ διαφάνεια.). 6. Κόβουμε, πάλι, από το πλαστικό φύλλο δύο ίσες λουρίδες που η καθεμία έχει πλάτος 2 cm και μήκος 126 cm . Από την κάθε λουρίδα, και σε όλο το μήκος της, αφαιρούμε ανά 1,5 cm από ένα ορθογώνιο τμήμα πλάτους 10 cm και μήκους 1,5 cm δημιουργώντας έτσι διαδοχικές ορθογώνιες προεξοχές (δόντια). Κάμπτουμε τις προεξοχές σε ορθή γωνία.7. Στη συνέχεια συρράπτουμε το συνεχές τμήμα κάθε λουρίδας στα (επάνω και κάτω) χείλη του κυλίνδρου, προσέχοντας οι προεξοχές (δόντια) να βλέπουν προς το εσωτερικό του ανοίγματος του κυλίνδρου. Τώρα, τοποθετούμε τον κύλινδρο στο επίπεδο χείλος του ενός πλαστικού δίσκου (με τη σύριγγα). Ομοίως, ομοίως τοποθετούμε το δεύτερο δίσκο (με τις δυο τρύπες) στο πάνω άνοιγμα του κυλίνδρου, φτιάχνοντας έτσι το «σώμα» της συσκευής.8. Από το κάθε μπουκάλι αφαιρούμε το τμήμα της βάσης του, κόβοντάς το με το ψαλίδι σε ύψος 1 cm (από τη βάση). 9. Σχεδιάζουμε με μαρκαδόρο ένα κύκλο σε απόσταση, λόγου χάρη, 8 cm κάτω από την επάνω επιφάνεια του πώματος του κάθε μπουκαλιού. Τοποθετούμε τα τρία μπουκάλια το ένα επάνω στο άλλο, εισάγοντας στο άνω άνοιγμα του ενός στο κάτω του άλλου και σφηνώνοντάς το μέχρι τη γραμμή που έχουμε σημειώσει έτσι, ώστε να δημιουργηθεί ένας «σωλήνας» ύψους περίπου 65 cm . 10. Στη συνέχεια προσαρμόζουμε τη μεγάλη τρύπα του επάνω δίσκου τον κατώτατο αυλακοειδή δακτύλιο του «σωλήνα», σφηνώνοντάς τον κατάλληλα σε αυτή έτσι, ώστε ο «σωλήνας» να στέκεται κατακόρυφος στο «σώμα» της συσκευής. 11. Παίρνουμε το καπάκι του επάνω (τρίτου) μπουκαλιού και στο κέντρο του ανοίγουμε τρύπα 6-8 mm. Το καπάκι αυτό το καλύπτουμε με άλλο εσωτερικής διαμέτρου ίσης με την εξωτερική του και κάνουμε σχισμή συμμετρική ως προς το κέντρο του μήκους 5-6 mm, φτιάχνοντας έτσι την «κεφαλή ανάρτησης».

12. Παίρνουμε ράβδου ανάρτησης αφισών και στην κάθε άκρη της προσαρμόζουμε σταθερά από μια πλαστική οδοντογλυφίδα έτσι, ώστε να προεξέχουν εκατέρωθεν των άκρων 4 cm . Στη μια οδοντογλυφίδα καρφώνουμε ένα σφαιρίδιο από φελιζόλ. Στο μέσο της ράβδου τοποθετούμε σταθερά το σωληνάκι από το ανοικτό άκρο δεξαμενής μελάνης στυλό (bic).

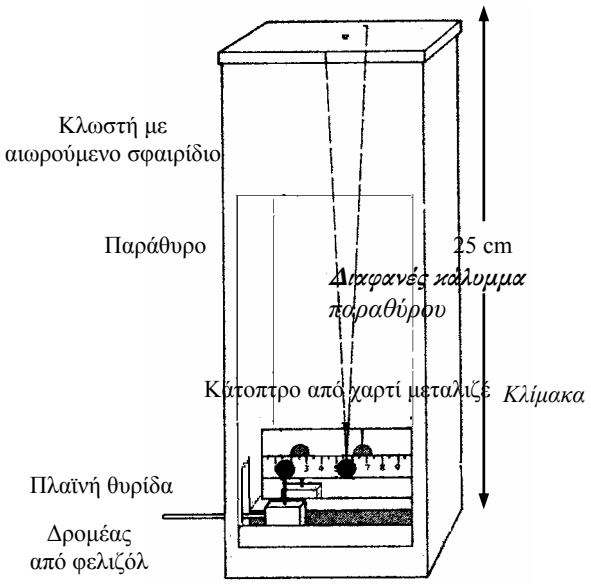
13. Από το φύλλο χιλιοστομετρικού χαρτιού (μιλιμετρέ) κόβουμε δυο λουρίδες πλάτους 1,5 cm και τις ενώνουμε για να φτιάξουμε μία με μήκος 36 cm. Ενώνουμε τα άκρα αυτής της λουρίδας και φτιάχνουμε μια κλίμακα μέτρησης σε μοίρες με 0° στη γραμμή ένωσης και αντιστοιχώντας, διαδοχικά, 10 mm σε 10°, 20°, 30° κτλ. μέχρι 180° προς τα δεξιά και όμοια -10°, -20°, -30° κτλ. προς τα αριστερά. Την κλίμακα την τοποθετούμε περιμετρικά και σταθερά σε ίσης διαμέτρου και πάχους πλαστικό ή χάρτινο δίσκο, στο κέντρο του οποίου ανοίγουμε τρύπα ίση με την εξωτερική διάμετρο του στομίου του μπουκαλιού, το περνάμε στο στόμιο του επάνω (τρίτου) μπουκαλιού και βιδώνουμε το καπάκι. Ένας χαρτονένιος δείκτης προσαρμόζεται στην κλίμακα.14.Κόβουμε από το πλαστικό φύλλο μια λουρίδα πλάτους 4 mm και μήκους 90 cm. Το ένα άκρο της το προσαρμόζουμε σταθερά στο κέντρο της ράβδου ανάρτησης αφισών και το άλλο το περνάμε από το εσωτερικό του ημιανοικτού σωλήνα και την επάνω κλίμακα μέτρησης στη σχισμή της κεφαλής ανάρτησης. 15. Ρύθμιση του ζυγού: Τραβάμε τη λωρίδα προς τα άνω ώστε η ράβδος να βρεθεί ελάχιστα ποιο πάνω από τη βελόνα της σύριγγας, ρυθμίζουμε τα πόδια ώστε το σωληνάκι στον κατακόρυφο άξονα της ράβδου να βρεθεί αντικριστά στη βελόνα της σύριγγας και στη συνέχεια πιέζουμε προς τα κάτω τη λουρίδα μέχρι να μπει η βελόνα στο σωληνάκι, περιστρέφουμε την κεφαλή ανάρτησης ώστε το αιωρούμενο σφαιρίδιο και ο δείκτης της κεφαλής ανάρτησης να αντιστοιχούν στο 0 των κλιμάκων, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στο επίπεδο που περνά από τον κατακόρυφο άξονα της συσκευής και εφάπτεται στην τρύπα εισόδου.
Η κατασκευή μας πρέπει τώρα να είναι σαν αυτή της Εικόνας 3 (που δείχνει τη συσκευή σε εγκάρσια τομή).

Συσκευή Coulomb

Υλικά - Κατασκευή

Ένα χάρτινο κουτί συσκευασίας με ορθογώνιο σχήμα, λόγου χάρη από φιάλη ποτού, με ενδεικτικές διαστάσεις 12 cm x 12 cm x 25 cm.

- Δυο-τρία σφαιρίδια από φελιζόλ διαμέτρου 10 mm περίπου.
- Πολύ λεπτή κλωστή μήκους 70-80 cm ή λεπτό νάιλον νήμα (από γυναικείο καλτσόν) .
- Τρεις-τέσσερις πλαστικές οδοντογλυφίδες με τις δύο από αυτές ενωμένες μεταξύ τους με αυτοκόλλητη ταινία .
- Δύο πλαστικά διαφανή φύλλα (διαφάνεια γραφής μεγέθους Α4).
- Ένα φύλλο χιλιοστομετρικού χαρτιού (μιλιμετρέ).
- Πλαστικός διαφανής χάρακας με κλίμακα 0-20 cm ή μικρότερη (ή/και φωτοτυπία της κλίμακας του χάρακα).
- Ένα ορθογώνιο κομμάτι φελιζόλ με ενδεικτικές διαστάσεις 4 cm x 4 cm x 6 cm .
- Ένα επίπεδο κάτοπτρο από γυαλί ή από χαρτί μεταλλιζέ ασημένιου χρώματος, με ενδεικτικές διαστάσεις 11 cm x 5 cm .
- Κολλητική ταινία ή σελοτέιπ, κόλλα ρευστή, γυαλόχαρτο Νο 2, μελάνι εκτυπωτή.
- Τρίγωνο, μοιρογνωμόνιο, ψαλίδι, συρραπτικό, χαρτοκόπτης λεπίδας, κυλινδρική λίμα
- Ψαλίδι, βελόνα, διαβήτης, χαρτομάντιλο.



Εικόνα 4: Συσκευή Coulomb.

1. Στο καπάκι του κουτιού, στο κέντρο του μεγάλου πτερύγιου του, ανοίγουμε με το στυλό μια τρύπα με διάμετρο 4 mm περίπου και στη συνέχεια αφαιρούμε τα πλαϊνά πτερύγια.(Η τρύπα χρειάζεται για το

κεντράρισμα του σφαιριδίου.) 2. Στο κάτω άκρο της μιας μικρής πλαϊνής έδρας και στο μέσο της, ανοίγουμε μια θυρίδα πλάτους 4 cm και ύψους 6 cm περίπου. 3. Στην εμπρός μεγάλη έδρα του κουτιού ανοίγουμε ένα μεγάλο ορθογώνιο παράθυρο. Το πλάτος του ανοίγματος είναι όσο της έδρας , ύψος του αρχίζει 1 cm πάνω από τη βάση και τελειώνει 3 –4 cm πάνω από την οριζόντια διάμεσο της έδρας . Το παράθυρο το καλύπτουμε με ισομέγεθες περίπου διαφανές πλαστικό φύλλο (διαφάνεια γραφής) κολλημένο με ταινία ή σελοτέιπ σε όλο το μήκος του άνω χείλους του ανοίγματος, ώστε να ανοιγοκλείνει κατά βούληση .4. Στα άνω άκρα των δύο μεγάλων εδρών, στο μέσο της καθεμιάς, χαράσσουμε με ψαλίδι από μια κατακόρυφη σχισμή μήκους 1 cm .5. Κόβουμε από το μιλιμετρέ μια λουρίδα πλάτους 1,5 cm. Στη λουρίδα σχεδιάζουμε κλίμακα με το 0 στο μέσο και εκατέρωθεν του μηδενός γράφουμε, ανά 1 cm , τους αριθμούς 1, 2, 3, 4, 5 κτλ. και -1,-2,-3,-4,-5 κτλ., αντίστοιχα. (Εναλλακτικά χρησιμοποιούμε φωτοτυπία της κλίμακας του πλαστικού χάρακα.)6. Κολλάμε την κλίμακα στο μέσο του κατόπτρου ή του μεταλιζέ χαρτιού. 7. Προσαρμόζουμε (κολλάμε) σταθερά το κάτοπτρο με την κλίμακα στο εσωτερικό της έδρας της απέναντι του παραθύρου και παράλληλα με τη βάση του κουτιού έτσι, ώστε το πάνω άκρο της κλίμακας να απέχει 5 cm απ' αυτή. 8. Στο εσωτερικό της τετράγωνης βάσης του κουτιού τοποθετούμε ίσης επιφάνειας χαρτί μιλιμετρέ, στο κέντρο του οποίου σχεδιάζουμε κύκλο ακτίνας 1 cm. 9. Καρφώνουμε κάθετα στο κέντρο της μιας μικρής έδρας του ορθογώνιου φελιζόλ τη μια οδοντογλυφίδα. Προσέχουμε το ορθογώνιο φελιζόλ (δρομέας) να μπαινοβγαίνει ελεύθερα στις πλαϊνές θυρίδες του κουτιού. 10. Κόβουμε δύο (ή περισσότερους) κύβους φελιζόλ, που ο καθένας έχει διαστάσεις 1 cm x 1 cm x 1 cm και σχεδιάζουμε με μαρκαδόρο σε κάθε έδρα του κύβου ένα κύκλο ακτίνας 1 cm . Στη συνέχεια τρίβουμε σε μέτριο γυαλόχαρτο τις ακμές και διαμορφώνουμε τον κύβο αρχικά σε κύλινδρο και ακολούθως σε σφαίρα (για να φτιάξουμε τα σφαιρίδια). 11. Τα σφαιρίδια που φτιάξαμε τα καλύπτουμε με μελάνι εκτυπωτή, ώστε να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα. 12. Τρυπάμε με λεπτή βελόνα το ένα σφαιρίδιο κατά μήκος μιας διαμέτρου του και περνάμε διπλή την κλωστή ή το νάιλον νήμα. Δένουμε κόμπο τα δύο άκρα της κλωστής, τα βρέχουμε με κόλλα και τα εισάγουμε στο εσωτερικό του σφαιριδίου. Στη συνέχεια, κόβουμε την κλωστή στη μέση και τα ελεύθερα άκρα τα περνάμε, σε σχήμα V, από τις σχισμές των δύο απέναντι εδρών του κουτιού. Τραβώντας τα άκρα των νημάτων τα ρυθμίζουμε έτσι, ώστε το σφαιρίδιο να βρίσκεται (αιωρείται) στο κατακόρυφο επίπεδο κατά μήκος του άξονα του κουτιού αντίκρυ στο κάτοπτρο και να απέχει 5 cm περίπου από τη βάση του κουτιού.13. «Βλέποντας» διαμέσου της τρύπας που υπάρχει στο καπάκι του κουτιού κεντράρουμε το αιωρούμενο σφαιρίδιο σκοπεύοντας το κέντρο του κύκλου στο χαρτί μιλιμετρέ στο εσωτερικό της βάσης του κουτιού. 14. Καρφώνουμε ένα δεύτερο σφαιρίδιο στην οδοντογλυφίδα και το τοποθετούμε όρθιο στο μέσο της επάνω μεγάλης επιφάνειας του ορθογώνιου κομματιού φελιζόλ (δρομέα). (Εναλλακτικά, αντί του δρομέα, μπορούμε να έχουμε το σφαιρίδιο απευθείας καρφωμένο σε δύο ενωμένες μεταξύ τους πλαστικές οδοντογλυφίδες.) 15. Ρυθμίζουμε το σφαιρίδιο του δρομέα να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το αιωρούμενο σφαιρίδιο (στο εσωτερικό του κουτιού).
Η κατασκευή μας πρέπει τώρα να είναι σαν αυτή της Εικόνας 4.

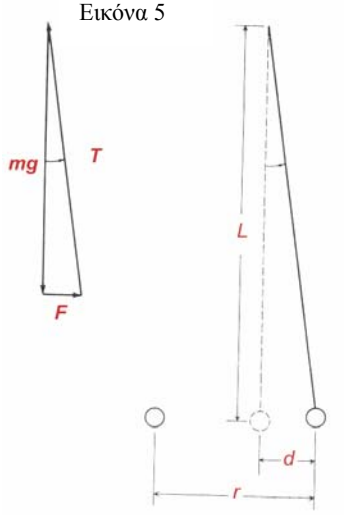
Μετρήσεις με την αυτοσχέδια συσκευή Coulomb

Αλλού έχει περιγραφεί η διαδικασία μέτρησης[6],[7] με τη συσκευή Coulomb. Έτσι, όταν το αιωρούμενο σφαιρίδιο είναι ακίνητο το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων της τάσης $\boldsymbol{T}$ του νήματος (κλωστής) και του βάρους της μάζας του σφαιριδίου $\boldsymbol{mg}$ είναι ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς με την ηλεκτρική δύναμη $\boldsymbol{F}$. Για μικρές γωνίες πάλι, τα πηλίκα F/ mg και d/ L είναι ίσα μεταξύ τους. Δηλαδή, $F = (mg/L)\, d$ *και* $F = k\, d$, όπου d είναι η απόσταση του αιωρούμενου σφαιριδίου από την αρχική θέση ισορροπίας του και r είναι η απόσταση των δύο σφαιριδίων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5. Ενδεικτικές πειραματικές τιμές έχουν καταχωριστεί στον Πίνακα 1 και στα αντίστοιχα γραφήματα *δύναμης- απόστασης* και *δύναμης* – $1/ r^2$. (Καθώς πρωταρχικά δεν ενδιαφέρουν οι μονάδες μέτρησης, μετράμε την ηλεκτρική δύναμη ως συνάρτηση του d, σε cm).

[6]Haber – Schaim, U., Dodge, J., Walter, J.: *Εργαστηριακός Οδηγός PSSC Φυσική*, εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1995, σελ. 38-41.

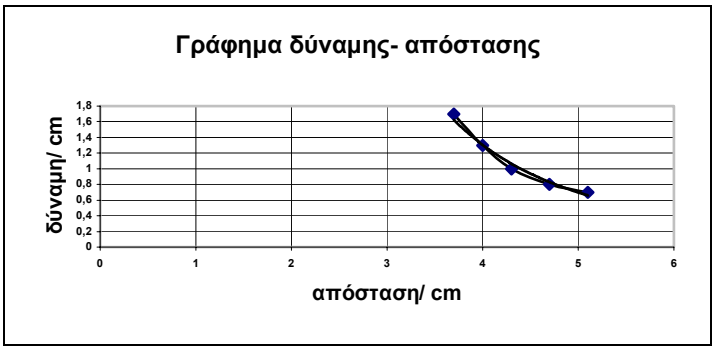
[7] Γάτσιος, Ι., Παπασταματίου, Ν.: «Συσκευή για τη μελέτη του νόμου του Coulomb», *Φυσικός κόσμος,* τχ. 8, 2002, σελ. 30-33.

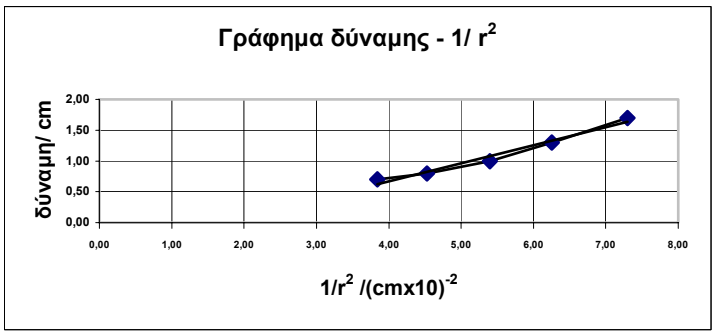
Εικόνα 5



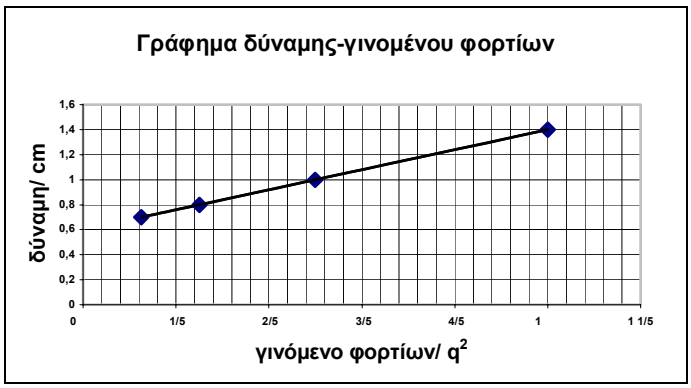
Πίνακας 1

Απόσταση ***r*** **/ cm**	***Δύναμη*** ***d*** **/ cm**
5,1	0,7
4,7	0,8
4,3	1,0
4,0	1,3
3,7	1,7





Για την απόδειξη της αναλογίας ηλεκτρικής δύναμης και γινομένου (ποσότητας) ηλεκτρικών φορτίων, από τον αντίστοιχο Πίνακα τιμών ($F \propto d, q$) παίρνουμε το ακόλουθο γράφημα *δύναμης – γινομένου φορτίων* :



Η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αποτελεσματικό τρόπο είτε για εργαστηριακή διδασκαλία μορφής μετωπικού ή κυκλικού εργαστηρίου είτε για πείραμα επίδειξης. Στην τελευταία περίπτωση οι μετρήσεις θα είναι

ευδιάκριτες από όλους τους μαθητές, αν η συσκευή τοποθετηθεί επάνω στον προβολέα οβερχέντ[8]. Μόνο που για την περίπτωση αυτή πρέπει να ανοιχθεί ένα παράθυρο κατάλληλων διαστάσεων στη βάση του κουτιού, να τοποθετηθεί ένας διαφανής πλαστικός χάρακας επάνω στο παράθυρο της βάσης και τέλος να ανοιχθεί το (επάνω) καπάκι του κουτιού.

Επιλεγόμενα

Σχολιάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι οι συσκευές με απλά μέσα σαν τη συσκευή Coulomb – αλλά και το αμπερόμετρο και το ζυγό στρέψης Coulomb – είναι αξιόπιστες για πειράματα φυσικής που απαιτούν ακριβείς ποσοτικές μετρήσεις. Για παράδειγμα με το προτεινόμενο αμπερόμετρο (σε συνδυασμό με αναλογικό ή ψηφιακό βολτόμετρο, μπαταρία 4,5 V και αντιστάτη 10 Ω, 2,5 W ή λαμπάκι φανού 3,5 V, 0,3 A) μπορεί εύκολα να επαληθευτεί ο νόμος του Ωμ και η μεταβολή της αντίστασης με τη θερμοκρασία στο νήμα της λάμπας[9], ενώ οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα με την αυτοσχέδια συσκευή Coulomb είναι συγκρίσιμα με ενδεικτικά αποτελέσματα που προκύπτουν με μετρήσεις με την αντίστοιχη συσκευή του εμπορίου[10].

[8] Arons, A.: *Οδηγός διδασκαλίας της φυσικής*, εκδ. Τροχαλία, Αθήνα 1992, σελ. 252-255.
[9] Καραπαναγιώτης, Β., Παπασταματίου, Ν., Φέρτης, Α., Χαλέτσος, Χ.: *Φυσική γ΄ τάξης γυμνασίου*, εκδ. ΟΕΔΒ, Αθήνα 2000, σελ. 32-34.
[10] Haber – Schaim, U., Dodge, J., Walter, J.: *PSSC Φυσική*, *Βιβλίο του Καθηγητή*, εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1992, σελ. 158-160