

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΒΑΓΓΕΛΗ ΒΙΤΩΡΑΤΟΥ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΣ ΓΕΩΡΓΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ

ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΙ

ΠΑΤΡΑ 1987

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι σημειώσεις αυτές γράφτηκαν για να βοηθήσουν τους φοιτητές του 8ου εξαμήνου του Φυσικού Τμήματος που διάλεξαν το κατ'επιλογήν μάθημα: "Πειράματα Επίδειξης Φυσικής ΙΙ". Αφορούν κυρίως το στήσιμο των πειραματικών διατάξεων. Πιστεύουμε ότι υπάρχει το θεωρητικό υπόβαθρο, γιατί αυτό τα θεωρητικά στοιχεία είναι ελάχιστα. Είναι προφανές ότι οι φοιτητές πρέπει να συμβουλευονται τη σχετική βιβλιογραφία.

Τα χρονικά περιθώρια της προετοιμασίας των σημειώσεων αυτών ήταν πολύ στενά και δεν μας επέτρεψαν να συμπεριλάβουμε και πολλές ενδιαφέρουσες εφαρμογές και παρατηρήσεις που στηρίζονται στα φαινόμενα που πειραματικά παρατηρούμε και περιγράφουμε. Σκοπεύουμε όμως σε μία βελτιωμένη έκδοση στο προσεχές μέλλον και κάθε υπόδειξη θα μας είναι ιδιαίτερα ευπρόσδεκτη.

Ευχαριστούμε την κ. Ουρανία Τσάτη για την επιμελή δακτυλογράφηση του κειμένου.

Ε.Βιτωράτος Σ. Γεωργά

Μάης 1987

ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Γενικά

Με τα πειράματα Ηλεκτροστατικής έχει να αντιμετωπίσει κανείς μία σημαντική δυσκολία: Η υγρασία του αέρα εμποδίζει την επιτυχία τους. Γι αυτό κατά την εκτέλεση τους είναι απαραίτητο να έχει κανείς π.χ. ένα "πιστολάκι".

Φορτία με τριβή

Παίρνουμε ένα κομμάτι δέρμα γάτας ή μάλλινο ύφασμα και τρίβουμε μ'αυτό μία γυάλινη ράβδο, αφού προηγουμένως έχουμε "ξηράνει" και το ραβδί και το δέρμα με το "πιστολάκι". Με την τριβή "μεταπηδούν" φορτία από το ένα σώμα στο άλλο, και έτσι τα δύο σώματα (ύφασμα και ράβδος) φορτίζονται.

Συγκεκριμένα: Ηλεκτρόνια "μεταπηδούν" από τη ράβδο στο ύφασμα και έτσι λέμε ότι η ράβδος που έχει έλλειψη αρνητικού φορτίου (ηλεκτρονίων) είναι θετικά φορτισμένη.

Αν χρησιμοποιούσαμε ράβδο από εβονίτη, τότε η "πορεία" των φορτίων θα ήταν αντίθετη, δηλαδή θα είχαμε "μεταπήδηση" ηλεκτρονίων από το ύφασμα στον εβονίτη και έτσι η ράβδος του εβονίτη θα ήταν αρνητικά φορτισμένη.

Φορτία παράγονται σε κάθε περίπτωση όπου υπάρχει τριβή, σε συνθήκες βέβαια ξηρασίας. Π.χ. φορτία παράγονται κατά την τριβή με τον αέρα ενός αυτοκινήτου που τρέχει. Μερικές φορές, τα φορτία είναι αρκετά και γίνονται επικίνδυνα ώστε "εκσπάει" σπινθήρας. Έτσι σε αυτοκίνητα που μεταφέρουν καύσιμα βλέπει κανείς να "σέρνεται" στο οδόστρωμα μία αλυσίδα, μέσα από την οποία "μεταφέρονται" στο έδαφος τα φορτία που παράγονται λόγω τριβής.

Ένας απλός τρόπος για να διαπιστώσουμε την δημιουργία φορτίου με "τριβή" είναι με τη χρήση του

ηλεκτρικού εκκρεμούς. Το ηλεκτρικό εκκρεμές είναι ένα μικρό κομμάτι φελλός ή ένα μεταλλικό μικρό σφαιρίδιο (π.χ. πιεσμένο αλουμινόχαρτο) που κρέμεται από ένα νήμα.

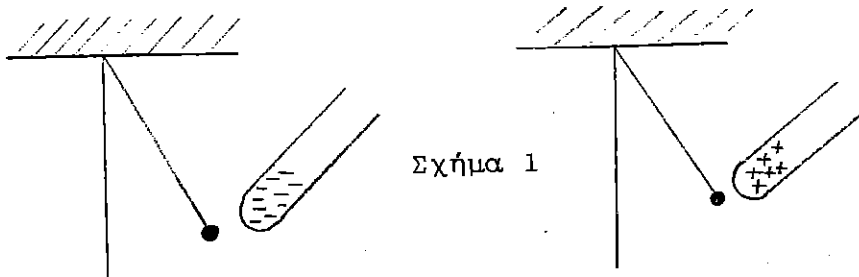
Αν λοιπόν, πλησιάσουμε τη φορτισμένη ράβδο από εβονίτη ή γυαλί στο σφαιράκι από φελλό του ηλεκτρικού εκκρεμούς θα παρατηρήσουμε έλξη. Το ίδιο θα παρατηρήσουμε αν πλησιάσουμε τη ράβδο στο μεταλλικό σφαιρίδιο (Σχήμα 1). Γιατί;

Ας ξεκινήσουμε από το μεταλλικό σφαιράκι. Όταν πλησιάσουμε σ' αυτό μία π.χ. αρνητικά φορτισμένη ράβδο, τότε δημιουργείται η κατάσταση που φαίνεται στο σχήμα 2.: Υπό την επίδραση του πεδίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου απωθούνται προς τη μεριά του "σφαιριδίου" που βρίσκεται μακρύτερα από το ραβδί, έτσι που στη μεριά που είναι απέναντι (κοντά) από τη ράβδο να δημιουργείται έλλειψη ηλεκτρονίων, άρα θετικό φορτίο. Έτσι εξηγείται η έλξη.

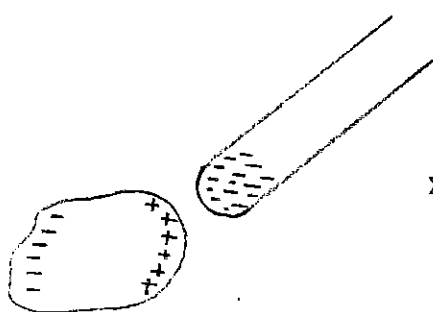
Στον φελλό; Ο φελλός ναι μεν δεν διαθέτει ελεύθερα ηλεκτρόνια, διαθέτει όμως δίπολα. Έτσι ενώ αρχικά τα δίπολα ήταν άτακτα προσανατολισμένα (σχήμα 3) πλησιάζοντας την φορτισμένη ράβδο, προσανατολίστηκαν, έτσι ώστε το θετικό άκρο του να βρίσκεται προς το μέρος της αρχικά φορτισμένης ράβδου. Η ερμηνεία λοιπόν τώρα της παρατηρούμενης έλξης είναι πλέον προφανής.

Τα μόρια του νερού είναι διπολικά

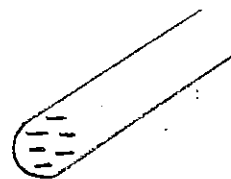
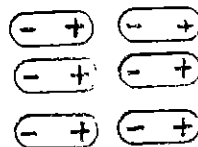
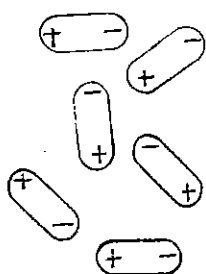
Άμα, σε μία λεπτή φλέβα νερού πλησιάσουμε μία φορτισμένη ράβδο (ή μία φορτισμένη χτένα), θα παρατηρήσουμε ότι η ροή της φλέβας επηρεάζεται. Πράγματι: Οι Χημικοί χρησιμοποιούν γυάλινους σωλήνες με στρόφιγγα στο κάτω μέρος (προχοΐδες). Μπορεί κανείς να προμηθευτεί τέτοιο σωλήνα από φαρμακεία ή καταστήματα που διαθέτουν εξοπλισμό μικροβιολογικών ή Χημικών Εργαστηρίων. Μπορούμε να κάνουμε το πείρα-



Σχήμα 1



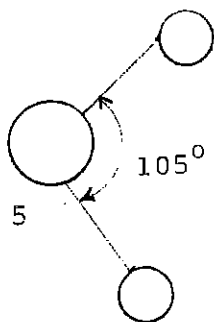
Σχήμα 2



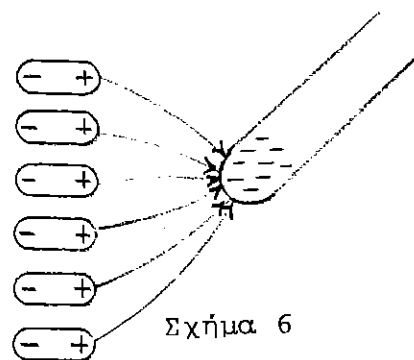
Σχήμα 3



Σχήμα 4



Σχήμα 5



Σχήμα 6

μα και στη βρύση του σπιτιού μας. Κανονίζουμε τη ροή, ώστε να έχουμε μία λεπτή φλέβα νερού. Τρίβουμε τη χτένα μ' ένα κομμάτι μάλλινο ύφασμα (αφού προηγουμένως έχουμε Ξηράνει και τη χτένα και το ύφασμα, ώστε να μην έχουμε υγρασία) και πλησιάζουμε τη "φορτισμένη" χτένα στη φλέβα του νερού. Παρατηρούμε, ότι ενώ η φλέβα του νερού κατευθυνόταν αρχικά κατακόρυφα, και το νερό έμπαινε στο ποτήρι (σχήμα 4), τώρα αποκλίνει από την κατακόρυφο και χύνεται έξω από το ποτήρι (διαλέγω ένα "στενό ποτήρι, όχι μία κατσαρόλα!!!).

Γιατί;

Τα μόρια του νερού είναι διπολικά: Το κέντρο βάρους του θετικού φορτίου δεν συμπίπτει με αυτό του ίσου αρνητικού φορτίου (σχήμα 5). Είναι εύκολο λοιπόν όπως φαίνεται και στο σχήμα 6 να δικαιολογηθεί η εκτροπή της φλέβας του υγρού.

Μια και ο λόγος για το νερό, αναφέρουμε εδώ ότι πολλές από τις ιδιότητές του οφείλονται σ' αυτή την κατασκευή του μορίου του. Υπάρχει δε ένας μεγάλος κλάδος της Φυσικής που ασχολείται με το νερό, και μεγάλα πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα διαθέτουν τεράστια ποσά για την μελέτη του νερού.

Ηλεκτροσκόπιο

Το ηλεκτροσκόπιο είναι το όργανο που αποκαλύπτει την παρουσία φορτίων. Αποτελείται από ένα μεταλλικό στέλεχος Α που καταλήγει σε δύο σκέλη στο κάτω μέρος (Β και Γ). Το ένα (Γ) είναι πολύ λεπτό και αρθρώνεται στο άλλο έτσι ώστε να μπορεί να κινείται (Σχήμα 7).

Ένας μονωτικός δακτύλιος Δ μονώνει το μεταλλικό στέλεχος Α από το κουτί μέσα στο οποίο βρίσκεται το όλο σύστημα. Το κουτί αποτελείται από γυάλινες και μεταλλικές επιφάνειες που είναι γειωμένες.

Όταν πλησιάσει κανείς μία φορτισμένη ράβδο

στο άκρο Α, το ηλεκτροσκόπιο αποκρίνεται ανυψώνοντας το σκέλος Γ, (Ηλέκτριση ΕΞ επαγωγής).

Γιατί;

Έστω ότι πλησιάζουμε μία ράβδο αρνητικά φορτισμένη. Το ηλεκτροσκόπιο βρίσκεται στο πεδίο που δημιουργεί το φορτίο της ράβδου. Έτσι τα αρνητικά φορτία απωθούνται προς τα άκρα Β, Γ και στο άκρο Α υπάρχει έλλειψη αρνητικού φορτίου, δηλαδή περίσσεια θετικού. Επειδή λοιπόν τα άκρα Β, Γ είναι φορτισμένα με το ίδιο είδος φορτίου απωθούνται αμοιβαία. Το άκρο Γ έχει τη δυνατότητα (εκ κατασκευής) να κινηθεί και πράγματι αυτό συμβαίνει.

Αν ακουμπήσουμε το χέρι μας στο ηλεκτροσκόπιο ενώ είναι κοντά του η φορτισμένη ράβδος, "παίρνουμε" το ένα είδος των φορτίων και το ηλεκτροσκόπιο παραμένει φορτισμένο ακόμα και μετά την απομάκρυνση της ράβδου.

Πλησιάζοντας ένα αναμμένο κεριά στο ηλεκτροσκόπιο εκφορτίζεται: Το σκέλος Γ πλησιάζει το Β.

Γιατί;

Το αναμμένο κεριά προσφέρει ενέργεια (ποσά θερμότητας) στα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα, τα ιονίζει (δημιουργεί δηλ. ζεύγη ετερόνυμων φορτίων) και τα φορτία με το κατάλληλο πρόσημο οδεύουν προς το στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου όπου εξουδετερώνουν αυτά που υπάρχουν εκεί. (Σχήμα 8)

Στο σχήμα 9 φαίνονται τα διαδοχικά στάδια φόρτισης ενός ηλεκτροσκοπίου.

Θωράκιση

Πως μπορεί τώρα κανείς να θωρακίσει κάποιες διατάξεις από το ηλεκτροστατικό πεδίο; Με άλλα λόγια να καθορίσει την έκταση του πεδίου;

Έστω το ηλεκτρικό εκκρεμές που περιγράψαμε στα προηγούμενα. Υπό την επίδρασή του πεδίου της φορτισμένης ράβδου εβονίτου το κομμάτι ο φελλός έλκεται. Αν παρεμβάλλω ένα γειωμένο μεταλλικό πλέγμα, τότε το πεδίο περιορίζεται μεταξύ του πλέγματος και

της ράβδου (σχήμα 10) και ο χώρος αριστερά του πλέγματος δεν είναι πεδίο. Άρα τα δίπολα που υπάρχουν στον φελλό δεν προσανατολίζονται και δεν παρατηρείται έλξη του φελλού. Ομοίως δεν παρατηρείται έλξη της μικρής σφαίρας από το αλουμινόχαρτο.

Η ωφέλεια της ηλεκτροστατικής θωράκισης είναι πολύτιμη ιδιαίτερα όταν κανείς δουλεύει με πολύ μικρές τάσεις. Αν δεν θωρακίσει τις συσκευές και τα καλώδια που φέρουν το σήμα τότε δεν μπορεί να κάνει μέτρηση. Αυτό που διαβάζει είναι μάλλον ο θόρυβος και το φαινόμενο έχει χαθεί (δηλ. το σήμα που δίνει το φαινόμενο έχει χαθεί μέσα στο θόρυβο). Έτσι βλέπει κανείς ευαίσθητα όργανα μέσα σε κλουβιά από μεταλλικό πλέγμα ή τα καλώδια που μεταφέρουν σήματα να είναι περιβεβλημένα μ' ένα πλέγμα. π.χ. το καλώδιο που φέρνει το σήμα από την κεραία της τηλεόρασης στη συσκευή (ομοαξονικά καλώδια, ...) (σχήμα 11).

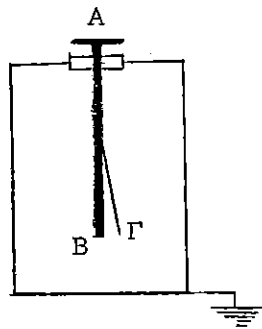
Πυκνωτής

Ας δούμε τι γίνεται άμα βάλουμε φορτία σε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες. Χρησιμοποιώντας μια ηλεκτροστατική γεννήτρια ή μία μηχανή Van de Graaf φορτίζουμε την μία πλάκα του συστήματος των δύο πλακών (σχ.12). Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών Α και Β αποκαλύπτεται με την απομάκρυνση του κινητού σκέλους του Ηλεκτροσκοπίου από το κεντρικό στέλεχος. Μεγαλώνοντας την απόσταση μεταξύ των πλακών Α και Β παρατηρούμε μεγαλύτερη απόκλιση στο ηλεκτροσκόπιο. Γιατί;

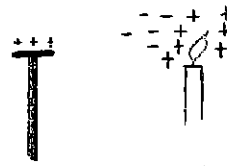
Η σχέση που συνδέει το φορτίο Q που βρίσκεται στις μεταλλικές πλάκες, με τη διαφορά δυναμικού U μεταξύ των δύο πλακών είναι

$$C = \frac{Q}{U}$$

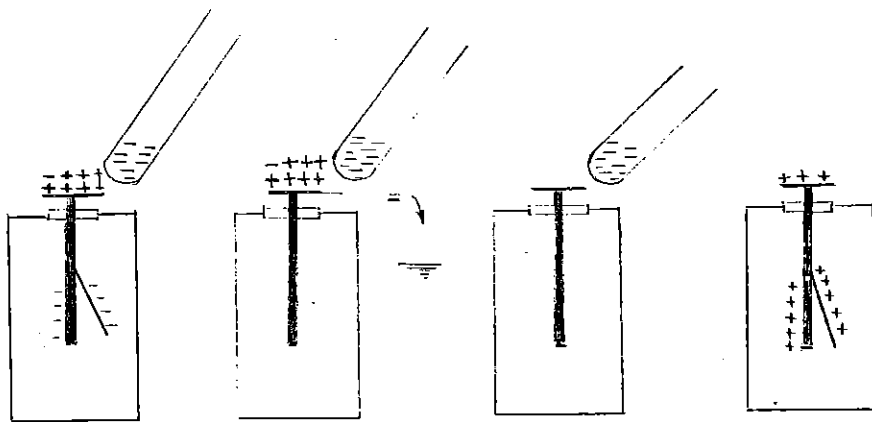
όπου C η χωρητικότητα του συστήματος των δύο πλακών. Η χωρητικότητα όμως για σύστημα δύο παραλλήλων πλακών με επιφάνειες S και που απέχουν μεταξύ τους κατά d , δίνεται (με εφαρμογή του νόμου του Gauss) από τη σχέση



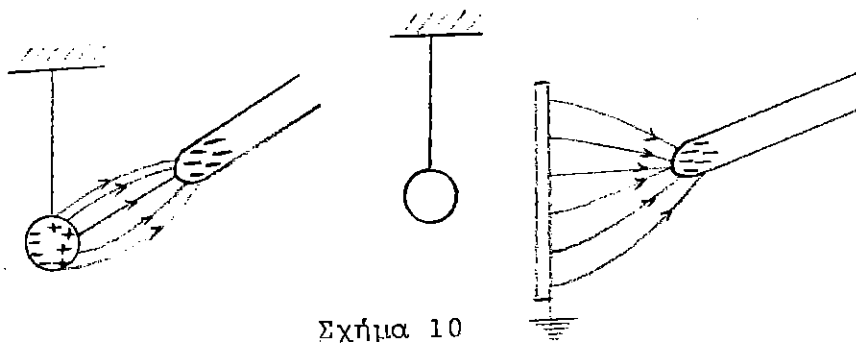
Σχήμα 7



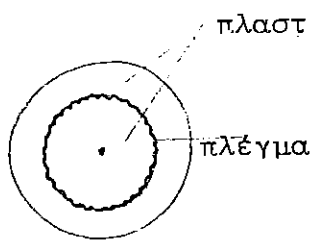
Σχήμα 8



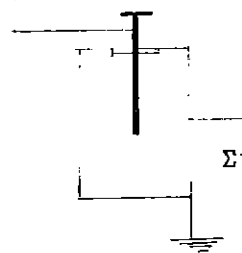
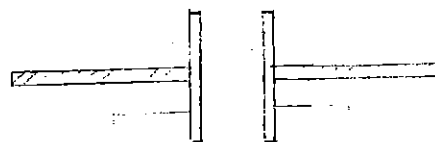
Σχήμα 9



Σχήμα 10



Σχήμα 11



Σχήμα 12

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

όπου ϵ_0 η σταθερά ηλεκτροστατικής επιδράσεως. Είναι φανερό λοιπόν ότι αυξάνοντας την απόσταση d , ελαττώνεται η χωρητικότητα C , και η ελάττωση αυτή, εφ'όσον το φορτίο Q στο σύστημα των πλακών παραμένει σταθερό, αποκαλύπτεται σαν αύξηση της διαφοράς δυναμικού U μεταξύ των πλακών.

Είδη πυκνωτών

Μία διάταξη σαν και αυτή που περιγράψαμε πάρα πάνω είναι γνωστό ότι λέγεται πυκνωτής. Είναι η πιο απλή περίπτωση πυκνωτή. Άλλες μορφές πυκνωτών είναι:

(α) πυκνωτής αέρος: στον οποίο οι μισές πλάκες μπορούν να περιστρέφονται ως προς τις υπόλοιπες έτσι που να μεταβάλλεται η χωρητικότητά του

(β) ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές για μεγάλες χωρητικότητες

(γ) πυκνωτές χάρτου, ο τρόπος κατασκευής των οποίων φαίνεται στο σχήμα 13

(δ) λουγδωνική λάγηνος, πυκνωτής με μικρή χωρητικότητα, κατάλληλος για πειράματα με υψίσυχνα ρεύματα. Θα πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι σε κάθε πυκνωτή, εκτός από την τιμή της χωρητικότητας του, αναφέρεται και κάποια τιμή τάσεως. Η τάση αυτή, είναι η μέγιστη τιμή τάσεως, που μπορεί να "δεχθεί" ο πυκνωτής, ώστε να μην εκσπάει σπινθήρας και καταστραφεί το διηλεκτρικό (διηλεκτρική αντοχή του πυκνωτή).

Εισαγωγή μεταλλικής πλάκας στον πυκνωτή

Εάν μεταξύ των πλακών του προηγούμενου συστήματος (σχήμα 12), εισάγουμε προσεκτικά (ώστε να μην ακουμπήσει τις πλάκες Α και Β), μία άλλη μεταλλική πλάκα, τότε θα παρατηρήσουμε ότι η απόκλιση μεταξύ των στελεχών του ηλεκτροσκοπίου θα ελαττωθεί. Γιατί; Με απλή εφαρμογή του νόμου του Gauss για το σύστημα αυτό των δύο μεταλλικών πλακών, που απέχουν κατά d

και μεταξύ των οποίων υπάρχει μεταλλική πλάκα πάχους έστω b , προκύπτει για την χωρητικότητα:

$$C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \frac{S}{d-b}$$

Σύμφωνα λοιπόν με τον πάρα πάνω τύπο η εξήγηση είναι προφανής.

Εισαγωγή διηλεκτρικού στον πυκνωτή

Έστω ένας πυκνωτής με παράλληλες πλάκες, τον οποίο φορτίζω με την βοήθεια μιας ηλεκτροστατικής γεννήτριας ($0 \rightarrow 6000$ V). Εν σειρά στο κύκλωμα (σχήμα 14), παρεμβάλλουμε ένα ευαίσθητο αμπερόμετρο (π.χ. ένα κατοπτρικό γαλβανόμετρο ΚΓ). Επίσης στην έξοδο της γεννήτριας, βάζουμε σε σειρά μία μεγάλη αντίσταση (της τάξεως των $M\Omega$), ώστε να μειώσουμε πολύ το ρεύμα που δίνει η ηλεκτροστατική γεννήτρια. Εφ'όσον ο πυκνωτής έχει φορτισθεί η κηλίδα του Κ.Γ. ηρεμεί. Εάν βάλουμε μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή ένα φύλλο διηλεκτρικού (π.χ. plexiglass), τότε θα παρατηρήσουμε ότι όσο διαρκεί η κίνηση του διηλεκτρικού, το Κ.Γ. δίνει κάποια ένδειξη. Γιατί; Όπως είναι γνωστό, όταν μεταξύ των οπλισμών ενός πυκνωτή C βάλουμε ένα διηλεκτρικό, αυξάνουμε τη χωρητικότητά του:

$$C = \epsilon C_0$$

όπου C_0 η χωρητικότητα του πυκνωτή στον αέρα και ϵ η διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού. Με το δεδομένο λοιπόν ότι η πηγή (ηλεκτροστατική γεννήτρια) διατηρεί την διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή σταθερή, είναι φανερό ότι αύξηση της χωρητικότητας σημαίνει προσέλευση νέων φορτίων από την πηγή προς τους οπλισμούς του πυκνωτή, δηλ. ηλεκτρικό ρεύμα. Σύμφωνα με τα πάρα πάνω είναι φανερό, ότι και κατά την εξαγωγή του διηλεκτρικού θα παρατηρηθεί ρεύμα αλλά αντίθετης φοράς.

Οι σταγόνες του
νερού μεταφέρουν
φορτίο

Φορτίζουμε με τη βοήθεια ηλεκτροστατικής γεννήτριας, το μεταλλικό δοχείο Α (σχήμα 15), μέσα στο οποίο υπάρχει κάποιο υγρό (π.χ. νερό). Κάτω από το δοχείο Α υπάρχει άλλο μεταλλικό δοχείο Β, που είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτροσκόπιο. Ανοίγουμε λίγο το σφικγικήρα Σ του δοχείου Α, ώστε να πέφτουν σταγόνες από το ένα δοχείο στο άλλο. Παρατηρούμε τότε απόκλιση του ηλεκτροσκοπίου. Γιατί;

Η ερμηνεία είναι φανερή αν σκεφτούμε ότι καθώς φορτίζουμε το μεταλλικό δοχείο Α, φορτίζεται και το υγρό που βρίσκεται μέσα σ'αυτό. Το ηλεκτροσκόπιο λοιπόν μετρά που μεταφέρουν οι σταγόνες που πέφτουν από το δοχείο Α στο Β.

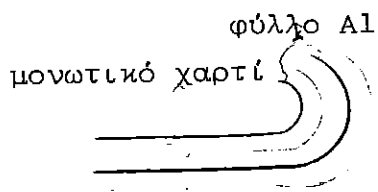
Φορτία σε ακίδα

Με τη βοήθεια της ηλεκτροστατικής γεννήτριας ή της μηχανής Van de Graaf φορτίζουμε έναν αγωγό, που στο ένα άκρο καταλήγει σε ακίδα. Πλησιάζουμε κοντά στην ακίδα ένα αναμμένο κερι, και παρατηρούμε ότι η φλόγα γέρνει προς το αντίθετο μέρος (Σχ.16).

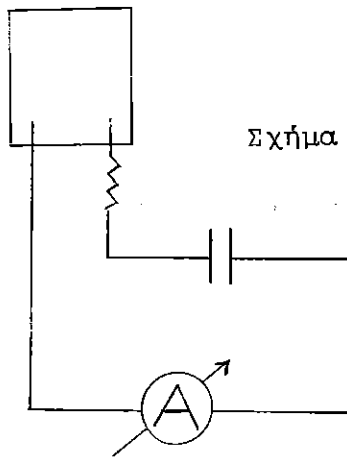
Όπως είναι γνωστό, σε έναν αγωγό τα φορτία κατανέμονται στην εξωτερική του επιφάνεια, και μάλιστα στις "προεξοχές" η συγκέντρωση φορτίων είναι πολύ μεγαλύτερη. Φορτίζοντας λοιπόν τον αγωγό, συγκεντρώνεται μεγάλο πλήθος φορτίων στην ακίδα. Έτσι που τελικά αυτά απωθούμενα να "διαφύγουν" προς τον αέρα.

Πιεζοηλεκτρικό
φαινόμενο

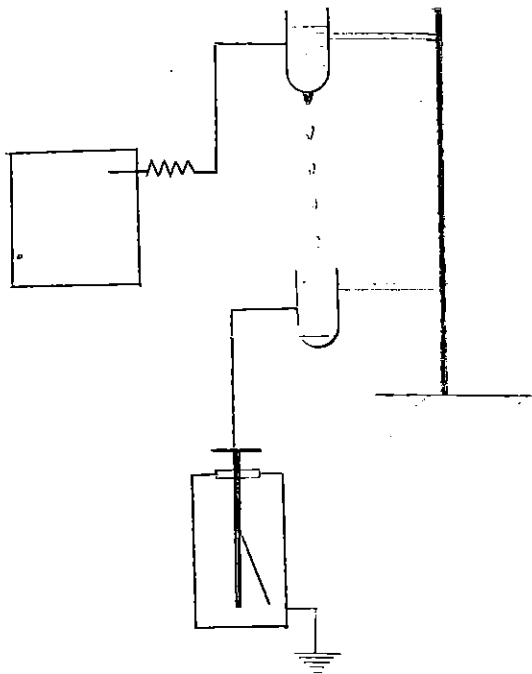
Μερικά υλικά όπως π.χ. οι κρύσταλλοι χαλαζία, παρουσιάζουν την ιδιότητα να εμφανίζουν ηλεκτρικά φορτία εκ πολώσεως όταν σ'αυτά εξασκηθεί μηχανική πίεση. Πειραματικά μπορεί κανείς να διαπιστώσει την ιδιότητα αυτή, αν με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων συνδέσει στα άκρα του κρυστάλλου ένα πολύ ευαίσθητο γαλβανόμετρο (Σχ.17).



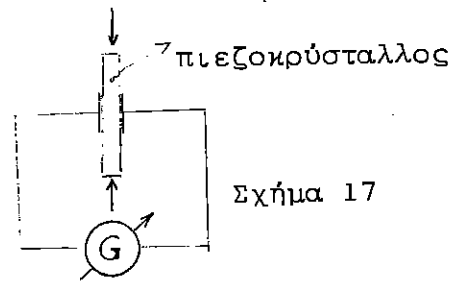
Σχήμα 13



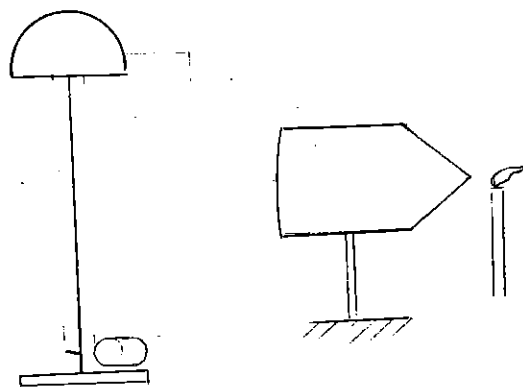
Σχήμα 14



Σχήμα 15



Σχήμα 17



Σχήμα 16

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Σύνδεση
αντιστάσεων

Πάirnουμε τρεις αντιστάσεις (τρία κομμάτια σύρμα), έναν μετασχηματιστή και ένα αμπερόμετρο. Έστω ότι οι αντιστάσεις είναι περίπου ίσες. Συνδέουμε τον μετασχηματιστή στα άκρα της μιας αντιστάσεως αφού παρεμβάλλουμε το αμπερόμετρο (σχήμα 18). Στο αμπερόμετρο διαβάζουμε κάποια ένδειξη.

Εάν τώρα συνδέσουμε τις τρεις αντιστάσεις σε σειρά, παρατηρούμε ότι στο αμπερόμετρο διαβάζουμε μικρότερη ένδειξη από την αρχική. Ενώ εάν συνδέσουμε τις αντιστάσεις παράλληλα, στο αμπερόμετρο διαβάζουμε ένδειξη αρκετά μεγαλύτερη από την αρχική. Γιατί;

Η εξήγηση είναι φανερή αν σκεφτούμε ότι στην σύνδεση σε σειρά, η ολική αντίσταση του κυκλώματος μεγαλώνει:

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3$$

οπότε το ρεύμα

$$I = \frac{U}{R_{ολ}}$$

μειώνεται αφού η U είναι σταθερή. Αντίθετα στην παράλληλη σύνδεση των αντιστάσεων, η ολική αντίσταση του κυκλώματος

$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

μικραίνει, άρα το κύκλωμα διαρρέεται, από μεγαλύτερο ρεύμα.

Με το πάρα πάνω πείραμα, εξηγείται και το γιατί, όταν στο σπίτι μας βάζουμε ταυτόχρονα σε λειτουργία πολλές ηλεκτρικές συσκευές, "πέφτει" η ασφάλεια. Αρκεί βέβαια να σκεφτούμε ότι κάθε νέα συσκευή, συνδέεται παράλληλα με την άλλη (τάση λειτουργίας 220 V A.C.)

Η αντίσταση
εξαρτάται από
τη θερμοκρασία

Έστω μία αντίσταση (ένα κομμάτι σύρμα) στα άκρα της οποίας εφαρμόζουμε μία τάση (π.χ. από έναν μετασχηματιστή). Με τη βοήθεια αμπερομέτρου, διαβάζουμε κάποια ένδειξη για το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα (Σχ.19). Εάν, ~~ζεσταίνουμε την αντίσταση~~ (π.χ. με ένα κερί) θα παρατηρήσουμε ότι το ρεύμα μειώνεται. Πράγματι, όπως είναι γνωστό, η αντίσταση εξαρτάται από την θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση

$$R = R_0 (1 + \alpha \theta)$$

όπου R_0 η αντίσταση στους 0°C , και α ο συντελεστής θερμικής αντιστάσεως ο οποίος για τους αγωγούς έχει τιμή θετική.

Καταμεριστής
τάσεως

Η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως (A.C.) που παρέχει ένας μετασχηματιστής, ή η τιμή της συνεχούς τάσεως (D.C.) που παρέχει ένα τροφοδοτικό, είναι γενικά σταθερή. Έστω λοιπόν ότι σε κάποιο κύκλωμα απαιτείται τάση μικρότερη από αυτήν που δίνει ο μετασχηματιστής ή το τροφοδοτικό που διαθέτουμε. Με ποιόν τρόπο θα πάρω την τάση που χρειάζομαι;

Συνδέω τα σταθερά άκρα (A, B σχήμα 20) μιας ρυθμιστικής αντίστασης, στην έξοδο της πηγής (μετασχηματιστής ή τροφοδοτικό) που δίνει τάση έστω V . Παίρνοντας λοιπόν την τάση V' μεταξύ του ενός από τα δύο άκρα A, B π.χ. το B και του μεταβλητού άκρου Γ της ρυθμιστικής, είναι φανερό ότι η τιμή V' της τάσεως αυτής θα εξαρτάται από την θέση του δρομέα Γ, θα μπορεί δε αυτή να παίρνει τιμή μεταξύ 0 και V . Για να είναι δε γνωστή κάθε φορά η τιμή της τάσεως V' , παρεμβάλλουμε μεταξύ των σημείων B και Γ ένα βολτόμετρο.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η εκλογή της ρυθμιστικής αντιστάσεως, γίνεται καταρχήν με κριτήριο το ρεύμα που μπορεί αυτή να δεχτεί.

Αποτελέσματα
του ηλεκτρικού
ρεύματος

(i) Θερμικά αποτελέσματα: Μπορεί κανείς να δείξει τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος (φαινόμενο Joule) με το κύκλωμα του σχήματος 18, όπου καταρχήν γίνεται "αισθητή" η αύξηση της θερμοκρασίας του σύρματος. Εξάλλου από κάποια τιμή της εφαρμοζόμενης τάσεως και πέρα, το σύρμα ερυθροπυρώνεται.

Εφαρμογές του φαινομένου Joule στην καθημερινή μας ζωή μπορούν να αναφερθούν πάρα πολλές (λαμπτήρας, θερμοσίφωνα κλπ.)

(ii) Χημικά αποτελέσματα: Για την επίδειξη των χημικών αποτελεσμάτων του ηλεκτρικού ρεύματος αρκεί σ' ένα δοχείο με απεσταγμένο νερό μέσα στο οποίο έχουμε βάλει δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια να συνδέσουμε μία πηγή συνεχούς τάσεως και ένα αμπερόμετρο (Σχ. 21). Στην αρχή που το νερό μέσα στο δοχείο είναι καθαρό η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι μηδέν. Προσθέτοντας λίγο αλάτι στο νερό, παρατηρούμε κάποια ένδειξη στο αμπερόμετρο, ενώ στα δύο ηλεκτρόδια φαίνονται φυσαλίδες (Ηλεκτρόλυση). Η εξήγηση είναι γνωστή, αν σκεφτούμε ότι τα ιόντα Na^+ και Cl^- που σχηματίζονται κατά την διάσταση του αλατιού στο νερό, υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου προσανατολίζονται προς το αρνητικό και το θετικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα.

(iii) Μαγνητικά αποτελέσματα: Τα μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος, μπορούν να επιδειχθούν με το πείραμα Oersted.

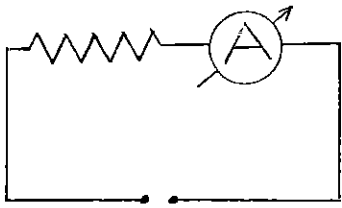
Διαθέτουμε μία μαγνητική βελόνα και παράλληλα προς αυτή, έναν αγωγό ηλεκτρικού ρεύματος (π.χ. ένα καλώδιο) (Σχήμα 22). Εάν συνδέσουμε τα άκρα του αγωγού σε ένα τροφοδοτικό, και περάσει ρεύμα από αυτόν θα παρατηρήσουμε ότι η μαγνητική βελόνα αποκλίνει από την αρχική της θέση. Αυτό είναι μία ένδειξη ότι γύρω από αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο (Oersted H. 1820).

Φυσικά στα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος θα πρέπει να αναφέρουμε και τα βιολογικά αποτελέσματα.

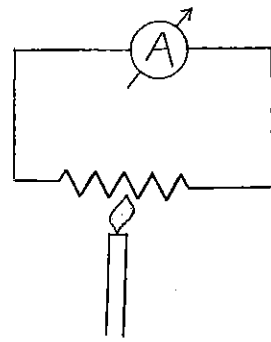
Ασφάλεια-Βραχυκύκλωμα

Πραγματοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος 23. Το κύκλωμα αποτελείται από μία πηγή, μία ρυθμιστική αντίσταση, ένα διακόπτη Δ και ένα αμπερόμετρο. Σε σειρά παρεμβάλλεται ένα κομμάτι λεπτό σύρμα ΖΕ στερεωμένο σε δύο μόνωτήρες. Αρχικά ο δρομέας της ρυθμιστικής αντιστάσεως βρίσκεται στη θέση Γ, οπότε στο κύκλωμα παρεμβάλλεται ολόκληρη η αντίσταση, και το αμπερόμετρο δίνει κάποια ένδειξη. Μετακινώντας τον δρομέα από την θέση Γ προς την θέση Β, παρατηρούμε ότι το ρεύμα συνεχώς αυξάνεται, μέχρι κάποιας τιμής, οπότε και μηδενίζεται. Ταυτόχρονα παρατηρούμε ότι το σύρμα ερυθροπυρώνεται και τελικά τήκεται. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα ξεπέρασε την μέγιστη τιμή που "αντέχει" το σύρμα ΖΕ. Εάν τώρα επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα, αλλά χωρίς να παρεμβάλουμε στο κύκλωμα την ρυθμιστική αντίσταση ΒΓ, παρατηρούμε ότι κλείνοντας τον διακόπτη Δ, το σύρμα ΖΕ ερυθροπυρώνεται και κόβεται.

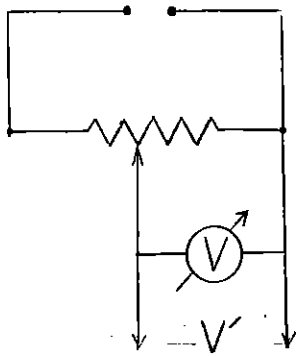
Με τα πάρα πάνω δύο πειράματα, φαίνεται αφενός η αρχή λειτουργίας της ασφάλειας αφετέρου τι είναι το βραχυκύκλωμα. Πράγματι: το σύρμα ΖΕ παίζει το ρόλο της ασφάλειας, η δε ρυθμιστική αντίσταση το ρόλο του "φορτίου" στο κύκλωμα. Αν λοιπόν για κάποιο λόγο περάσει μεγάλο ρεύμα από το κύκλωμα, το ρεύμα διακόπτεται αφού χαλάει η ασφάλεια ΖΕ και έτσι δεν καταστρέφεται κανένα από τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος.



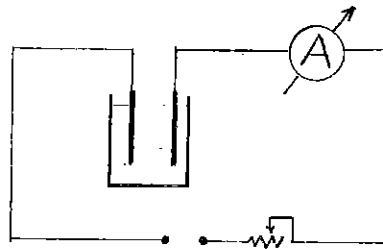
Σχήμα 18



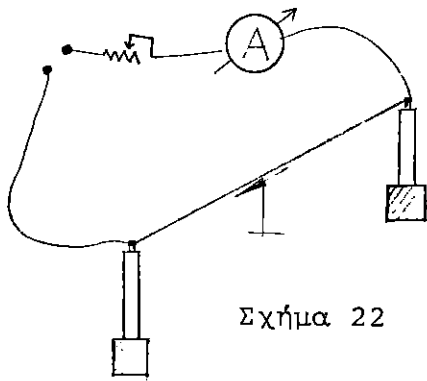
Σχήμα 19



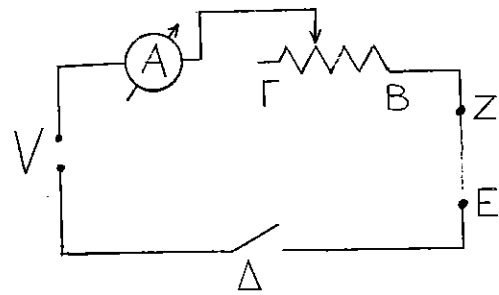
Σχήμα 20



Σχήμα 21



Σχήμα 22



Σχήμα 23

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ-ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Αλληλεπίδραση
πηνίου-μαγνήτη

Διαθέτουμε ένα πηνίο, κατασκευασμένο από σύρμα μεγάλης διατομής, ώστε να παρουσιάζει μικρή ωμική αντίσταση. Με τη βοήθεια δύο καλωδίων "κρεμάμε" το πηνίο από μία κατάλληλη βάση, και το τροφοδοτούμε με ρεύμα από μία πηγή συνεχούς. Άμα πλησιάσουμε στο πηνίο έναν μαγνήτη, τότε παρατηρούμε ότι το πηνίο έλκεται ή απωθείται από τον μαγνήτη, ανάλογα με τον πόλο του μαγνήτη που πλησιάζουμε στο πηνίο, και ανάλογα με τη φορά του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο (Σχ.24).

Γιατί;


Για την εξήγηση αυτού του πειράματος αρκεί καταρχήν να σκεφτούμε ότι κάθε κλειστός αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα I συμπεριφέρεται σαν μαγνητικό δίπολο, με μαγνητική ροπή p_m ίση προς:

$$p_m = I \cdot S$$

όπου S το εμβαδόν που περικλείει το ρεύμα I (σχήμα 25α). Με τις συνθήκες λοιπόν π.χ. του σχήματος 25α πλησιάζοντας τον βόρειο (N) πόλο του μαγνήτη στην δεξιά μεριά του πηνίου παρατηρούμε άπωση.

Στο σχήμα 25(β) φαίνεται ένας απλός μνημονικά κανόνας για τον καθορισμό της πολικότητας (N ή S) του μαγνητικού πεδίου που σχηματίζεται ανάλογα με τη φορά του ρεύματος που διαρρέει κάποια σπείρα.

Ρευματοφόρος
αγωγός σε μαγνη-
τικό πεδίο

Ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη σχήματος  τοποθετούμε έναν αγωγό (π.χ. ένα καλώδιο τεντωμένο και στερεωμένο σε δύο μονωτήρες) (σχήμα 26). Με την βοήθεια μιας πηγής συνεχούς διαβιβάζουμε ρεύμα στον αγωγό, οπότε παρατηρούμε ότι ο αγωγός "μετακινείται" προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ανάλογα με τη φορά του ρεύματος (εστιαγμένες γραμμές στο σχήμα 26).

Γιατί;

Όπως είναι γνωστό, σε αγωγό μήκους l που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα I και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B εξασκείται δύναμη Laplace:

$$F = I l B \cdot \eta\mu\phi$$

όπου ϕ η γωνία που σχηματίζουν τα I ή l με το B . Από το σχήμα 27, είναι φανερό ότι αλλάζοντας τη φορά του ρεύματος I , ή την φορά του μαγνητικού πεδίου B , αλλάζει και η φορά της δύναμης F .

Πλαίσιο μέσα σε μαγνητικό πεδίο

Μεταξύ των πόλων ενός μαγνήτη στερεώνουμε ένα πλαίσιο, ώστε να μπορεί να στρέφεται περί κατακόρυφο άξονα (σχήμα 28). Με το τροφοδοτικό διαβιβάζουμε ρεύμα στο πλαίσιο, οπότε παρατηρούμε ότι το πλαίσιο στρέφεται.

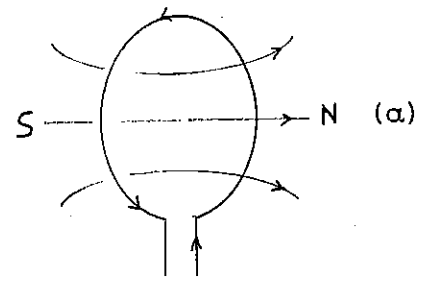
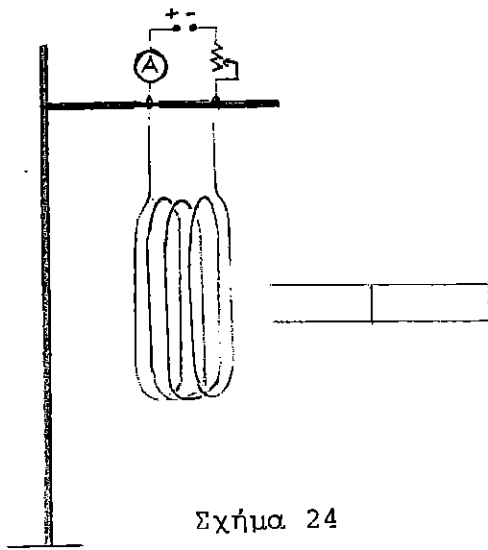
Γιατί;

Ας εξετάσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε τμήμα του πλαισίου (σχήμα 29). Στα τμήματα HZ και ΘE δεν εξασκείται καμία δύναμη γιατί οι αγωγοί αυτοί είναι παράλληλοι προς το μαγνητικό πεδίο. Αντίθετα, στα τμήματα $H\Theta$ και EZ , ασκούνται δυνάμεις F, F' ίσες και αντίθετες μεταξύ τους, έτσι που δημιουργούν ζεύγος δυνάμεων, δηλαδή μηχανική ροπή, που τείνει να στρέψει το πλαίσιο.

Εφαρμογή του πάρα πάνω πειράματος συναντά κανείς, όπως θα αναφερθεί και πάρα κάτω στα όργανα μετρήσεων π.χ. κατοπτρικά γαλβανόμετρα.

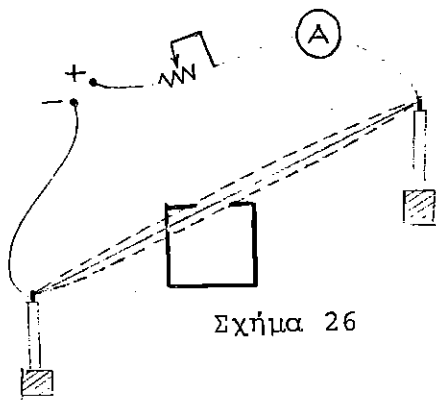
Δυνάμεις μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών

Διαθέτουμε δύο αγωγούς (π.χ. δύο καλώδια), αρκετά μεγάλου μήκους ($\sim 1m$), και τα στερεώνουμε έτσι που να είναι πολύ κοντά ο ένας στον άλλο. Διαθέτουμε επίσης και μία πηγή συνεχούς ρεύματος (π.χ. τροφοδοτικό, ή μετασχηματιστή και ανορθωτή). Με κατάλληλη σύνδεση πετυχαίνουμε ώστε οι αγωγοί να διαρρέονται είτε από ομόρροπα (σχήμα 30 (α)) είτε από αντίρροπα (σχήμα 30 (β)) ρεύματα.

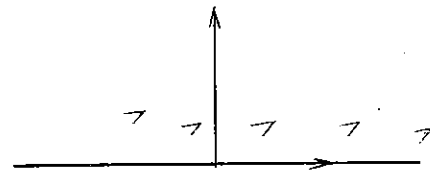


Σχήμα 25

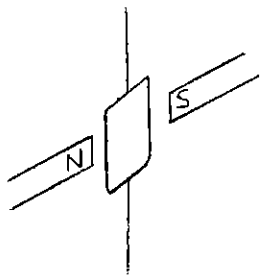
(β)



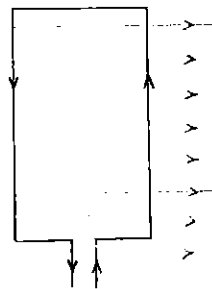
Σχήμα 26



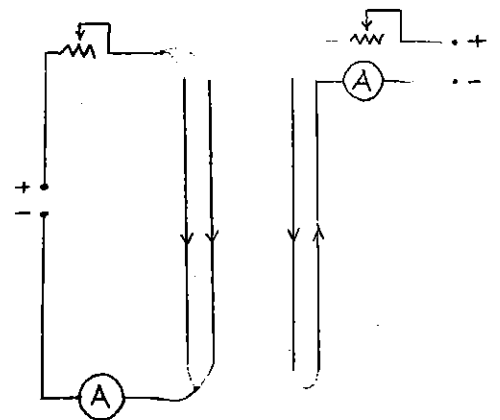
Σχήμα 27



Σχήμα 28



Σχήμα 29



Σχήμα 30


Παρατηρούμε τότε, ότι αν οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα έλκονται ενώ όταν διαρρέονται από αντίρροπα απωθούνται. Η εξήγηση είναι προφανής αν σκεφτούμε ότι κάθε ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο γειτονικός του, άρα εξασκείται πάνω του δύναμη Laplace. Όπως δε αποδεικνύεται για την περίπτωση δύο αγωγών ίσου μήκους που διαρρέονται από ίσα ρεύματα η δύναμη δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2 \ell}{d}$$

όπου d η απόσταση μεταξύ των δύο αγωγών. Επίσης από τον πάρα πάνω τύπο είναι προφανής η αιτία εκλογής αγωγών μεγάλου μήκους.

Φαινόμενο
επαγωγής

(i) Συνδέω τα άκρα ενός πηνίου π.χ. 500 σπειρών, με ένα ευαίσθητο αμπερόμετρο. Πλησιάζω και απομακρύνω από το πηνίο έναν ραβδόμορφο μαγνήτη και παρατηρώ ότι το αμπερόμετρο δείχνει κάποια ένδειξη (σχήμα 31).

(ii) Στον ένα πόλο ενός μαγνήτη σχήματος , βάζω και βγάζω ένα πηνίο στα άκρα του οποίου έχω συνδέσει ένα "λαμπάκι" με μικρή τάση λειτουργίας (σχήμα 32). Παρατηρώ ότι το λαμπάκι ανάβει.

(iii) Στα άκρα ενός πηνίου εφαρμόζω εναλλασσόμενη τάση. Παρατηρώ τότε ότι ένα άλλο πηνίο που βρίσκεται σε "σύζευξη" με το πρώτο (π.χ. "βάζοντας" το ένα πηνίο μέσα στο άλλο) διαρρέεται από ρεύμα, την τιμή του οποίου διαβάζω με κατάλληλο αμπερόμετρο (Σχ.33).

Και στα τρία πάρα πάνω πειράματα έχουμε το φαινόμενο να εμφανίζεται σε πηνίο που δεν έχουμε συνδέσει με κάποια πηγή, ρεύμα. Εδώ, έχουμε την πειραματική επιβεβαίωση του νόμου της επαγωγής: Σε πηνίο με

η σπείρες, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο του οποίου η μαγνητική ροή Φ μεταβάλλεται με κάποιο ρυθμό $\frac{d\Phi}{dt}$, αναπτύσσεται τάση από επαγωγή:

$$E_{\epsilon\pi} = -n \frac{d\Phi}{dt}$$

Αν το πηνίο συνδέεται με κάποιο κύκλωμα (π.χ. λαμπτήρα, αμπερόμετρο κλπ.) έτσι που η συνολική αντίσταση να είναι R , τότε το πηνίο θα διαρρέεται από ρεύμα:

$$i_{\epsilon\pi} = \frac{E_{\epsilon\pi}}{R} = - \frac{n}{R} \frac{d\Phi}{dt}$$

Το σημείο (-) στους παραπάνω τύπους, καθορίζει την πολικότητα της τάσεως, ή την φορά του ρεύματος όπως προσδιορίζεται από τον κανόνα Lenz.

Έτσι στα πειράματα που αναφέραμε πιο πάνω:

- (α) Εάν το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από μόνιμο μαγνήτη, μεταβάλλουμε την μαγνητική ροή είτε μετακινώντας τον μαγνήτη (i), είτε μετακινώντας το πηνίο (ii)
- (β) Εάν το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται στο εσωτερικό ενός άλλου πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα, τότε είναι φανερό ότι εάν το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο έχω και μεταβολή της μαγνητικής ροής, άρα φαινόμενο επαγωγής (iii). Εάν όμως το ρεύμα που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο στο πρώτο πηνίο ήταν συνεχές, δημιουργώ μεταβολή της μαγνητικής ροής μετακινώντας τα δύο πηνία το ένα ως προς το άλλο. Υπάρχει άλλος τρόπος;

Για το φαινόμενο της επαγωγής χαρακτηριστικό είναι το παρακάτω ιστορικό γεγονός, όπως το διαβάζουμε στο βιβλίο: "Επιλογή Προβλημάτων Φυσικής με απαντήσεις" των : Μ.Ρ. Shaskal'skaya και Ι.Α. El'tsin
Εκδ. Γ.Α. Πνευματικός:

"Ο γνωστός Άγγλος Φυσικός Michael Faraday ανακάλυψε το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής το 1831. Ο Faraday ερεύνησε με υπομονή σε πολύ χρόνο το φαινόμενο, οδηγούμενος από τη γενική ιδέα περί υπάρξεως σχέσεως ανάμεσα στα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού.

Την ίδια εποχή και ανεξάρτητα από τον Faraday εργαζόταν στην ίδια κατεύθυνση και ο Ελβετός φυσικός Colladon οδηγούμενος από την ίδια ιδέα. Το πείραμα του Colladon έγινε έτσι: Τα άκρα σωληνοειδούς συνδέθηκαν με γαλβανόμετρο, το οποίο βρισκόταν τοποθετημένο σε άλλο δωμάτιο για να αποφεύγεται η απ'ευθείας επίδραση του μαγνήτη στο γαλβανόμετρο. Ο Colladon έσπρωξε το μαγνήτη μέσα στο σωληνοειδές και ακολούθως πήγε στο άλλο δωμάτιο για να πάρει την ένδειξη του γαλβανόμετρου. Ποιο ήταν το λάθος του Colladon; Γιατί δεν πέτυχε στην ανακάλυψη του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής;"

"Αποκάλυψη"
μαγνητικών
δυναμικών
γραμμών

Η "αποκάλυψη των δυναμικών γραμμών ενός μαγνητικού πεδίου, μπορεί να γίνει εύκολα με την βοήθεια ρινισμάτων σιδήρου.

Παρεμβολή πηνίου
στο κύκλωμα

(I) Κατασκευάζουμε το κύκλωμα του σχήματος (34): χρειαζόμαστε ένα πηνίο συντελεστού αυτεπαγωγής L (π.χ. 250 σπειρών), ένα μικρό λαμπάκι (με τάση λειτουργίας π.χ. 6V) έναν διακόπτη Δ και μία πηγή συνεχούς τάσεως. Τροφοδοτούμε το κύκλωμα, με κάποια τάση μικρότερη από 6V και βλέπουμε το λαμπάκι να ανάβει. Διακόπτουμε την τροφοδοσία με τη βοήθεια του διακόπτη Δ , και παρατηρούμε ότι το λαμπάκι, στιγμιαία φωτίζεται εντονότερα, και μετά σβήνει. Γιατί;

Όταν το κύκλωμα τροφοδοτείται, στα άκρα του λαμπτήρα εφαρμόζεται τάση ίση προς την τάση της πηγής και ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Κατά τη διακοπή του κυκλώματος, εφ'όσον το ρεύμα μειώνεται από την τιμή

i στην τιμή 0, στα άκρα του πηνίου δημιουργείται μία τάση από επαγωγή

$$E_{\text{επ}} = -L \frac{di}{dt}$$

αντίθετης πολικότητας από την αρχικά εφαρμοζόμενη τάση. Όταν το πηνίο $\frac{di}{dt}$ παίρνει μεγάλες τιμές ("αποτομή" διακοπή του κύκλωματος) η τάση $E_{\text{επ}}$ είναι δυνατόν να πάρει τιμή μεγαλύτερη από την τάση V της πηγής. Δηλαδή, "στιγμιαία" στα άκρα του λαμπτήρα εφαρμόζεται τάση $E_{\text{επ}} > U$ και επομένως το λαμπάκι φωτοβολεί εντονότερα.

(II) Έστω το κύκλωμα του σχήματος (35). Αυτό αποτελείται από δύο κλάδους παράλληλους, που τροφοδοτούνται από ένα τροφοδοτικό. Ο ένας κλάδος αποτελείται από μία ρυθμιστική αντίσταση (11Ω) και έναν λαμπτήρα, και ο άλλος από ένα πηνίο (500 σπειρών) συντελεστού αυτεπαγωγής L και έναν λαμπτήρα. Οι δύο λαμπτήρες είναι ακριβώς ίδιοι μεταξύ τους. Τροφοδοτούμε το κύκλωμα και κανονίζουμε την ρυθμιστική αντίσταση έτσι που οι λαμπτήρες να φωτοβολούν το ίδιο, δηλαδή οι ωμικές αντιστάσεις R των δύο κλάδων να είναι περίπου ίσες. Διακόπτουμε την τροφοδοσία με την βοήθεια του διακόπτη Δ , και την αποκαθιστούμε πάλι. Παρατηρούμε τότε, ότι πρώτα ανάβει το λαμπάκι που είναι συνδεδεμένο με τη ρυθμιστική αντίσταση, και λίγο αργότερα αυτό που συνδέεται με το πηνίο.
Γιατί;

Ας μελετήσουμε το κύκλωμα, εφαρμόζοντας τον κανόνα του Kirchhoff στους βρόγχους ABEZ και ΑΓΔΖ:
Στον ABEZ ισχύει:

$$E = iR \quad i = \frac{E}{R}$$

δηλ. στον κλάδο με την ωμική αντίσταση το ρεύμα αποκαθίσταται αμέσως μετά την εφαρμογή της τάσεως.

Στον ΑΓΔΖ ισχύει:


$$E - L \frac{di}{dt} = i R$$

από τη λύση της οποίας προκύπτει:

$$I = \frac{E}{R} (1 - e^{-(R/L)t})$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι για να πάρει το ρεύμα την τελική του τιμή θα πρέπει να περάσει (θεωρητικά) άπειρος χρόνος. Δηλαδή, η παρουσία του πηνίου στο κύκλωμα επιβραδύνει την αποκατάσταση του ρεύματος.

Μεταβολή του
L πηνίου

Διαθέτουμε ένα πηνίο (π.χ. 500 σπειρών) με πυρήνα, και θέλουμε να μεταβάλλουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής του πηνίου. Κατασκευάζουμε το κύκλωμα του σχήματος (36). Ο πυρήνας που χρησιμοποιούμε είναι σε σχήμα , του οποίου η πάνω πλευρά μπορεί να μετακινείται οριζόντια. Παρατηρούμε ότι μετακινώντας το κινητό τμήμα του πυρήνα δεξιά ή αριστερά, η φωτοβολία του λαμπτήρα, και αντίστοιχα η ένδειξη του αμπερομέτρου ελαττώνεται ή αυξάνεται. Γιατί;

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

όπου L ο συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου, R η ωμική αντίσταση του κυκλώματος και ω η κυκλική συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσεως. Το ρεύμα λοιπόν που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τη σχέση

$$i = \frac{U}{Z}$$

όπου U η εφαρμοζόμενη τάση. Είναι φανερό λοιπόν ότι η μεταβολή του i κατά την μετακίνηση του κινητού τμήματος του πυρήνα, οφείλεται σε μεταβολή του Z, και επειδή R, ω είναι σταθερά, σημαίνει ότι μεταβάλλεται

το L. Πράγματι: μετακινώντας το κινητό τμήμα του πυρήνα, μεταβάλλω το διάκενο του αέρος KM, δηλαδή την μαγνητική διαπερατότητα του "κλειστού κυκλώματος": πυρήνας-αέρας. Όσο πιο μικρό είναι το διάκενο αέρος, τόσο πιο μεγάλη είναι η μαγνητική διαπερατότητα του "πυρήνα". Συνεπώς θα αυξάνεται και ο συντελεστής αυτεπαγωγής L του πηνίου, ο οποίος δίνεται από τη σχέση

$$L = n^{*2} \ell \mu S$$

όπου ℓ το μήκος του πηνίου, $n^* = \frac{n}{\ell}$ ο αριθμός των σπειρών ανά μονάδα μήκους, μ η μαγνητική διαπερατότητα και S η διατομή του πηνίου.

Κύκλωμα RLC σε σειρά

Διαθέτουμε ένα πηνίο 500 σπειρών (με πυρήνα, ώστε να είναι δυνατή η μεταβολή του L), έναν πυκνωτή (40 μF) και έναν λαμπτήρα (με τάση λειτουργίας π.χ. 6V). Συνδέουμε τα πάρα πάνω σε σειρά, αφού παρεμβάλλουμε και ένα αμπερόμετρο (σχήμα 37) και τροφοδοτούμε με έναν μετασχηματιστή 220/6V. Παρατηρούμε ότι μετακινώντας το κινητό τμήμα του πυρήνα π.χ. από αριστερά προς τα δεξιά, η φωτοβολία του λαμπτήρα και αντίστοιχα η ένδειξη του αμπερομέτρου, αυξάνεται μέχρις ενός σημείου και μετά αρχίζει να ελαττώνεται. Γιατί;

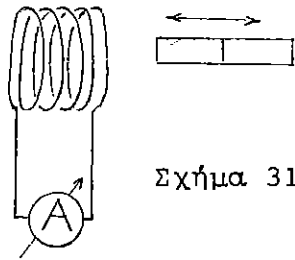
Όπως ξέρουμε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\text{EV}} = \frac{U_{\text{EV}}}{Z}$$

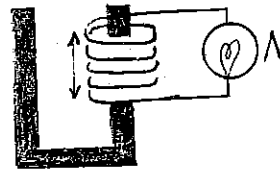
όπου U_{EV} η εφαρμοζόμενη τάση, και Z η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος. Η Z όμως δίνεται από τη σχέση

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

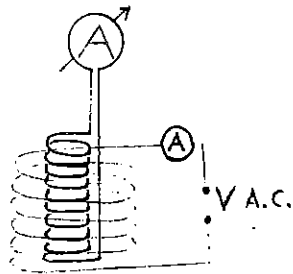
όπου ω η κυκλική συχνότητα της τάσεως. Από τις πάρα πάνω σχέσεις εύκολα φαίνεται ότι μεταβάλλοντας τη



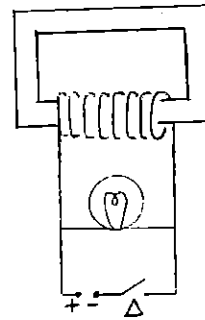
Σχήμα 31



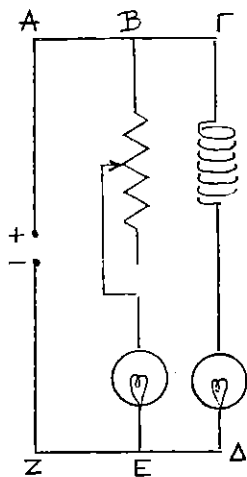
Σχήμα 32



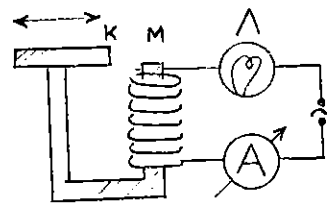
Σχήμα 33



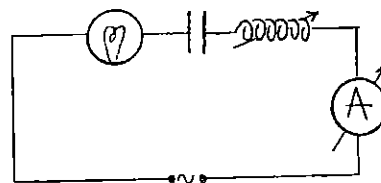
Σχήμα 34



Σχήμα 35



Σχήμα 36



Σχήμα 37

θέση του πυρήνα, μεταβάλλω το L , άρα την σύνθετη αντίσταση Z του κυκλώματος, και τελικά το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Η σύνθετη αντίσταση όμως Z , παίρνει την μικρότερη δυνατή τιμή, και αντίστοιχα το ρεύμα την μέγιστη δυνατή, όταν

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Με δεδομένα λοιπόν τα ω και C , μεταβάλλοντας το L , στην θέση εκείνη όπου ισχύει η πάρα πάνω ισότητα ο λαμπτήρας θα φωτοβολεί εντονότερα, και το αμπερόμετρο θα δείξει την μέγιστη τιμή (Συντονισμός).

Σημείο Curie του Ni

Διαθέτουμε ένα ραβδί από νικέλιο, το οποίο έχουμε εξαρτήσει κατάλληλα ώστε να έλκεται από έναν μαγνήτη (Σχ.38) ζεσταίνουμε το ραβδί, και παρατηρούμε ότι η έλξη παύει. Γιατί;

Όπως ξέρουμε το Ni είναι σιδηρομαγνητικό υλικό. Καθώς το ζεσταίνουμε, σε κάποια θερμοκρασία (631 K για το Ni) το υλικό μεταπίπτει από την σιδηρομαγνητική κατάσταση (ισχυρή μαγνήτιση) στην παραμαγνητική (ασθενής μαγνήτιση) και έτσι παύει να έλκεται από τον μαγνήτη.

Μαγνήτιση-Απομαγνήτιση υλικού.

Έστω ότι θέλουμε να μαγνητίσουμε ένα ξυραφάκι. Τοποθετούμε το ξυραφάκι στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργούμε με έναν ηλεκτρομαγνήτη (Σχ.39) οπότε το ξυραφάκι μαγνητίζεται. Μετά την απομάκρυνση του από το μαγνητικό πεδίο, λόγω της παραμένουσας μαγνήτισής του, το ξυραφάκι παραμένει μαγνητισμένο.

Είναι φανερό ότι για να απομαγνητισθεί το ξυραφάκι, θα πρέπει να μηδενισθεί η παραμένουσα μαγνήτιση του. Θα πρέπει δηλαδή να τοποθετηθεί σε φθίνον-εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, ώστε να διαγράφονται βρόγχοι υστερήσεως των οποίων το εμβαδόν συνεχώς να ελαττώνεται. Αυτό το πετυχαίνουμε τοποθετώντας το

μαγνητισμένο Ξυραφάκι στο κέντρο πηνίου που το τροφοδοτούμε με εναλλασσόμενο ρεύμα (Σχ.40) και τραβώντας σιγά-σιγά το Ξυραφάκι από το κέντρο του πηνίου (όπου το πεδίο έχει την μεγαλύτερη ένταση) προς τα έξω (όπου το πεδίο πρακτικά έχει τιμή μηδέν), το Ξυραφάκι απομαγνητίζεται.

Πείραμα με παραμαγνητικό αλάτι

Φτιάχνουμε υδατικό διάλυμα θειϊκού μαγγανίου ($MnSO_4 \cdot H_2O$), και το τοποθετούμε σε γυάλινο δοχείο σαν και αυτό του Σχ.41.

Χρησιμοποιούμε ηλεκτρομαγνήτη, του οποίου οι πόλοι είναι κωνικοί, ώστε να δημιουργείται έντονα ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο. Ανάμεσα στους πόλους του ηλεκτρομαγνήτη, τοποθετούμε το στενό σκέλος του δοχείου με το διάλυμα ώστε η ελεύθερη στάθμη του υγρού να βρίσκεται στο κέντρο του πεδίου (Σχ.42). Κατά την εφαρμογή του μαγνητικού πεδίου, παρατηρούμε ότι ανυψώνεται η ελεύθερη στάθμη του υγρού. Γιατί;

Στο υδατικό διάλυμα $MnSO_4 \cdot H_2O$, υπάρχουν ιόντα Mn^{++} . Αυτά είναι παραμαγνητικά ιόντα, συμπεριφέρονται δηλαδή σαν δίπολα. Σε δίπολο όμως μαγνητικής ροπής p_m που βρίσκεται σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο εξασκείται δύναμη:

$$F = \mu_0 p_m \frac{dH}{dz}$$

όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού, και dH/dz η βαθμίδα του πεδίου. Η δύναμη αυτή τείνει να "τραβήξει" τα στοιχειώδη δίπολα σε θέσεις όπου το πεδίο είναι ισχυρότερο.

Αρχή λειτουργίας μετρητικών οργάνων

(I) Θερμικά όργανα: Η λειτουργία τους βασίζεται στην θερμική διαστολή σύρματος που διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως I . Είναι φανερό ότι στα όργανα αυτά η κλίμακα θα είναι ανισοδιάστατη εφόσον το ποσό θερμότητας που αναπτύσσεται στο σύρμα είναι:

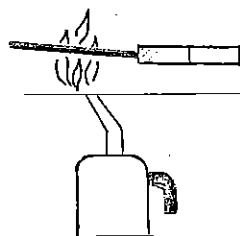
$Q \propto I^2$. Εφ'όσον δε ο νόμος του Joule ισχύει και για το συνεχές (D.C) και για το εναλλασσόμενο (A.C) ρεύμα, τα όργανα αυτά χρησιμοποιούνται και σαν όργανα D.C. και σαν όργανα A.C.

(II) Όργανα στρεπτού πλαισίου Η λειτουργία τους βασίζεται στην στροφή που υφίσταται πλαίσιο n σπειρών που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα i , όταν βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B (Σχ.28). Η κλίμακα στα όργανα αυτά είναι ισοδιάστατη, αφού η εξισορρόπηση των δύο ροπών, ηλεκτρικής και μηχανικής

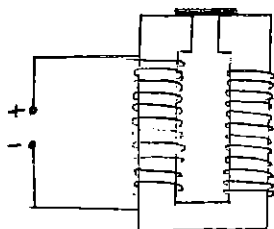
$$nBiS = k\phi$$

δείχνει ότι η γωνία στροφής ϕ του πλαισίου είναι ανάλογη του ρεύματος i (k σταθερά).

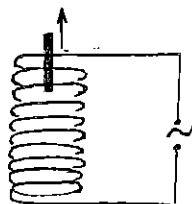
(III) Όργανα κινητού ή μαλακού σιδήρου: Η αρχή λειτουργίας τους γίνεται εμφανής με το πάρα κάτω πείραμα: Διαθέτουμε ένα ραβδί από σίδηρο στερεωμένο από ένα ελατήριο. Κρεμάμε το σύστημα αυτό κατάλληλα, πάνω από ένα πηνίο (Σχ.43) και τροφοδοτούμε το πηνίο με ρεύμα. Παρατηρούμε τότε ότι το ραβδί από σίδηρο έλκεται προς το κέντρο του πηνίου. Εξάλλου όσο μεγαλύτερο ρεύμα διέρχεται από το πηνίο τόσο ισχυρότερη έλξη υφίσταται το ραβδί.



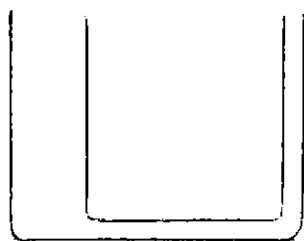
Σχήμα 38



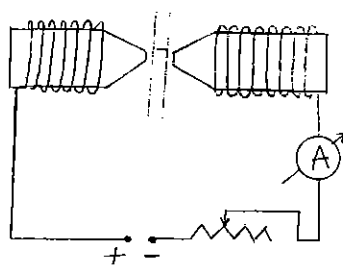
Σχήμα 39



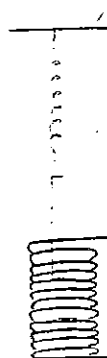
Σχήμα 40



Σχήμα 41



Σχήμα 42



Σχήμα 43

Μετασχηματιστής

Ένας μετασχηματιστής είναι μία διάταξη από δύο πηνία αριθμού σπειρών N_1 και N_2 , μαγνητικά συζευγμένα με τη βοήθεια πυρήνα μαλακού σιδήρου. Η εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσεως στο ένα πηνίο (πρωτεύον) επάγει στο άλλο (δευτερεύον) ηλεκτρεγερτική δύναμη εξ επαγωγής (Σχ.44). Αν δεχτούμε ότι δεν συμβαίνει μαγνητική σκέδαση από τον πυρήνα τότε ισχύει:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

όπου U_1 και U_2 οι τάσεις στο πρωτεύον και το δευτερεύον αντίστοιχα. Αν δεχτούμε ότι οι απώλειες ενέργειας στον μετασχηματιστή είναι αμελητέες τότε μπορούμε να γράψουμε

$$U_1 i_1 = U_2 i_2$$

όπου i_1 και i_2 οι εντάσεις των ρευμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος αντίστοιχα.

Εφαρμογές:

Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υψηλών ή χαμηλών τάσεων. Επίσης για την παραγωγή ρευμάτων μεγάλης εντάσεως. Στην περίπτωση αυτή ο μετασχηματιστής είναι υποβιβασμού τάσεως και σε βάρος της μειωμένης τάσεως αυξάνει η ένταση του διερχομένου ρεύματος. Τέτοιες διατάξεις χρησιμοποιούνται για συγκόληση π.χ. δύο ελασμάτων (ηλεκτροπόντα) (Σχ.45) ή την τήξη κραμάτων (Σχ.46).

Η φορά του επαγωγικού ρεύματος.
Κανόνας Lenz

Τα ρεύματα που δημιουργούνται από επαγωγή έχουν τέτοια φορά ώστε να αναιρέσουν το αίτιο που προκαλεί την επαγωγή. Ας θεωρήσουμε τη διάταξη του σχήματος 47. Αν διαβιβάσουμε εναλλασσόμενο ρεύμα στο πηνίο Π_1 τότε π.χ. κατά το χρονικό διάστημα 0 έως $T/4$ (T η περίοδος του εναλλασσόμενου) θα αυξηθεί η μαγνητική ροή στο δευτερεύον που αποτελείται από μία μόνο σπείρα, τον δακτύλιο Δ . Στον δακτύλιο δημιουργείται ρεύμα που έχει

φορά τέτοια ώστε να αναιρεί την αύξηση της ροής δηλ. να είναι αντίρροπο προς το ρεύμα του Π_1 . Το αποτέλεσμα θα είναι να αναπτυχθεί απωστική δύναμη και ο δακτύλιος να αναπηδήσει. Είναι φανερό ότι τα πάρα πάνω ισχύουν αντίστοιχα και για τα διαστήματα $T/4 - T/2$, $T/2 - 3T/4$, και $3T/4 - T$.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Γεννήτριες
εναλλασσομένου
ρεύματος
(εναλλακτήρες)

Η αρχή λειτουργίας γεννήτριας εναλλασσομένης και συνεχούς τάσεως βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής: Όταν ένα πλαίσιο περιστρέφεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο η μαγνητική ροή Φ που διέρχεται απ' αυτό μεταβάλλεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin \omega t$$

(S το εμβαδόν του πλαισίου B η ένταση του μαγνητικού πεδίου, ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής). Αποτέλεσμα της μεταβολής της ροής είναι η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης εξ επαγωγής στα άκρα του πλαισίου

$$U = U_0 \eta \mu \omega t$$

Στα άκρα του πλαισίου είναι στερεωμένοι δύο μεταλλικοί δακτύλιοι που περιστρέφονται μαζί με το πλαίσιο. Καθένας από τους δακτύλιους βρίσκεται σε επαφή με ένα τεμάχιο γραφίτη (ψήκτρα) που παραμένει ακίνητο. Από τις ψήκτρες το παραγόμενο ρεύμα μεταβιβάζεται στο εξωτερικό κύκλωμα (Σχ.48).

Γεννήτριες
συνεχούς ρεύματος

Όπως αναφέρθηκε η αρχή λειτουργίας των γεννητριών συνεχούς ρεύματος είναι η ίδια με αυτή των γεννητριών εναλλασσομένου. Διαφορά υπάρχει στο σύστημα των δακτυλίων. Έτσι εδώ αντί για δύο έχουμε έναν δακτύλιο χωρισμένο σε δύο ημιδακτυλίους. Οι ψήκτρες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να αλλάζουν ημιδακτύλιο όταν το πλαίσιο βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση. Σ' αυτή τη θέση αναστρέφεται η πολικότητα της επαγομένης τάσεως με αποτέλεσμα η μία ψήκτρα να διατηρεί θετική πολικότητα και η άλλη αρνητική (Σχ.49).

Τριφασικό ρεύμα

Το τριφασικό ρεύμα είναι ένα σύστημα τριών εναλλασσομένων ρευμάτων:

$$i_1 = i_0 \eta \mu \omega t$$

$$i_2 = i_0 \eta \mu (\omega t + 120)$$

$$i_3 = i_0 \eta \mu (\omega t + 240)$$

Επιτυγχάνεται με μιά γεννήτρια της μορφής του σχήματος 50.

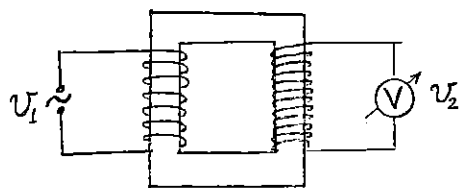
Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του τριφασικού ρεύματος είναι ότι για κάθε τροφοδοτούμενο με ρεύμα αγωγό δεν απαιτούνται δύο καλώδια αλλά μόνο ένα ($i_1+i_2+i_3=0$) και έτσι αντί 6 καλωδίων που θα απαιτούντο συνολικά χρησιμοποιούνται τέσσερα, πράγμα που αποτελεί σημαντική οικονομία (Σχ.51).

Στρεφόμενο
Μαγνητικό
Πεδίο

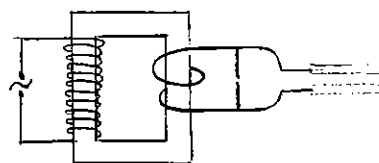
Διαθέτουμε τρία πηνία τοποθετημένα σε κυκλική διάταξη όπως στο σχ. 52. Τροφοδοτούμε τα πηνία με τις φασικές τάσεις που παράγονται από την τριφασική γεννήτρια.

Στο κέντρο της κυκλικής διατάξεως των πηνίων τοποθετούμε μαγνητική βελόνα. Παρατηρούμε ότι η μαγνητική βελόνα περιστρέφεται. Γιατί;

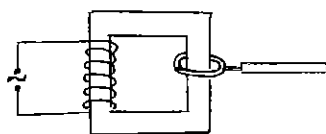
Είναι φανερό ότι τα τρία πηνία δημιουργούν μαγνητικά πεδία που παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 120° μεταξύ τους. Αποτέλεσμα της διανυσματικής συνθέσεως τριών τέτοιων πεδίων είναι ένα μαγνητικό πεδίο του οποίου οι δύο κάθετες συνιστώσες είναι ίσες και παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90° . Δηλαδή το άνυσμα του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου διαγράφει κύκλο. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας του σύγχρονου κινητήρα. Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιείται και για τη λειτουργία του ασύγχρονου κινητήρα όπου το στρεφόμενο τμήμα είναι π.χ. ένας μεταλλικός κλωβός.



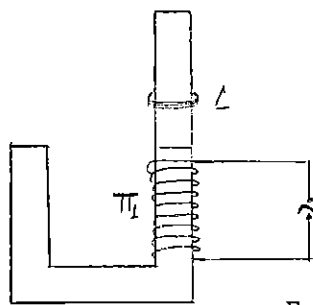
Σχήμα 44



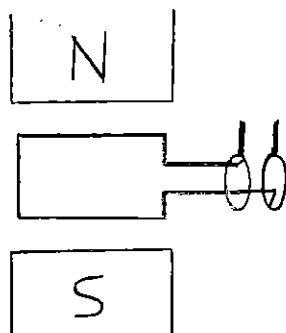
Σχήμα 45



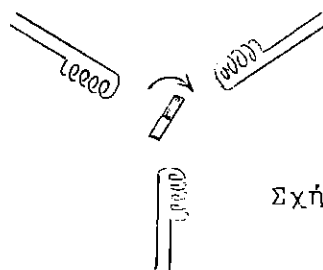
Σχήμα 46



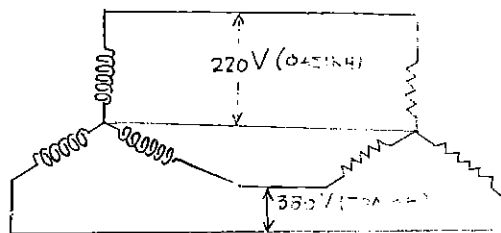
Σχήμα 47



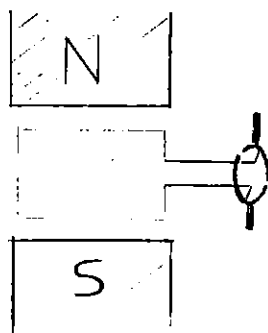
Σχήμα 48



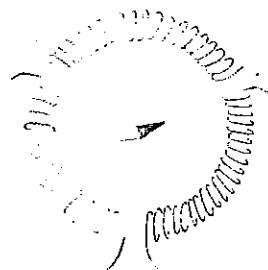
Σχήμα 50



Σχήμα 51



Σχήμα 49



Σχήμα 52

ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Ηλεκτρικές ταλαντώσεις και παραγωγή υψίσυχνων ρευμάτων

Όπως είναι γνωστό ηλεκτρικές ταλαντώσεις παράγονται με κύκλωμα LC (κύκλωμα Thomson) (Σχ.53), όπου συμβαίνει περιοδική μεταβολή της ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου και αντίστροφα. Ένα τέτοιο κύκλωμα όμως παρουσιάζει στην πραγματικότητα πάντοτε αποσβέσεις (φαιν. Joule, ρεύματα Foucault στον πυρήνα του πηνίου, μαγνητική υστέρηση, εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κλπ.). Για την διαδοχική λοιπόν φόρτιση του πυκνωτή χρησιμοποιείται η διάταξη του σχήματος 54. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από έναν μετασχηματιστή του οποίου το δευτερεύον πηνίο έχει πολύ περισσότερες σπείρες από το πρωτεύον, ώστε να ανυψώνει την τάση του δικτύου (220V) σε τάση της τάξεως των 10KV. Στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου συνδέεται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 54, το κύκλωμα παραγωγής ηλεκτρικών ταλαντώσεων LC, αφού πρώτα παρεμβληθεί ο σπινθηριστής Σ. Ο σπινθηριστής δεν είναι τίποτα άλλο από μία διακοπή μεταξύ δύο σημείων 1 και 2 του κυκλώματος. Η διακοπή αυτή παύει να υπάρχει όταν η τάση μεταξύ των σημείων αυτών γίνεται πολύ μεγάλη διότι τότε εκσπά ηλεκτρικός σπινθήρας μεταξύ των 1 και 2 και κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα LC. Τότε όμως εκφορτίζεται ο πυκνωτής C με αποτέλεσμα την παραγωγή φθίνουσας ηλεκτρικής ταλαντώσεως. Είναι φανερό ότι το κύκλωμα LC είναι κλειστό και παράγει φθίνουσες ηλεκτρικές ταλαντώσεις όσο διαρκεί ο σπινθήρας. Έτσι σε κάθε σπινθήρα αντιστοιχεί και ένας συρμός φθίνουσας ηλεκτρικής ταλαντώσεως (Σχ.55). Η συχνότητα όμως του δικτύου, είναι 50 Hz, άρα μεταξύ των σημείων 1 και 2 θα εκσπά σπινθήρας 100 φορές κάθε sec. Δηλαδή σε 1 sec θα δημιουργούνται 100 συρμοί ταλαντώσεων. Αν υποθέσουμε λοιπόν ότι ο σπινθήρας διαρκεί 10^{-3} sec και ότι στο χρόνο αυτό πραγματοποιούνται π.χ. 100 ταλαντώσεις, είναι φανερό ότι η περίοδος του θα εί-

ναι 10^{-5} sec, που αντιστοιχεί σε συχνότητα 10^5 Hz. Δημιουργείται δηλαδή υψίσυχο ρεύμα που διαρκεί 10^{-3} sec και αναπαράγεται κάθε 10^{-2} sec.

Φαινόμενο επαγωγής
με υψίσυχνα ρεύματα

Όπως είναι γνωστό η τάση από επαγωγή που αναπτύσσεται στα άκρα ενός πηνίου εξαρτάται από το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής μέσα στο πηνίο σύμφωνα με τη σχέση

$$E_{\text{επ}} = -n \frac{d\Phi}{dt}$$

Έτσι αν το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από πηνίο που διαρρέεται από υψίσυχο ρεύμα, τότε τα φαινόμενα επαγωγής σε κυκλώματα γειτονικά με το πηνίο αυτό θα είναι έντονα, αφού λόγω της πολύ μεγάλης συχνότητας ($\nu = 10^5$ Hz) η ταχύτητα μεταβολής $d\Phi/dt$ είναι πολύ μεγάλη.

Πειραματικά μπορεί αυτό το φαινόμενο να αποδειχθεί αν κοντά στο πηνίο L του κυκλώματος παραγωγής υψίσυχων ταλαντώσεων (Σχ.54), πλησιάσουμε ένα άλλο πηνίο L' στα άκρα του οποίου υπάρχει λαμπτήρας Δ (Σχ.56). Παρατηρούμε τότε ότι ο λαμπτήρας Δ φωτοβολεί έντονα.

Εάν στο ίδιο πείραμα χρησιμοποιείτο ρεύμα της ίδιας ενεργού τιμής αλλά με τη συχνότητα π.χ. του δικτύου (50 Hz), δεν θα παρατηρείτο το φαινόμενο λόγω της μικρής ταχύτητας μεταβολής $d\Phi/dt$ της μαγνητικής ροής.

Η πραγματοποίηση βέβαια των πειραμάτων αυτών με ρεύμα συνεχές ή χαμηλής συχνότητας είναι επικίνδυνη: Στις χαμηλές συχνότητες τα κύτταρα των οργάνων του ανθρώπινου οργανισμού παθαίνουν μεταβολές που παρακολουθούν την εναλλαγή του ρεύματος, με επακόλουθο π.χ. ηλεκτρόλυση των υγρών, φυσιολογικό τέτανο κλπ. Αυτό βέβαια δεν συμβαίνει στα ρεύματα υψηλής συχνότητας ακόμα και στις μεγάλες τάσεις, διότι λόγω της αδράνειας που παρουσιάζουν οι ιστοί δεν μπορούν να αν-

ταποκρινθούν σε υψηλής συχνότητας ερεθίσματα.

Ακόμα ένα πείραμα
με τα υψίσυχνα

Ας πάρουμε το κύκλωμα του σχήματος 57. Αυτό είναι το κύκλωμα παραγωγής υψίσυχνων ταλαντώσεων, μόνο που μεταξύ δύο σημείων α, β του κυκλώματος LC παρεμβάλλουμε έναν χάλκινο αγωγό κατά μήκος του οποίου μπορούμε να μετακινούμε έναν λαμπτήρα Λ. Ο χάλκινος αγωγός παρουσιάζει μικρή ωμική αντίσταση και θα έχει κάποιο συντελεστή αυτεπαγωγής L.

Παρεμβάλλοντας μεταξύ των σημείων γ και δ τον λαμπτήρα παρατηρούμε ότι αυτός φωτοβολεί. Δηλαδή μεταξύ των σημείων γ και δ υπάρχει επαρκής διαφορά δυναμικού για να ανάψει ο λαμπτήρας. Είναι προφανές ότι αν χρησιμοποιούσαμε συνεχές ρεύμα ή εναλλασσόμενο χαμηλής συχνότητας, δεν θα παρατηρείτο το φαινόμενο.

Συντονισμός σε
κυκλώματα LC.

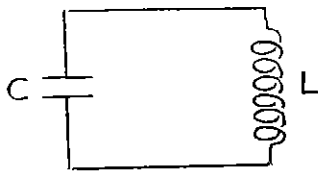
Μετασχηματιστής
Tesla

Δύο κυκλώματα ηλεκτρικών ταλαντώσεων L_1C_1 και L_2C_2 που είναι επαγωγικά συζευγμένα, βρίσκονται σε συντονισμό όταν

$$L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2$$

Πειραματικά, δείχνει κανείς το φαινόμενο του συντονισμού στα υψίσυχνα ρεύματα με τη βοήθεια της διατάξεως του σχήματος 58. Το πηνίο L_2 είναι μεταβλητό. Στην θέση του συντονισμού (ταλαντώσεις μέγιστου πλάτους) παράγεται τάση πολύ μεγάλη (~KV) ικανή να θέσει σε λειτουργία σωλήνα Geissler.

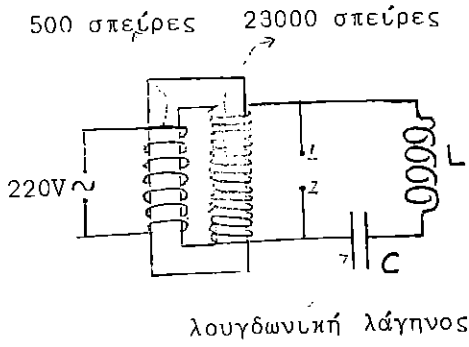
Η διάταξη στην οποία το κύκλωμα L_2C_2 έχει αντικατασταθεί από ένα μόνο πηνίο L_2 με πάρα πολλές σπείρες (το ένα άκρο του οποίου είναι γειωμένο) και το ρόλο του C_2 παίζει η κατανομημένη χωρητικότητα του πηνίου L_2 , λέγεται μετασχηματιστής Tesla (Σχ.59). Ο μετασχηματιστής Tesla παράγει υψίσυχνες τάσεις πολλών χιλιάδων volts. Στο μη γειωμένο άκρο του παρατηρείται εκκένωση θυσάνου. Αν πλησιάσουμε (κρατώντας με το χέρι μας) π.χ. έναν σωλήνα Geissler ή έναν λαμπτήρα αίγλης, αυτοί θα φωτοβολήσουν.



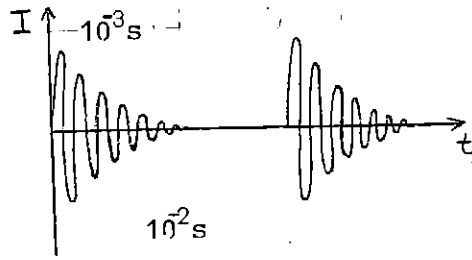
$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

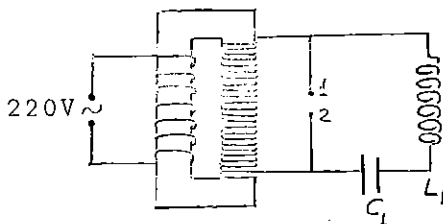
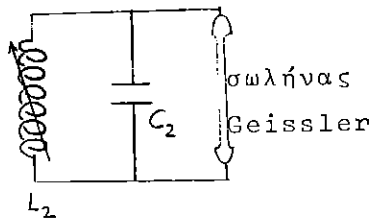
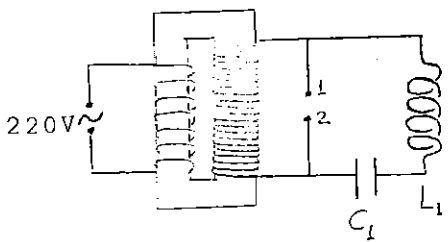
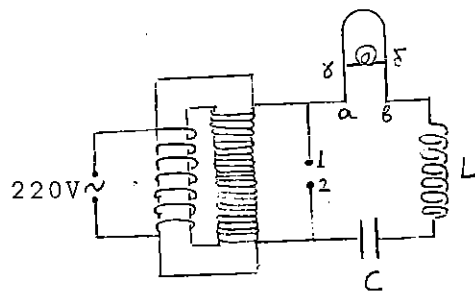
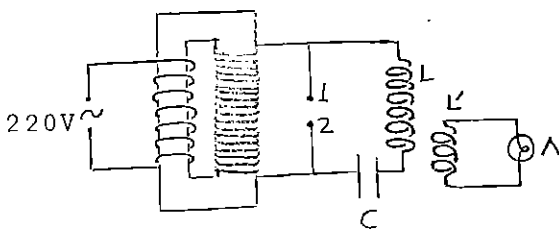
Σχήμα 53



Σχήμα 54



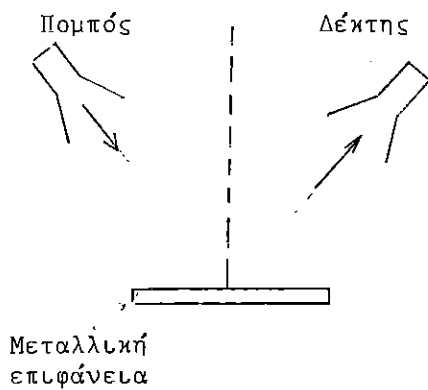
Σχήμα 55



ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

Μικροκύματα, λέγονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος στην περιοχή 10^{-2} cm έως 10 cm. Μικροκύματα παράγει κανείς με τη βοήθεια συσκευής μικροκυμάτων (Klystron). Για την "ανίχνευση" των κυμάτων είναι απαραίτητος και ένας δέκτης. Με τη βοήθεια λοιπόν του πομπού και του δέκτη μπορεί κανείς να επιδείξει τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, π.χ.

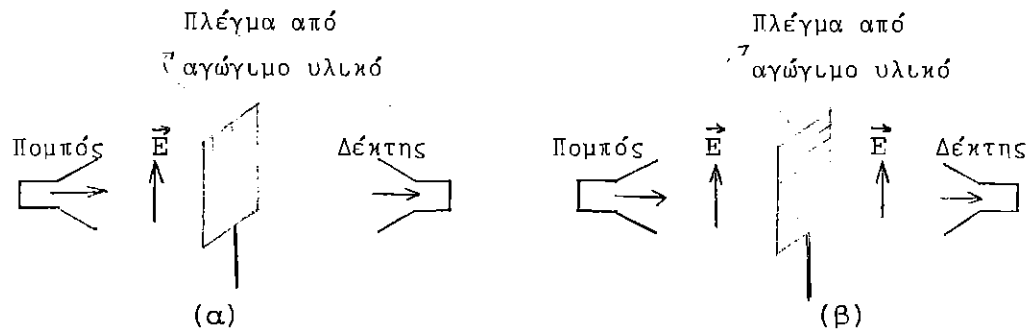
Ανάκλαση (Σχ.60), στάσιμα κύματα (Σχ.61), Πόλωση κυμάτων (Σχ.62)



Σχήμα 60



Σχήμα 61



Σχήμα 62

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

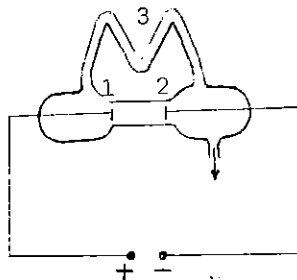
Σωλήνες εκκενώσεως

Διαθέτουμε ένα σωλήνα, εφοδιασμένο με δύο ηλεκτροδία. Μπορούμε να ελαττώνουμε την πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα με τη βοήθεια μηχανικής αντλίας κενού. Εφαρμόζοντας υψηλή τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και ελαττώνοντας την πίεση του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα φωτεινά φαινόμενα κατά την ηλεκτρική εκκένωση και πως αυτά επηρεάζονται από την πίεση του αέρα μέσα στον σωλήνα.

Εάν το τοίχωμα του σωλήνα που βρίσκεται απέναντι από την κάθοδο είναι επικαλυμμένο με φθορίζουσα ουσία, τότε παρατηρούμε ότι ενώ από κάποια τιμή της πιέσεως και κάτω παύουν τα φωτεινά φαινόμενα, το τοίχωμα απέναντι της καθόδου φωτοβολεί. Έχουμε δηλαδή φθορισμό από την πρόσπτωση των καθοδικών ακτίνων (ηλεκτρόνια) πάνω στην φθορίζουσα ουσία. Μπορεί ακόμα κανείς με τη βοήθεια μαγνήτη να επιδείξει την εκτροπή των καθοδικών ακτίνων όταν βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Φαινόμενο Paschen

Η τάση η απαραίτητη για την δημιουργία εκκενώσεως εξαρτάται από το γινόμενο $P \cdot d$, όπου P η πίεση μέσα στο σωλήνα και d η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Φαινόμενο Paschen). Με την κατάλληλη διάταξη (Σχ. 63) μπορεί κανείς να επιδείξει πειραματικά το φαινόμενο αυτό. Έτσι, για κάποια τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης, η εκκένωση δημιουργείται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων 1, 2 και κατά μήκος της ευθείας 1-2. Ελαττώνοντας την πίεση, παρατηρούμε ότι η εκκένωση πραγματοποιείται μέσω του δρόμου 1-3-2.



Σχήμα 63

ΟΠΤΙΚΗ

Ανάκλαση- Διάθλαση

Γεμίζουμε ένα δοχείο που έχει διαφανή τοιχώματα, με χρωματιστό νερό. Με τη βοήθεια δέσμης laser, μπορεί κανείς να έχει μία εποπτική εικόνα της ανακλάσεως και διαθλάσεως της δέσμης laser, όταν προσπίπτει στις επιφάνειες του δοχείου.

Φάσματα

Έστω μία φωτεινή πηγή Π, μία σχισμή Σ για να περιορίζει τη φωτεινή δέση και ένας φακός Φ, που να εστιάζει το είδωλο της σχισμής σε κάποιο πέτασμα (Σχ.64,σελ.48).

Παρατηρούμε ότι αν μεταξύ του Φ και του πετάσματος παρεμβάλλουμε ένα πρίσμα, τότε το φως της πηγής Π αναλύεται και παίρνουμε το φάσμα της. Στρέφοντας το πρίσμα, μπορεί κανείς να πετύχει τη θέση ελάχιστης εκτροπής του πρίσματος, θέση που εξασφαλίζει τον καλλίτερο σχηματισμό του ειδώλου. Χαρακτηριστικό, επίσης είναι το γεγονός ότι η εξερχόμενη από το πρίσμα δέση σχηματίζει κάποια γωνία με την προσπίπτουσα.

Όταν επιδιώκει κανείς να έχει ανάλυση του φωτός χωρίς να έχει εκτροπή της αρχικής πορείας της δέσμης, τότε χρησιμοποιεί το πρίσμα ευθυσιαιότητας. Το πρίσμα αυτό είναι συνδυασμός δύο ή περισσοτέρων πρισματών που έχουν διαφορετικές καμπύλες διασκεδασμού ($n=n(\lambda)$).

Ανάλυση του φωτός, μπορεί επίσης κανείς να κάνει χρησιμοποιώντας φράγμα.

Πειράματα Συμβολής

Όπως είναι γνωστό για να πετύχει κανείς φαινόμενα συμβολής, θα πρέπει οι πηγές κυμάτων να είναι σύμφωνες μεταξύ τους. Επειδή όμως δύο φωτεινές πηγές δεν είναι σύμφωνες μεταξύ τους, για την παρατήρηση του φαινομένου της συμβολής στην Οπτική, κάνουμε "τεχνητό διπλασιασμό" μιας φωτεινής πηγής. Πάρα κάτω αναφέρουμε μερικά πειράματα για την παρατήρηση του φαινο-

μένου της συμβολής.

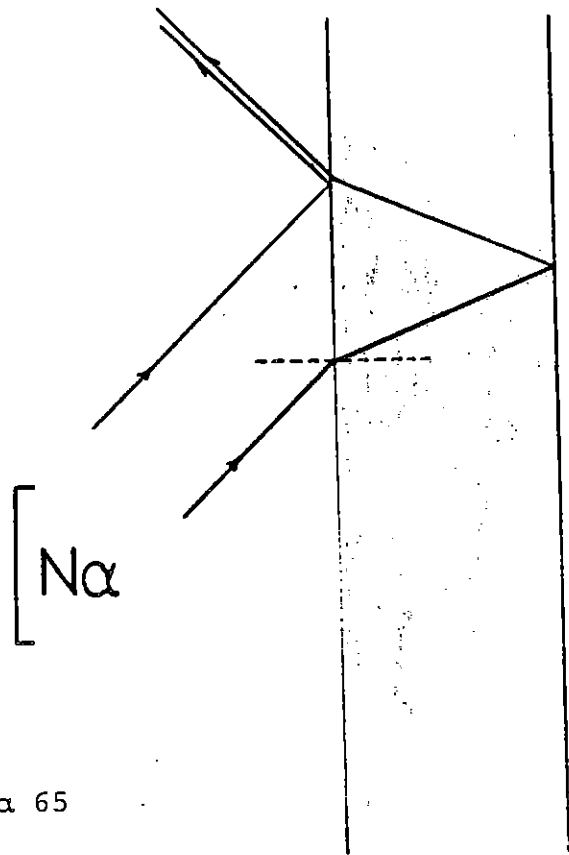
- (I) Συμβολή με φράγμα: Σε φράγμα προσπίπτει μονοχρωματική δέση (π.χ. από laser), οπότε στην οθόνη παρατηρούνται κροσσοί συμβολής.
- (II) Συμβολή με φύλλο μίκας: Διαθέτουμε μία λυχνία Na, ένα φύλλο μίκας κατάλληλα επεξεργασμένο, και μία οθόνη. Τοποθετώντας το φύλλο μίκας πίσω από τη λυχνία Na, ή μεταξύ της λυχνίας Na και οθόνης, παρατηρούμε ότι στην οθόνη σχηματίζονται φωτεινοί και σκοτεινοί κροσσοί συμβολής. Οι κροσσοί αυτοί είναι αποτέλεσμα της συμβολής των κυμάτων που ανακλώνται ή διαθλώνται στις δύο όψεις του φύλλου της μίκας (Σχ.65).
- (III) Συμβολή με τα κάτοπτρα Fresnel: Δέση μονοχρωματικού φωτός (π.χ. από laser) προσπίπτει κατάλληλα σε δύο κάτοπτρα που σχηματίζουν γωνία λίγο μικρότερη από 180° . Στην οθόνη παρατηρούμε κροσσούς συμβολής που οφείλονται στην συμβολή των δεσμών που ανακλώνται σε κάθε μία από τις κατοπτρικές επιφάνειες (Σχ.66).
- (IV) Δακτύλιοι του Νεύτωνα: Σε μία διάταξη που αποτελείται από έναν επιπεδόκυρτο φακό και μία επίπεδη γυάλινη πλάκα, προσπίπτει φως. Στην οθόνη παρατηρούνται ομόκεντροι σκοτεινοί και φωτεινοί κύκλοι, που οφείλονται στις δέσμες που είτε λόγω ανακλάσεως είτε λόγω διαθλάσεως προσπίπτουν και συμβάλλουν στην οθόνη. Εάν η πηγή παρέχει λευκό φως, τότε εμφανίζονται έγχρωμοι δακτύλιοι επειδή συμβαίνει και ανάλυση του λευκού φωτός. (Σχ.67)

Αναφέρονται εδώ μερικές φωτεινές πηγές:

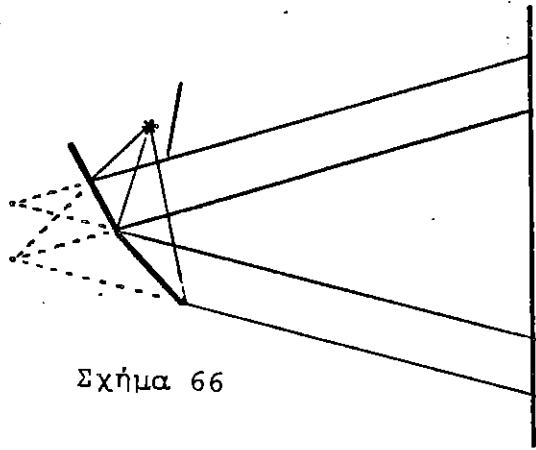
Φωτεινές πηγές

- (α) Λαμπτήρας πυρακτώσεως: Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στο φαινόμενο Joule. Δίνει φάσμα συνεχές που κατανέμεται στην ορατή και κυρίως στην υπέρυθη περιοχή.

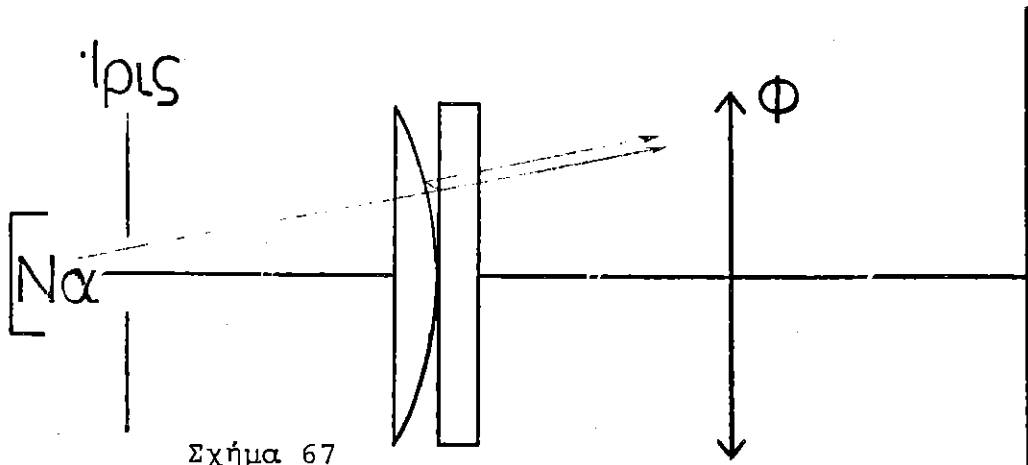
- (β) Τόξο άνθρακος ή Βολταϊκό τόξο: Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο τόξο που σχηματίζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων από άνθρακα αν τα φέρουμε σε επαφή και μετά τα απομακρύνουμε. Δίνει φάσμα συνεχές πλούσιο σε υπεριώδες.
- (γ) Λυχνία Na: Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην εκκένωση τόξου, μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται σε γυάλινο σωλήνα με μικρή ποσότητα Na και αέριο Ne σε χαμηλή πίεση. Δίνει φάσμα γραμμικό, με χαρακτηριστικές τις δύο κίτρινες γραμμές του Na, έτσι που να μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει μονοχρωματικό φως.
- (δ) Λυχνία Hg: Υπάρχουν δύο είδη, η λυχνία Hg χαμηλής πιέσεως που η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην εκκένωση αίγλης και η λυχνία Hg υψηλής πιέσεως που η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην εκκένωση τόξου. Δίνουν φάσμα πλούσιο στο υπεριώδες. Είναι κατασκευασμένες από χαλαζία, επειδή το υλικό αυτό δεν απορροφά στο υπεριώδες.
- (ε) Laser: (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην εξαναγκασμένη ομαδική αποδιέγερση ηλεκτρονίων από μετασταθείς στάθμες. Χαρακτηριστικό των πηγών αυτών είναι ότι η παραγόμενη φωτεινή δέσμη είναι μονοχρωματική παράλληλη (διαδίδεται σε μεγάλες αποστάσεις με σχεδόν αμετάβλητη ένταση) και σύμφωνη.
- (στ) Σωλήνες Geissler: Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκκένωση αίγλης.



Σχήμα 65



Σχήμα 66



Σχήμα 67

(i) Γραμμικά πολωμένο φως:

Πειράματα
πολώσεως

Για την επίδειξη του φαινομένου της πολώσεως του φωτός, χρησιμοποιούμε τη διάταξη του σχήματος 68 όπου P_1, P_2 είναι Polaroid, και Φ φακός. Το φως, μετά την έξοδό από το polaroid P_1 (πολωτής) είναι γραμμικά πολωμένο. Αυτό πιστοποιείται με την παρεμβολή του polaroid P_2 (αναλύτης). Στρέφοντας το P_2 , για κάποια θέση (- όπου ο άξονας εύκολης διελεύσεως είναι κάθετος σε αυτόν του P_1) παρατηρείται σκότος.

(ii) Κυκλικά πολωμένο φως:

Πραγματοποιούμε τη διάταξη του σχήματος 69. Ρυθμίζουμε τον άξονα εύκολης διέλευσης του P_1 ώστε να σχηματίζει γωνία 45° με τον οπτικό άξονα του πλακιδίου $\lambda/4$. Μετά την έξοδό του από το πλακίδιο $\lambda/4$, το άνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου \vec{E} του φωτός αποτελείται από δύο ίσες συνιστώσες ($E_x = E_y$) που παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90° . Επομένως το εξερχόμενο φως είναι κυκλικά πολωμένο και δεν μπορεί να αποσβεσθεί με τον αναλύτη P_2 .

Διπλή διάθλαση

Για την παρατήρηση του φαινομένου της διπλής διαθλάσεως που παρουσιάζουν ορισμένοι κρύσταλλοι (π.χ. ασβεστίτης $CaCO_3$) χρησιμοποιούμε τη διάταξη του σχήματος 70. Από τον κρύσταλλο $CaCO_3$ βγαίνουν δύο ακτίνες, γραμμικά πολωμένες με τα επίπεδα ταλαντώσεώς τους κάθετα το ένα ως προς το άλλο. Αυτό πιστοποιείται με την περιστροφή του polaroid P .

Πλακίδια καθυστέρησης φάσεως

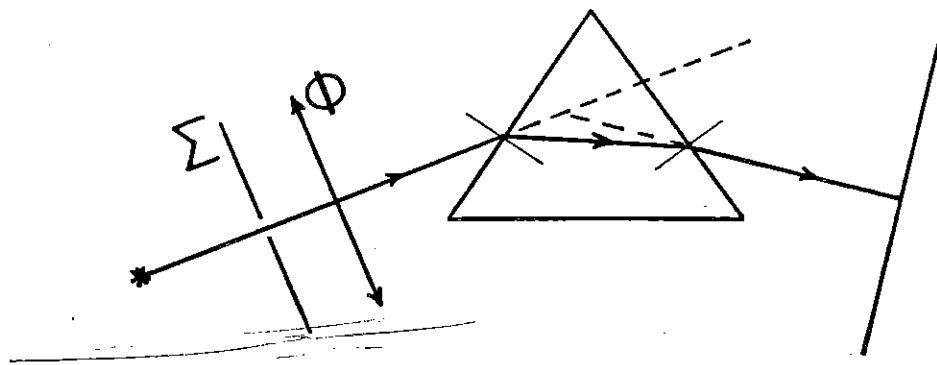
Εάν μεταξύ δύο polaroid P_1, P_2 με διασταυρωμένους τους άξονες εύκολης διελεύσεως, παρεμβάλλουμε πλακίδιο (σχ.71) του οποίου το πάχος δεν είναι σε όλα τα σημεία το ίδιο, στην οθόνη θα παρατηρήσουμε φωτεινές και σκοτεινές περιοχές. Αυτό συμβαίνει

διότι για το μήκος κύματος της μονοχρωματικής αντι-
νοβολίας που χρησιμοποιούμε τα διάφορα πάχη προκα-
λούν αντίστοιχες καθυστερήσεις φάσεως. Το polaroid
 P_2 επιτρέπει τη διέλευση εκείνων των συνιστωσών
που είναι παράλληλες στον άξονα εύκολης διέλευσής
του.

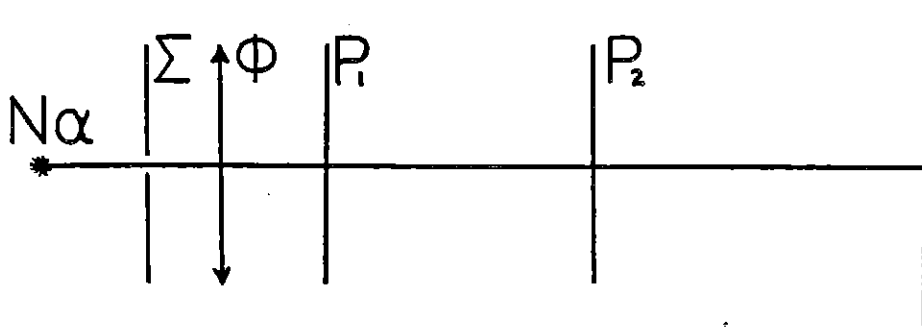
Εάν τώρα αντί για μονοχρωματικό φως χρησιμο-
ποιήσουμε λευκό φως, κάθε πάχος του πλακιδίου, προ-
καλεί διαφορετικές καθυστερήσεις φάσεως για κάθε
μήκος κύματος του λευκού φωτός. Αποτέλεσμα είναι
ορισμένα μήκη κύματος να αποκόπτονται από το Po-
laroid P_2 , και στην οθόνη να εμφανίζονται χρώματα.

Φωτοελαστικότητα

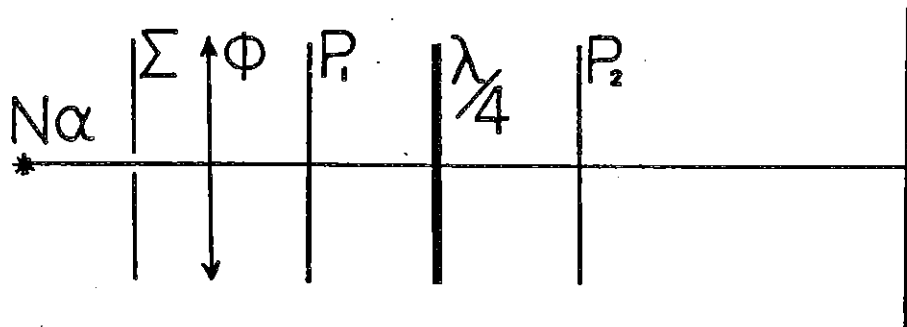
Ορισμένα ισότροπα διαφανή στερεά, όπως π.χ.
το γυαλί, plexiglass κλπ. γίνονται διπλοθλαστικά αν
υποβληθούν σε μηχανικές καταπονήσεις. Χρησιμοποιών-
τας την διάταξη του σχήματος 71, και αντικαθιστών-
τας το πλακίδιο με ένα τέτοιο υλικό εάν χρησιμοποι-
ήσουμε μονοχρωματικό φως θα παρατηρήσουμε φωτεινές
και σκοτεινές λουρίδες στην οθόνη, και εάν χρησι-
μοποιήσουμε λευκό φως, θα παρατηρήσουμε έγχρωμες
λουρίδες ενδεικτικές των τάσεων που επικρατούν
λόγω της ελαστικής παραμορφώσεως.



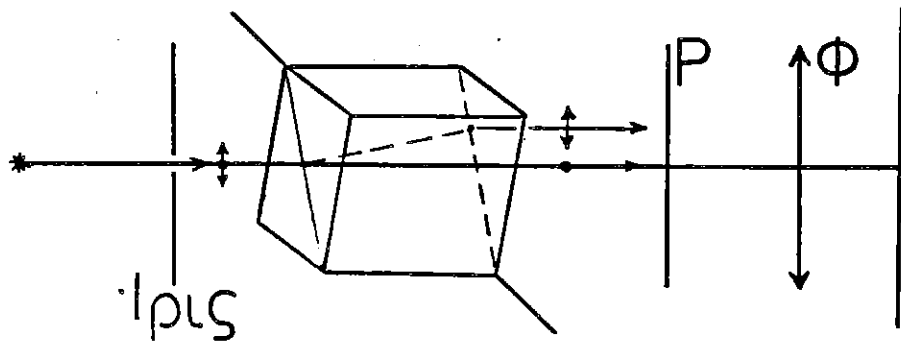
Σχήμα 64



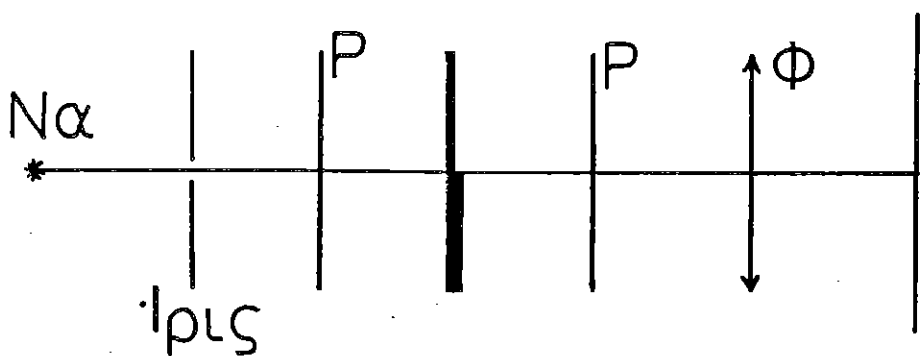
Σχήμα 68



Σχήμα 69



Σχήμα 70



Σχήμα 71

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ Κ.Δ.: Γενική Φυσική (Οπτική και Ηλεκτροισμός)

ALONSO - FINN : Fundamental University Physics, Vol.II

BERKELEY : Κυματική, Τόμος III (Μεταφρ. ΕΜΠ)

ΘΕΟΔΟΣΙΟΥ Α.Γ.: Εισαγωγή στη σύγχρονη Φυσική-Οπτική
και Ηλεκτροισμός

ΜΑΖΗ ΑΔΚ. : Φυσική, Τόμος III

HALLIDAY - RESNICK : Φυσική, Τόμος II (Μεταφρ., Εκδ.
Γ.Α.Πνευματικού)

HECHT EUG. : ΟΠΤΙΚΗ (Μεταφρ. Εκδ. ΕΣΠΙ, από τη σειρά:
Schaum's outline series)

SAVELYEV I.V. : Physics Vol.II. Εκδόσεις Mir.