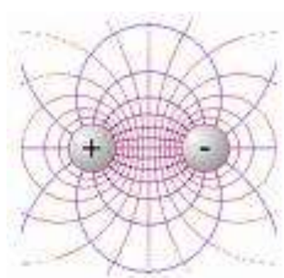
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



Δρ. Παναγιώτης Απ. Βερίλλης
Βιοφυσικός

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Βόλος, Φεβρουάριος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι σημειώσεις αυτές εξυπηρετούν τις ανάγκες του εργαστηρίου Φυσικής του τμήματος Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μέσα από αυτές ευελπιστώ στην καλύτερη κατανόηση βασικών εννοιών από τους φοιτητές, όπως η έννοια του πειράματος, η έννοια του σφάλματος στις μετρήσεις, η σωστή χάραξη γραφικών παραστάσεων κτλ. Περιγράφονται επίσης διεξοδικά δεκατέσσερα πειράματα φυσικής τα οποία συμπεριλαμβάνουν και τη θεωρία των αντίστοιχων φυσικών φαινομένων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους φοιτητές μιας πλήρους εικόνας των πειραμάτων, τόσο από εργαστηριακή, όσο και από θεωρητική άποψη. Ευελπιστώ ότι στο μέλλον οι παρούσες σημειώσεις θα εμπλουτιστούν και με άλλα ενδιαφέροντα πειράματα φυσικής.

Παρόλο που οι παρούσες σημειώσεις έχουν υποστεί ενδελεχή και διεξοδικό έλεγχο, είναι λογικό ορισμένα λάθη να έχουν διαφύγει της προσοχής μου. Παρακαλώ όποιον εντοπίσει τέτοια λάθη να μην διστάσει να μου τα επισημάνει.

Βόλος, Φεβρουάριος 2009

Δρ. Παναγιώτης Απ. Βερίλλης

ΓΕΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

1. Οι φοιτητές εισέρχονται στο εργαστήριο μόνο με την παρουσία του υπευθύνου καθηγητή ή άλλου εκπαιδευτικού, που θα φέρει τη σχετική ευθύνη.
2. Οι φοιτητές γνωρίζουν και τηρούν στο εργαστήριο τους κανόνες και τις οδηγίες ασφαλείας και υγιεινής.
3. Οι φοιτητές της κάθε ομάδα κάθονται πάντοτε τον ίδιο πάγκο εργασίας και χρησιμοποιούν τις οργανοθήκες, τα ερμάρια, το νιπτήρα όπως αυτά έχουν καταχωριστεί στο πλάνο του εργαστηρίου και χρησιμοποιεί μόνο τα όργανα, τις συσκευές, τα υλικά κτλ. που έχουν χρεωθεί στην ομάδα από την αρχή της χρονιάς από τον υπεύθυνο καθηγητή.
4. Οι φοιτητές της κάθε ομάδας χρησιμοποιούν τα μέτρα ατομικής προστασίας (γυαλιά προστασίας, ποδιές, γάντια) όταν τους υποδεικνύεται.
5. Δεν θα πρέπει να εργάζεται στο εργαστήριο ένας φοιτητής μόνος.
6. Οι φοιτητές της κάθε ομάδας πριν αρχίσουν την εκτέλεση μιας άσκησης καλούν τον υπεύθυνο καθηγητή να ελέγξει αν η πειραματική διάταξη έχει συναρμολογηθεί σωστά. Ειδικά δεν τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά κυκλώματα με ρεύμα χωρίς την άδεια του καθηγητή.
7. Οι μεταγγίσεις και οι αραιώσεις των ισχυρών οξέων ή των βάσεων γίνονται από τον υπεύθυνο καθηγητή. Η αραίωση των οξέων ή των βάσεων γίνεται με την προσθήκη τους σιγά-σιγά στο νερό και ποτέ αντίστροφα.
8. Απαγορεύεται οι σιφωνισμοί να γίνονται με το στόμα αλλά μόνο με τη χρήση πουάρ.
9. Τα αντιδραστήρια αμέσως μετά από κάθε χρήση, πρέπει να επιστρέφονται στον υπεύθυνο καθηγητή και να τοποθετούνται στα ειδικά διαμορφωμένα ντουλάπια.
10. Κάθε τυχαία ρύπανση ή διαφυγή υλικών όπως και το σπάσιμο γυαλικών πρέπει να αναφέρεται αμέσως στον υπεύθυνο καθηγητή για αντιμετωπίζεται άμεσα με εξουδετέρωση και καθαρισμό ή απόρριψη.
11. Τα όργανα, τα γυαλικά, τα σιφώνια, οι πιπέτες κτλ. που χρησιμοποιήθηκαν πρέπει να καθαρίζονται αμέσως μετά τη χρήση τους και να τοποθετούνται στην αρχική θέση τους.
12. Ο χώρος του εργαστηρίου πρέπει να διατηρείται καθαρός και στεγνός.
13. Οι πάγκοι πρέπει να αφήνονται πάντα καθαροί και τακτοποιημένοι μετά το τέλος του πειράματος. Οι συσκευές αποσυναρμολογούνται και τα όργανα τοποθετούνται στην αρχική τους θέση.
14. Απαγορεύεται κατανάλωση τροφίμων ή ποτών και αναψυκτικών και το μάσημα τσίχλας στο εργαστήριο.
15. Οι φοιτητές δε μετακινούνται από τη θέση τους χωρίς την άδεια του καθηγητή.
16.Το εργαστήριο είναι χώρος υπεύθυνης εργασίας και όχι χώρος παιγνιδιού και αστεϊσμών.
17.Στο τέλος κάθε εργαστηριακής άσκησης οι φοιτητές της κάθε ομάδας, πριν φύγουν από το εργαστήριο, ελέγχουν κατά τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί ότι:

- i) Ο πάγκος που εργάστηκαν είναι καθαρός και τακτοποιημένος.
- ii) Τα αντιδραστήρια, τα υλικά, τα εργαλεία, τα όργανα και οι συσκευές είναι στη θέση τους.
- iii) Οι πάσης φύσεως ηλεκτρικές συσκευές, θερμαντικές πλάκες, λύχνοι υγραερίου και οινοπνεύματος είναι εκτός λειτουργίας.
- iv) Τα απορρίμματα έχουν απομακρυνθεί και τα δοχεία απορριμμάτων

είναι άδεια και καθαρά.

1. Νερό πάνω σε γυαλισμένο πάτωμα, γλιστράει.
2. Ψηλές συσκευές στην άκρη του πάγκου, όπως είναι το ποτήρι ζέσης επάνω στον τρίποδα με ένα μακρύ σιφώνιο που προεξέχει.
3. Ένας φοιτητής βάζει από απροσεξία το χέρι του στο ζεστό μεταλλικό τρίποδα θέρμανσης. Κίνδυνος εγκαύματος!
4. Ένας δοκιμαστικός σωλήνας που θερμαίνεται, είναι στραμμένος προς τέτοια κατεύθυνση, ώστε το βραστό υγρό μπορεί να πεταχτεί στη μαθήτρια.
5. Ένας δοκιμαστικός σωλήνας έχει θερμανθεί, ενώ περιέχει μια δυσανάλογη μεγάλη ποσότητα υγρού ώστε το καυτό υγρό να ξεχειλίζει.
6. Μπουκάλια με εύφλεκτα και καυστικά υγρά, λόγου χάρη αιθέρας ή υδροχλωρικό οξύ, βρίσκονται στο πάτωμα, με κίνδυνο κάποιος να γλιστρήσει στα χυμένα νερά και να αναποδογυρίσει τα μπουκάλια.
7. Ορθοστάτης που θα αναποδογυρίσει μόλις χρησιμοποιηθεί, επειδή είναι συναρμολογημένος με λανθασμένο τρόπο.
8. Λαστιχένιοι σωλήνες που βρίσκονται ανάμεσα σε μπουκάλια και σε άλλες συσκευές μπορούν εύκολα να προκαλέσουν την πτώση των διάφορων αντικειμένων από τον εργαστηριακό πάγκο. Η ακαταστασία στους πάγκους μπορεί να γίνει αφορμή για πολλά ατυχήματα. Δοχεία που δε χρησιμοποιούνται δεν πρέπει να βρίσκονται επάνω στον πάγκο εργασίας.
9. Ένα μεταλλικό κατσαβίδι (όχι δοκιμαστικό τάσης) χρησιμοποιείται σε πρίζα. Κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.
10. Βαριά μεταλλικά αντικείμενα κρέμονται από λεπτό σπάγκο ή από σύρμα (στο πείραμα με τις τροχαλίες) με κίνδυνο να πέσουν και να προξενήσουν ζημιά ή ατύχημα.
11. Μακριά μαλλιά και φαρδιά ρούχα κοντά στη φλόγα του λύχνου υγραερίου, μπορεί να τσουρουφλιστούν.
12. Χημικές ουσίες σε μπουκάλια που πριν περιείχαν αναψυκτικά και που έχουν ακόμα τις ετικέτες τους μπορεί να εκληφθούν σαν τέτοια.
13. Υγρά που χύνονται επάνω από το ύψος των ματιών (εδώ μέσα σε μια προχοΐδα).
14. Οι έξοδοι του εργαστηρίου έχουν μπροστά τους εμπόδια.

1. ΜΕΓΕΘΗ (ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ) ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Μέγεθος η ποσότητα στην επιστήμη είναι μια μετρούμενη ιδιότητα ενός φαινομένου πού χρησιμοποιείται για την περιγραφή αυτού του φαινομένου. Σαν φαινόμενο μπορεί να θεωρηθεί ένα αντικείμενο, μια λειτουργία, μια συνθήκη κ.λπ. Για παράδειγμα, μέγεθος στην Ιατρική είναι το ύψος, το βάρος ή η θερμοκρασία του σώματος, η αρτηριακή πίεση, ο καρδιακός ρυθμός κ.λπ. Η μέτρηση ενός μεγέθους συνίσταται στη σύγκριση αυτού με άλλο ομοειδές πού κατά συνθήκη δεχόμαστε σαν μονάδα, από την οποία σύγκριση προκύπτει, ή αριθμητική τιμή του μετρουμένου μεγέθους. Δηλαδή ή μέτρηση βασίζεται στον προσδιορισμό της αριθμητικής τιμής από την σχέση (1).

Μέγεθος = Αριθμητική τιμή Χ Μονάδα (1)

Τα μεγέθη χωρίζονται σε μονόμετρα και ανυσματικά. Μονόμετρο μέγεθος είναι αυτό πού ορίζεται τελείως από την αριθμητική του τιμή και την μονάδα του. Παραδείγματα τέτοιων μεγεθών είναι η μάζα, η θερμότητα, ή πυκνότητα κ.λπ. Το ανυσματικό μέγεθος από την άλλη μεριά για να ορισθεί χρειάζεται έκτος από την αριθμητική τιμή και την μονάδα του (μαζί και τα δύο λέγονται μέτρο του ανυσματικού μεγέθους) τον καθορισμό και της διευθύνσεως και της φοράς του. Ανυσματικά μεγέθη είναι ή δύναμη, η ροπή ,η ταχύτητα κ.λπ. Κάθε επιστημονικό πεδίο χρησιμοποιεί ένα περιορισμένο αριθμό διαφόρων μεγεθών. Στη γεωμετρία, για παράδειγμα, το μήκος, το εμβαδόν, ο όγκος και ή γωνία αποτελούν ένα σύστημα μεγεθών. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το σύστημα είναι πρώτης τάξεως γιατί από το ένα θεμελιώδες μέγεθος π.χ. το μήκος, μπορούμε να εξαγάγουμε τα υπόλοιπα μεγέθη.

2.ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ . ΔΙΕΘΝΕΣ ΜΕΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ (S.I.)

Σήμερα, το παγκόσμιο αποδεκτό σύστημα μονάδων μετρήσεως, είναι το Διεθνές Σύστημα μονάδων S.I. (Systems International d1 unites) πού είναι επέκταση του Γαλλικού Μετρικού συστήματος μονάδων. Το Διεθνές σύστημα μονάδων διεμορφώθει στη σημερινή του μορφή, με επτά βασικές(θεμελιώδεις) μονάδες στην 14η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (C G P M) το 1971.Το 1975 όλες οι χώρες της γης έχουν πλέον αποδεχτεί του Διεθνές Σύστημα σαν το επίσημο σύστημα μονάδων. Επιπλέον τον Απρίλιο του 1977 κατά την 30η παγκόσμια συνέλευση, ο παγκόσμιος οργανισμός Υγείας συνιστά στην παγκόσμια ιατρική κοινότητα την υιοθέτηση του διεθνούς Συστήματος Μονάδων.

Οι επτά βασικές μονάδες του Διεθνούς Συστήματος δίνονται στον πίνακα Ι.

Πίνακας Ι. Βασικές Μονάδες του Διεθνούς Συστήματος.

Μέγεθος	**Μονάδα**	**Σύμβολο**
Μήκος	Μέτρο	m
Μάζα	Χιλιόγραμμο	Kg
Χρόνος	Δευτερόλεπτο	s
Ηλεκτρικό ρεύμα	Ampere	A
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	Kelvin	K
Φωτεινή ένταση	Candela	cd
Ποσότητα ουσίας	mole	mol

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ . Πολλαπλάσια και Υποπολλαπλάσια Μονάδων

Παράγον	Πρόθεμα	Σύμβολο
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	K
10^{2}	hecto	h
10^{1}	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	U
10^{-9}	nano	η
10^{-12}	pico	P
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Κατά την χρήση των παραπάνω πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων των μονάδων πρέπει να εφαρμόζονται τα εξής:

1. Δεν επιτρέπεται συνδυασμός δύο η περισσοτέρων προθεμάτων. Παράδειγμα: Ο συμβολισμός mμN η μμN είναι λάθος.
2. Επιτρέπεται ή απλοποίηση των προθεμάτων σε ένα κλάσμα. Παράδειγμα: Αντί για μg/ml γράφουμε mg/1.
3. Το σύμβολο του μέτρου (m) γράφεται στο δεξιότερο μέρος μιας εκφράσεως μονάδων για να μη συγχέεται με το σύμβολο του προθέματος milli (m). Π.χ. 1J=N.m (και όχι mN) .

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΘΕΩΡΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.

3.1. Γενικά

Ία δύο πρώτα στάδια της επιστημονικής μεθόδου, ή παρατήρηση και το πείραμα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την μέτρηση, δηλαδή με τον προσδιορισμό της αριθμητικής τιμής ενός εξεταζομένου μεγέθους. Ο Ι μετρήσεις όμως συνοδεύονται πάντοτε από σφάλματα, προερχόμενα είτε από την χρησιμοποιούμενη μέθοδο μετρήσεως, είτε από αδεξιότητα ή αδυναμία του παρατηρητή, είτε από ατέλειες των οργάνων μετρήσεως. Επομένως για να εκτιμηθούν σωστά οι δυνατότητες και οι περιορισμοί μιας μεθόδου ή ενός οργάνου μετρήσεων, είναι απαραίτητο με την χρήση της θεωρίας σφαλμάτων να υπολογιστούν, οπού είναι δυνατό, τα εμφανιζόμενα σφάλματα ή έστω να εκτιμηθεί ή αβεβαιότητα πού αυτά εισάγουν στο τελικό αποτέλεσμα.
Γενικά, σαν απόλυτο σφάλμα μετρήσεως ε, ορίζεται ή διαφορά μεταξύ μιας μετρούμενης (ή υπολογιζόμενης) αριθμητικής τιμής χ, από την επιζητούμενη αληθινή τιμή χ_o, δηλαδή:

$$\varepsilon = \chi - \chi_o \quad (2)$$

Όταν το σφάλμα δοθεί σε σχέση με το μετρούμενο μέγεθος περνούμε τ0 σχετικό ή ποσοστιαίο σφάλμα ε' .

$$\varepsilon' = \varepsilon/\chi_o \quad (3)$$

και όταν το σχετικό σφάλμα πολλαπλασιαστεί με το εκατό περνούμε το επί τοις εκατό σφάλμα μετρήσεως ε'%.

$$\varepsilon'\% = (\varepsilon/\chi_o)\,x100 \quad (4)$$

Πριν αναπτυχθούν οι διάφοροι τύποι σφαλμάτων, καλό είναι να ξεχωρίσουμε αυτά πού οφείλονται σε λάθη του πειραματιστή, καμία φορά χονδροειδή ή σε βλάβες των οργάνων μετρήσεως. Ευτυχώς, στις περιπτώσεις αυτές οι πηγές σφάλματος γίνονται εύκολα αντιληπτές είτε επειδή ή λαμβανόμενη πληροφορία είναι φανερά λανθασμένη ή γιατί ή μετρούμενη τιμή δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά την αναμενόμενη (αληθινή) τιμή.

Τα σφάλματα πού ενδιαφέρουν την θεωρία σφαλμάτων μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους, μια συνηθισμένη και γενική κατάταξη είναι σε συστηματικά και τυχαία σφάλματα, την οποία και θα ακολουθήσουμε στα παρακάτω.

3.2. Συστηματικά σφάλματα.

Τα συστηματικά σφάλματα προέρχονται από μόνιμα αίτια και επηρεάζουν το αποτέλεσμα των μετρήσεων πάντοτε κατά την αυτή φορά, δηλαδή είτε συστηματικά αυξάνουν το αποτέλεσμα ή συστηματικά το ελαττώνουν. Ή προέλευση τους μπορεί να Οφείλεται στον παρατηρητή (π.χ. σφάλμα παραλλάξεως) ,στα όργανα μετρήσεως (π.χ. κακή βαθμολόγηση), σε εξωτερικά αίτια (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, τάση τροφοδοσίας, κλπ) ή και στη μέθοδο μετρήσεως. Η ανίχνευση των (συστηματικών σφαλμάτων πολλές φορές είναι δύσκολη. Στην πράξη αυτή επιτυγχάνεται με προσεκτική ανάλυση των πειραματικών συνθηκών και της τεχνικής. Στις περιπτώσεις πού ο τύπος και του μέγεθος του σφάλματος μπορούν να προσδιοριστούν, γίνεται διόρθωση του αποτελέσματος με αλγεβρική πρόσθεση του σφάλματος σ' αυτό. Στις άλλες περιπτώσεις ή αβεβαιότητα πού προέρχεται από τα συστηματικά σφάλματα πρέπει να εκτιμηθεί και να συνδυαστεί όπως θα δούμε, με την αβεβαιότητα πού εισάγουν τα τυχαία σφάλματα. Είναι γεγονός ότι με την εξέλιξη της τεχνολογίας όλες οι μέθοδοι και τα όργανα μετρήσεων βελτιώνονται, ώστε να είναι δυνατή ή μείωση ή ακόμα και ή εξάλειψη πολλών συστηματικών σφαλμάτων. Παρ' όλα αυτά, επειδή ή βελτίωση των οργάνων μετρήσεως από πλευράς σφαλμάτων συνοδεύεται από ανάλογη αύξηση στις δαπάνες, ένα όργανο μετρήσεως πρέπει να επιλέγεται με βάση τον αναγκαίο βαθμό ακριβείας της μετρήσεως για την οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

3.3. Τυχαία Σφάλματα (ή Στατιστικά Σφάλματα).

Τα τυχαία σφάλματα διαφέρουν από τα συστηματικά στο ότι οφείλονται σε αστάθμητους παράγοντες πού δεν μπορούν να εξουδετερωθούν. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται συνήθως στον παρατηρητή (π.χ. περιορισμένη ικανότητα παρατηρήσεως) ή μπορεί και να οφείλονται σε ενδογενή αίτια (π.χ. στατιστική φύση) του φαινομένου πού μελετάται. Ενώ ο προσδιορισμός και ή διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων γίνεται με εφαρμογή φυσικών σχέσεων, τα τυχαία σφάλματα, τα οποία μεταβάλλονται από μέτρηση σε μέτρηση έτσι ώστε άλλοτε να είναι θετικά και άλλοτε αρνητικά, εκτιμώνται με βάση την θεωρία των πιθανοτήτων. Όπως θα δούμε στα παρακάτω το τυχαίο σφάλμα γίνεται τόσο μικρότερο, όσο περισσότερες φορές επαναλαμβάνεται μια μέτρηση.

<u>Υπολογισμός τυχαίου σφάλματος</u>.

Έστω ότι κάνουμε n μετρήσεις του μεγέθους χ_o και βρίσκουμε τις τιμές $\chi_1,\chi_2,\chi_3 \ldots \chi_\eta$ που κάθε μια έχει αντίστοιχα σφάλματα $\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3 \ldots \varepsilon_\eta$ (βλ. σχέση 2).

Η μέση (αριθμητική) τιμή $\bar{x}$, των μετρήσεων αυτών δίνεται από την σχέση (5):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (5)$$

και είναι ή καλύτερη τιμή για το μέγεθος πού μετράμε (χ_o) .
Από την θεωρία των πιθανοτήτων αποδεικνύεται μάλιστα, ότι ή μέση τιμή χ πλησιάζει όλο και περισσότερο την αληθινή τιμή χο, όσο αυξάνει ο αριθμός των μετρήσεων n δηλαδή:

$$\lim_{n \to \infty} \bar{x} = x_0 \quad (6)$$

Στην πράξη ο αριθμός των μετρήσεων είναι κατά κανόνα περιορισμένος, με αποτέλεσμα ή μέση τιμή χ να αποκλίνει ενδεχομένως από την τιμή χο. έτσι, στους υπολογισμούς εφόσον δεν είναι γνωστή ή αληθινή τιμή χο ενός μεγέθους, χρησιμοποιούμε αντί αυτής την μέση τιμή χ των μετρήσεων, οπότε το σφάλμα μιας μετρήσεως ε1 δίνεται σαν απόκλιση της τιμής της μετρήσεως χ_1 από την μέση τιμή χ, δηλαδή

$$\varepsilon_i = \chi_i - \bar{x} \quad (7)$$

Αναλυτικότερα, τα σφάλματα μπορούν να δοθούν χωριστά, από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\varepsilon_1 = \chi_1 - \bar{\chi},\ \varepsilon_2 = \chi_2 - \bar{\chi},\ \varepsilon_3 = \chi_3 - \bar{\chi},\ ....,\ \varepsilon_n = \chi_n - \bar{\chi} \quad (8)$$

Ό τρόπος όμως αυτός αποδόσεως του μέτρου της διασποράς των τιμών γύρω από την μέση τιμή δεν είναι ούτε συνοπτικός, ούτε εύχρηστος στον λογισμό.
Ένας καλύτερος τρόπος αποδόσεως του σφάλματος μιας σειράς μετρήσεων δίνει ή <u>μέση</u> απόκλιση α, πού είναι ή μέση τιμή των απολύτων τίνων των επιμέρους σφαλμάτων, όπως δείχνει ή σχέση (9).

$$a = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{\sum |\varepsilon_i|}{n} \quad (9)$$

Η ύπαρξη των απολύτων στη σχέση (9) χρησιμεύει για να μην αλληλοαναιρούνται τα θετικά με τα αρνητικά σφάλματα (ε_1) στο άθροισμα και δίνεται τιμή της μέσης αποκλίσεως μικρότερη της πραγματικής. Είναι γνωστό όμως, ότι ή χρήση των απολύτων δυσκολεύει τις πράξεις στη στατιστική ανάλυση. Ο καλύτερος και ακριβέστερος τρόπος αποδόσεως του μέτρου των αποκλίσεων των τιμών από την μέση τιμή τους, είναι ή διασπορά (variance) s^2 , πού δίνεται από την σχέση (10) .

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \overline{\varepsilon^2} \quad (10)$$

Από την σχέση (10) φαίνεται ότι ή διασπορά είναι βασικά ή μέση τιμή των τετραγώνων των αποκλίσεων. Στην πράξη, πολύ χρήσιμη στατιστική παράμετρος είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς, πού λέγεται τυπική απόκλιση (standard deviation) s, και δίνεται από την σχέση (11) ή από την περισσότερο εύχρηστη στους υπολογισμούς σχέση (12).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (11) \quad , \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}\right.} \quad (12)$$

Μία πολύ συνηθισμένη έκφραση είναι η επί τοις εκατό τυπική απόκλιση, πού ονομάζεται συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation ,C.V.),δηλαδή:

$$C.V. = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (13)$$

Όπως αναφέρθηκε ή τυπική απόκλιση s δίνει το μέτρο της αποκλίσεως των τιμών από την μέση τους τιμή χ, ή ακόμα το μέτρο της αποκλίσεως των τιμών από την αληθινή τιμή x0, εφόσον το χ είναι ή καλύτερη τιμή για το χ_o. Επομένως ,μια μεμονωμένη μέτρηση χ , όπως θα δούμε παρακάτω έχει ορισμένη πιθανότητα, να διαφέρει από την αληθινή τιμή (ή την μέση τιμή) κατά ποσότητα μικρότερη της τυπικής αποκλίσεως s. Δηλαδή έχουμε:

$$\chi_0 \simeq \bar{\chi} = \chi \pm s \quad (14)$$

Από την άλλη μεριά, όταν αντί για μια μεμονωμένη μέτρηση έχουμε μια σειρά επαναληπτικών μετρήσεων ,τότε μπορεί να προσδιοριστεί ή μέση τιμή των μετρήσεων αυτών. Στην περίπτωση αυτή, το μέτρο της αποκλίσεως της υπολογισθείσης μέσης τιμής από την αληθινή τιμή χ_o, δίνεται από το τυπικό ή σταθερό) σφάλμα (standard error) s πού είναι:

$$s_n = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (15)$$

Έτσι ή μέση τιμή έχει ορισμένη πιθανότητα να διαφέρει από την αληθινή τιμή κατά ποσότητα μικρότερη της s_n.
Δηλαδή:

$$x_0 = \bar{x} \pm s_n \quad (16)$$

Επομένως, οι επαναληπτικές μετρήσεις και ο προσδιορισμός της μέσης τιμής ενός μεγέθους έχουν σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας του αποτελέσματος, σε σύγκριση με αυτό πού παίρνεται όταν το μέγεθος μετρηθεί μόνο μία φορά. Είναι ακόμη φανερό ότι ή ποιότητα βελτιώνεται, όσο αυξάνει ο αριθμός των μετρήσεων n (ή $\sqrt{n}$). Δίνοντας όμως την γραφική σχέση $1/\sqrt{n}$ = f(n) βλέπουμε ότι όταν ο αριθμός των μετρήσεων είναι σχετικά μεγάλος (η>20), ο παράγων $1/\sqrt{n}$ παραμένει σχεδόν σταθερός. Στην περίπτωση αυτή (με η> 20) για την λήψη αποτελεσμάτων με ακόμη μεγαλύτερη, ακρίβεια πρέπει συνήθως να χρησιμοποιηθεί καλύτερη μέθοδος μετρήσεως, ακριβέστερα όργανα κλπ.

<u>Παράδειγμα</u>: Ας υποθέσουμε ότι μετράμε τα ύψος σε είκοσι, (η=20) ενήλικες άνδρες που παίρνουμε τις τιμές (χ_i) που δίδονται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1		
α/α (i)	xi(cm)	xi^2 (cm^2)
1	173	29929
2	161	25921
3	179	32041
4	158	24964
5	167	27889
6	168	28224
7	152	23104
8	175	30625
9	176	30976
10	176	30976
11	180	32400
12	174	30276
13	169	28561
14	172	29584
15	164	26896
16	171	29241
17	169	28561
18	166	27556
19	189	35721
20	171	29241
n = 20	Σχi=3410	$\Sigma\chi i^2$=582686
$(\Sigma\chi i)^2$= 11628100		

Στατιστικοί Παράμετροι

$$s_n = \frac{s}{\sqrt{n}} = 1{,}8 \text{ cm} \quad \overline{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 170{,}5 \text{ cm}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}\right) = 67{,}4 \text{ cm}$$

S=8,2 cm

$$s_n = \frac{s}{\sqrt{n}} = 1{,}8 \text{ cm}$$

3.4 Ακρίβεια (accuracy) και Αξιοπιστία (precision) των μετρήσεων.

Η ακρίβεια σε ένα πείραμα είναι το μέτρο του πόσο κοντά στην αληθινή τους τιμή x_0 βρίσκονται οι πειραματικές μετρήσεις. 'Επομένως η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των συστηματικών σφαλμάτων, μάλιστα τόσο μεγαλύτερη είναι ή ακρίβεια, όσο μικρότερα συστηματικά σφάλματα ($\varepsilon = \bar{\chi} - \chi_0$) έχουμε. Εξ' άλλου ή αξιοπιστία σε μια σειρά μετρήσεων είναι το μέτρο της επαναληπτικότητας των μετρήσεων, δηλαδή είναι το μέτρο του πόσο κοντά στη μέση τους τιμή x βρίσκονται οι επί μέρους τιμές των μετρήσεων. Η αξιοπιστία (επαναληπτικότητα) των μετρήσεων είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερα είναι τα τυχαία σφάλματα (s) των μετρήσεων. Στις κλινικές εργαστηριακές εξετάσεις συνήθως δίνεται περισσότερη προσοχή στην αξιοπιστία παρά στην ακρίβεια των μετρήσεων. Αυτό είναι φυσικό, εφ' όσον ή καλή επαναληπτικότητα. (αξιοπιστία) των μετρήσεων μιας εργαστηριακής εξετάσεως, επιτρέπει σε ένα εργαστήριο να καθορίσει ένα σχετικά μικρό εύρος R φυσιολογικών τιμών καθώς και διακεκριμένα εύρη τιμών, πού αντιστοιχούν στις διάφορες παθολογικές καταστάσεις. Δηλαδή, ή καλή αξιοπιστία των μετρήσεων οδηγεί στον καλύτερο διαχωρισμό μεταξύ φυσιολογικών και παθολογικών καταστάσεων και επομένως δίνει μεγαλύτερη πιθανότητα για την σωστή διάγνωση ενός ασθενούς. Από την άλλη μεριά όμως, ή μικρή έμφαση πού συνήθως δίνεται στην ακρίβεια των μετρήσεων, έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο εύρος των τιμών μιας κλινικής εξετάσεως από το ένα εργαστήριο στο άλλο. Αυτό οδηγεί συχνά στο να δίνουν δυο εργαστήρια διαφορετικές τιμές για την ίδια εξέταση στον ίδιο ασθενή. Μια τέτοια κατάσταση όχι μόνο δυσκολεύει την επικοινωνία μεταξύ εργαστηρίων αλλά και μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση στην κλινική διάγνωση. Η αίτια της ασυμφωνίας αυτής μεταξύ των εργαστηρίων είναι τα συστηματικά σφάλματα των μετρήσεων, που είναι διαφορετικά από εργαστήριο σε εργαστήριο λόγω διαφορετικών χειριστών, μεθόδων και Φυσικών συνθηκών. Η κατάσταση αυτή μπορεί να βελτιωθεί αισθητά μόνο με τη σωστή και συνεχή εφαρμογή του ποιοτικού ελέγχου και με βαθμολόγηση της τεχνική και των ηλεκτρονικών οργάνων μετρήσεως με την βοήθεια διεθνών προτύπων (standards).

3.5 Διάδοση των σφαλμάτων

Εάν ένα μέγεθος z εξαρτάται από (μία ή) δύο μετρούμενες ποσότητες (x και y) ή και περισσότερες οι οποίες έχουν μέσες τιμές $\bar{x}, \bar{y}$ και ανεξάρτητα σφάλματα ($\delta\bar{x}, \delta\bar{y}$ αντίστοιχα) τότε υπολογίζουμε το σφάλμα του με τον κανόνα διάδοσης των σφαλμάτων

$$\delta\bar{z} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\delta\bar{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\delta\bar{y}\right)^2}$$

Όπου $\frac{\partial}{\partial x}$ η μερική παράγωγος ως προς x. Αναλυτικότερα οι κανόνες υπολογισμού των σφαλμάτων περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα για μία σειρά απλών μαθηματικών σχέσεων.

	Σχέση μεταξύ Z και (x,y)	Σχέση μεταξύ των σφαλμάτων Δz και $\delta\overline{x}, \delta\overline{y}$
1	z=x+y z=x-y	$\delta\overline{z}^2 = \delta\overline{x}^2 + \delta\overline{y}^2$
2	z=xy z=x/y	$\left(\frac{\delta\overline{z}}{\overline{z}}\right)^2 = \left(\frac{\delta\overline{x}}{\overline{x}}\right)^2 \pm \left(\frac{\delta\overline{y}}{\overline{y}}\right)^2$
3	$z=x^n$	$\left(\frac{\delta\overline{z}}{\overline{z}}\right) = n\left(\frac{\delta\overline{x}}{\overline{x}}\right)$
4	z=lnx	$\delta\overline{z} = \left(\frac{\delta\overline{x}}{\overline{x}}\right)^2$
5	$z=e^x$	$\left(\frac{\delta\overline{z}}{\overline{z}}\right) = \delta\overline{x}$
6	$z=\frac{x+y}{2}$	$\delta\overline{z} = \frac{1}{2}\sqrt{\delta\overline{x}^2 + \delta\overline{y}^2}$

4. ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ – ΑΡΙΘΜΟΣ ΨΗΦΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Γράφοντας το αποτέλεσμα μιας μετρήσεως εκφράζουμε όχι μόνο την τιμή του μετρουμένου μεγέθους αλλά και την εμπιστοσύνη μας για την μέτρηση αυτή. Αυτό υποδηλώνεται από το πλήθος των σημαντικών (αξιόπιστων) ψηφίων πού χρησιμοποιούμε για να εκφράσουμε την αριθμητική τιμή. Αυτό ισχύει εφ' όσον ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων καθορίζεται από την αβεβαιότητα (σφάλματα) της μετρήσεως. Στην περίπτωση πού το σφάλμα δεν δίνεται ακριβώς υποτίθεται ότι αυτό είναι το μισό μιας μονάδας του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Για παράδειγμα, αν μετρήσουμε το ύψος ενός ανθρώπου με μέτρο βαθμολογημένο σε mm και βρούμε
h= 173,7cm, τότε ή αβεβαιότητα της μετρήσεως είναι $\pm$ 0,05 cm .Έτσι ή αληθινή τιμή του ύψους μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε μεταξύ 173,65 cm και 173,75 cm και ή στρογγυλεμένη τιμή είναι ή 173,7 cm Η μέτρηση αυτή έχει προφανώς τέσσερα σημαντικά ψηφία. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα μεγαλύτερης ακρίβειας (π.χ. βερνιέρο) θα μπορούσαμε να επιτύχουμε μικρότερη αβεβαιότητα ($\pm$0,005) και να εκφράσουμε το ύψος του άνθρωπου με πέντε σημαντικά ψηφία π. χ. 173,69. "Από την άλλη μεριά, αν ή αβεβαιότητα της μετρήσεως είναι $\pm$ 0,5 cm τότε μια έκφραση της μορφής 173,69 $\pm$ 0,5cm δεν έχει νόημα γιατί τα δύο τελευταία ψηφία είναι ασήμαντα σε σύγκριση με την αβεβαιότητα της μετρήσεως. Ή μέτρηση δηλαδή γράφτηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια απόδοση μπορεί να καθοριστεί. Η σωστή έκφραση είναι 173 $\pm$ 0,5 cm.
Άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία για την αναγραφή του αποτελέσματος μιας μετρήσεως είναι:

1. Όταν έχουμε μια μόνο μέτρηση και γνωρίζουμε το σφάλμα, όλα τα ψηφία μέχρι και το πρώτο αμφίβολο ψηφίο θεωρούνται ότι είναι σημαντικά. Δηλαδή στη μέτρηση 173,7 $\pm$ 0,2 cm έχουμε τέσσερα σημαντικά ψηφία, εφ' όσον το 7 είναι το πρώτο αμφίβολο ψηφίο.

Όταν όμως έχουμε επαναληπτικές μετρήσεις ενός μεγέθους, η μέση τιμή δίνεται με δύο αμφίβολα ψηφία, δηλαδή με μικρότερη αβεβαιότητα κατά μία τάξη μεγέθους από την αβεβαιότητα των επί μέρους μετρήσεων.

2. Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων σε ένα αποτέλεσμα προσδέσεως, αφαιρέσεως, πολλαπλασιασμού ή υψώσεως σε δύναμη κ.ά. δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον μικρότερο αριθμό σημαντικών ψηφίων στους αριθμούς πού παίρνουν μέρος στον υπολογισμό,

π. χ. 173,2 + 0,0004 = 173,2
10 - 9,13846 = 1
10,0 - 9,13846 = 0,9
4,37968 X 2,1 =9,2

3. Όταν σταθεροί αριθμοί όπως το π = 3,14159265.......
παίρνουν μέρος σε υπολογισμούς, πρέπει να δίνονται με τόσα σημαντικά ψηφία όσα είναι απαραίτητα για να έχουν σαν αποτέλεσμα ένα ασήμαντο λάθος σε σχέση με τα σφάλματα των μετρήσεων.

4. Ένας αριθμός στρογγυλεύεται στο σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων ως έξης:
α) Ψηφία μεγαλύτερα από το 5 μετατρέπονται σε 1 ψηφίο της αμέσως προηγούμενης τάξεως,

π.χ. 173,69 ——— 173,7
19,6 ——— 20

β) Ψηφία μικρότερα από 5 παραλείπονται,

π. χ. 173,4 ——— 173
17,62 ——— 17,6

5. ΕΚΦΡΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ. ΠΙΝΑΚΕΣ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.

5. 1 Πίνακες

Η καταγραφή των μετρήσεων πού λαμβάνονται σε ένα πείραμα γίνεται σε πίνακες. Η χρησιμότητα των πινάκων είναι μεγάλη όχι μόνο γιατί βοηθά να αποφεύγουμε λάθη κατά την γραφή των πειραματικών τιμών αλλά και γιατί έχουμε μια άμεση εποπτεία των πειραματικών τιμών. Ως εκ τούτου μπορούμε να ελέγξουμε τις διακυμάνσεις των τιμών των μεγεθών των όποιων μελετάμε την μεταβολή και να επαναλάβουμε μια μέτρηση ή οποία φαίνεται να είναι έξω από τα όρια μεταβολής, οφειλόμενη πιθανώς σε δικό μας λάθος.

Ο πίνακας θα πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε να είναι εμφανές ποιων μεγεθών α-πεικονίζει τις πειραματικές τιμές καθώς και την μονάδα μετρήσεως των. Τα μεγέθη και οι μονάδες τους γράφονται στην πρώτη γραμμή του πίνακα (και όχι σε κάθε μέτρηση χωριστά) και προτιμάται το μέγεθος να γράφεται ολογράφως ούτως ώστε να αποφεύγο-νται συγχύσεις με άλλα μεγέθη. Οι μονάδες θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι στο S.I. σύστημα.
Αν οι πειραματικές τιμές περιλαμβάνουν δύσχρηστους (πολύ μεγάλους ή πολύ μικρούς) αριθμούς τότε μπορούμε να αναγάγουμε μια στήλη ενός πίνακα σε δύναμη του δέκα πολλαπλασιάζοντας την, με την υποχρέωση όμως αυτό να αναγράφεται στον πίνακα στην αντίστοιχη θέση. (Πίνακας 2) Επειδή σε ένα πείραμα μεταβάλλουμε ένα μέγεθος και μετρούμε την μετά-βολή ενός άλλου θα πρέπει κατά την καταγραφή των μετρήσεων να βάζουμε τις αντίστοιχες τιμές στην ίδια γραμμή του πίνακα. Επίσης στην πρώτη στή-λη ενός πίνακα θα πρέπει να τοποθετείται ο αύξων αριθμός της μέτρησης. Αν το μέγεθος του οποίου θέλουμε να μελετήσουμε την μεταβολή είναι συνάρτηση άλλων μεγεθών τα οποία προκύπτουν από απλές μετρήσεις τότε χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες στήλες του πίνακα για την καταγραφή των βασικότερων (αριθμητικών) πράξεων ως το τελικό μέγε-θος.
Ο πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων όπως ή μέση τιμή, ή σταθερή απόκλιση κ.λπ. Οι πράξεις πού απαιτούνται για τον προσ-διορισμό των παραμέτρων αυτών θα πρέπει να γράφονται σε πλαϊνές στήλες του πίνακα. Η τελευταία γραμμή ενός πίνακα χρησιμοποιείται για τα αθροίσματα των στηλών, αυτό όμως θα πρέπει να αναγράφεται στον πίνακα ούτως ώστε να αποφεύγεται σύγχυση με τις πειραματικές τιμές.

α/α	Ακτίνα r$\times10^{-3}$ m^3	$r^3\times10^{-9}$ m^3	Όγκος V$\times10^{-9}$ m^3
1	1.6	4.096	17.160
2	1.7	4.913	20.586
3	JL.8	5.832	24.436
4	1.7	4.913	20.586
5	1.8	5.832	24.436
6	1.8	5.832	24.436

Πίνακας 2. Υπολογισμός όγκου σφαιρών μετά από μέτρηση της ακτίνας τους (μετρούμενη ακτίνα π.χ. στην πρώτη μέτρηση είναι 1,6 Χ 10^{-3}m) .

5.2. Διαγράμματα

5.2.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων έχει σαν κύριο σκοπό τον προσδιορισμό ή ε-παλήθευση μιας μαθηματικής σχέσης μεταξύ των μεταβαλλόμενων μεγεθών.
"Η γραφική μέθοδος είναι ίσως ή καλλίτερη μέθοδος προσδιορισμό ή επαληθεύσεως ε-νός νόμου. Το διάγραμμα μπορεί να μας πληροφορήσει αν υπάρχει, κάποια σχέση που συνδέει τα μεγέθη (μεταβλητές) . 'Από την διασπορά των πειραματικών σημείων στο διάγραμμα μπορούμε να εκτιμήσουμε την απόκλιση των σημείων αυτών από την αντί-

στοιχη τους αληθή τιμή πού όπως είναι φυσικό πρέπει να βρίσκεται πάνω στην καμπύλη. 0 βαθμός της εκτροπής αντιστοιχεί στην αβεβαιότητα, των μετρήσεων. Το διαγραφή επίσης μας παρέχει την δυνατότητα να προβλέψουμε τις ταξεις των μεγεθών και για μετρήσεις πού δεν πήραμε. Δεν θα πρέπει όμως το διάγραμμα να προεκτείνεται πέρα από τις ακραίες πειραματικές τιμές γιατί είναι πιθανόν ή καμπύλη να μην ακολουθεί την ίδια μορφή έξω από την περιοχή των μετρήσεων μας. Αν είναι γνωστή εκ των προτέρων μια θεωρία τότε είναι δυνατόν από το διάγραμμα να δούμε καθαρά την περιοχή όπου οι μετρήσεις μας αποκλίνουν από τον θεωρητικό τύπο, το όποιο μπορεί να συμβεί όταν π. χ. ή διάταξη πού χρησιμοποιούμε είναι ακατάλληλη για εκείνη την περιοχή μετρήσεων ή θεωρία είναι ανεπαρκής.

5.2.2 Κατασκευή Διαγράμματος

Για να αποτελεί όμως μία γραφική παράσταση χρήσιμο βοήθημα για την ανάλυση πειραματικών δεδομένων θα πρέπει να κατασκευάζεται προσεκτικά ούτως ώστε να είναι εύκολος ο εποπτικός διαχωρισμός των κύριων χαρακτηριστικών του διαγράμματος. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ακολουθούνται ορισμένοι κανόνες πού
δείχνονται παρακάτω.

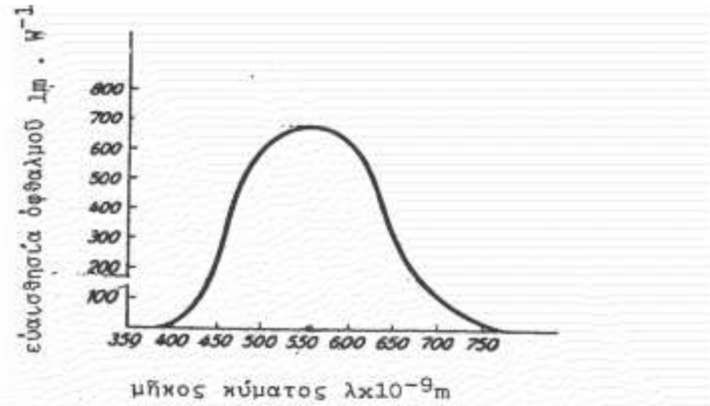
α) Σε ένα. διάγραμμα θα πρέπει το μέγεθος το όποιο μεταβάλλουμε (ανεξάρτητη μεταβλητή) να μπαίνει στον οριζόντιο άξονα (τετμημένη) και το μέγεθος του οποίου μελετάμε την μεταβολή (εξαρτημένη μεταβλητή) στον κατακόρυφο άξονα (τεταγμένη) .

β) Οι άξονες θα πρέπει να ονομάζονται με το μέγεθος και την μονάδα μετρήσεως τους, ή οποία πρέπει να δίνεται στο διεθνές
σύστημα(S.I). Όταν δεν είναι φανερό ποιών μεγεθών κάνουμε την γραφική παράσταση, τότε τα μεγέθη θα πρέπει να γράφονται Ολογράφως για να αποφεύγονται συγχύσεις.

γ) Το μέγεθος του διαγράμματος θα πρέπει να καλύπτει σχεδόν όλο το διαθέσιμο χώρο, το όποιο μπορούμε να πετύχουμε εκλέγοντας κατάλληλα την κλίμακα στους άξονες.

δ) i) Η κλίμακα θα πρέπει να εκφράζει μια απλή σχέση μεταξύ της μεταβλητές και της βαθμολογίας του διαγράμματος,
ii) Η κλίμακα δεν είναι απαραίτητο να είναι ή ίδια στους δύο άξονες. Αυτό μας βοηθάει να κατανείμουμε τα σημεία στο χώρο του διαγράμματος,

iii) Ή αρχή της κλίμακας δεν είναι αναγκαίο να βρίσκεται πάνω στο διάγραμμα. Αυτό μας εξασφαλίζει ότι δεν θα έχουμε περιοχές στο διάγραμμα για τις οποίες δεν έχουμε πάρει μετρήσεις. (Σχ.1)
ίν) Όταν οι μετρήσεις μας περιλαμβάνουν δύσχρηστους (πολύ μεγάλους ή πολύ μακρούς) αριθμούς τότε είναι δυνατόν να εκφράσουμε την κλίμακα σε δύναμη του 10. (Σχ. 1)



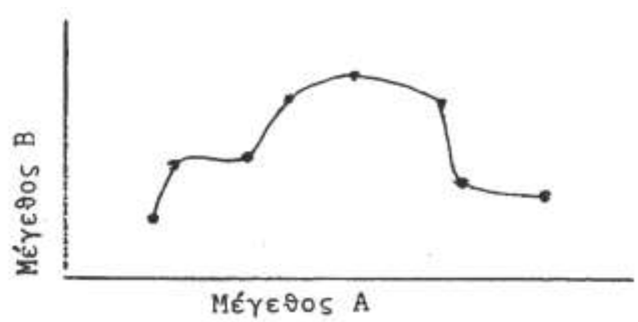
Σχῆμα 1. Καμπύλη εὐαισθησίας τοῦ ὀφθαλμοῦ.

ε) Τα πειραματικά σημεία θα πρέπει να τοποθετούνται ευκρινώς και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσεγγίζουν την έννοια του γεωμετρικού σημείου.

στ) Πάνω στο διάγραμμα δεν θα πρέπει να αναγράφονται οι συντεταγμένες των πειραματικών σημείων. Στο διάγραμμα θα πρέπει να γράφονται η συνάρτηση των μεγεθών φ = f(χ) καθώς και ο μαθηματικός τύπος αν υπάρχει. Ακόμη είναι δυνατόν να γράψουμε τα σημεία τομής της καμπύλης με τους άξονες καθώς και χαρακτηριστικά μεγέθη όπως κλίση κ.λπ.

ζ) i) Επειδή κάθε μέτρηση επηρεάζεται από το αντίστοιχο της σφάλμα ή καμπύλη θα πρέπει να εξισορροπεί την εκτροπή των πειραματικών σημείων και να είναι όσο το δυνατόν ομαλή. Στις περιπτώσεις εκείνες πού δεν επιδιώκουμε μαθηματική ακρίβεια ή εκτίμηση για την καλύτερη καμπύλη καθορίζεται με το μάτι, ούτως ώστε τα σημεία να μοιράζονται ισόρροπα γύρω από την καμπύλη. Εάν τα σημεία φαίνεται ότι ταιριάζουν σε ευθεία, γραμμή χαράσσουμε την ευθεία με το χάρακα. Εάν τα σημεία φαίνεται ότι ταιριάζουν σε καμπύλη γραμμή τότε χαράσσουμε την καμπύλη ή με ελεύθερο χέρι ή με το καμπυλόγραμμο.

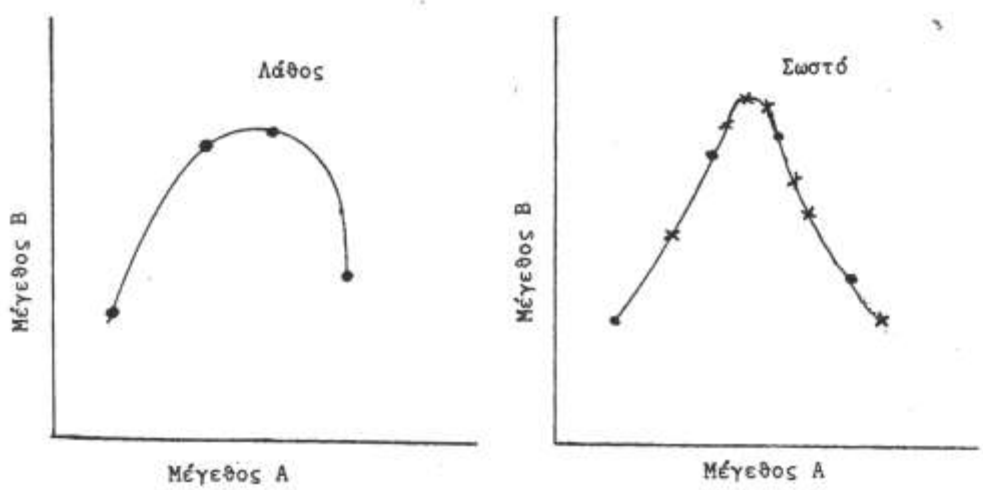
ii) Δεν θα πρέπει να ενώνουμε στην τύχη όλα τα πειραματικά σημεία. Καμπύλες του σχήματος 4 δεν μας δίνουν σωστή πληροφορία για τα μεταβαλλόμενα μεγέθη.



Σχήμα 2: Λανθασμένη χάραξη καμπύλης

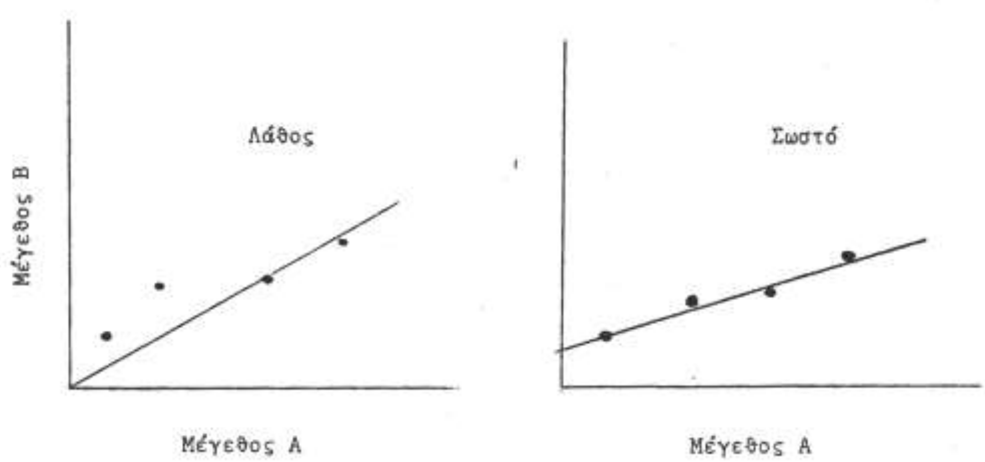
iii) Έάν ένα σημείο φαίνεται να αποκλίνει από τις τιμές τότε αν δεν είναι δυνατόν να επαναλάβουμε την μέτρηση εξετάζουμε με μαθηματικές μεθόδους (στατιστικές) αν πρέπει να απορρίψουμε την μέτρηση αυτή. Αν είναι δυνατόν να επαναλάβουμε το πείραμα τότε περνούμε μετρήσεις γύρω απ’ αυτό το σημείο, για να αποφανθούμε για τα αν ή απόκλιση οφείλεται σε σφάλμα ή όχι.

iv) Για να αποφεύγονται λάθη όπως του σχήματος 5 λαμβάνουμε όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις ιδίως δε στις περιοχές αμφιβόλων σημείων και στις περιοχές εκείνες που υποπτευόμαστε ότι υπάρχουν σημεία καμπής της καμπύλης.



Σχήμα 3: Λανθασμένη και σωστή χάραξη καμπύλης.

v) Μην αναγκάζετε μια ευθεία να περνάει από την αρχή των αξόνων, εκτός και αν το είναι γνωστό από την θεωρεία. Αν όχι, η ευθεία δεν πρέπει να περνάει από την αρχή των αξόνων (σχήμα 6).



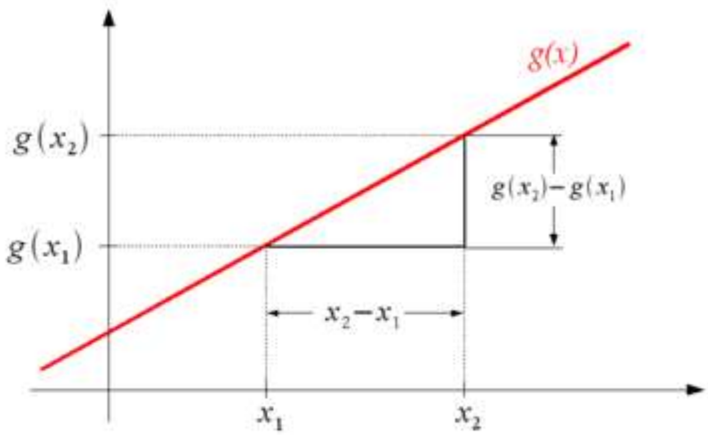
Σχήμα 4: Λανθασμένη και σωστή χάραξη ευθείας.

5.2.3 Κλίση ευθείας.

Η γενική διατύπωση γραμμικών συναρτήσεων είναι g(x) = mx + b. Η κλίση μιας γραμμικής συνάρτησης (δηλ. μιας ευθείας) είναι:

$$m = \frac{g(x_1) - g(x_2)}{x_2 - x_1}$$

για δύο οποιαδήποτε σημεία $(x_1,\ g(x_1)),\ (x_2,\ g(x_2))$, όταν x_1 διάφορο x_2 .



Σχήμα 5: Η κλίση μιας γραμμικής συνάρτησης.

5.2.4 Κλίση μη γραμμικής συνάρτησης.

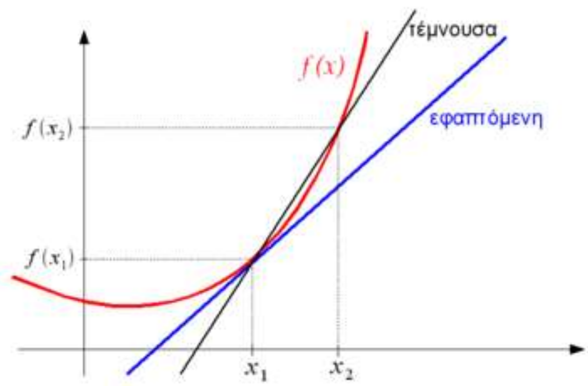
Σε μη γραμμικές συναρτήσεις, π.χ. καμπύλες στο διδιάστατο χώρο (ως παραστατική περίπτωση) η κλίση ποικίλλει. Ένας τρόπος για να οριστεί η κλίση μιας (μη γραμμικής) συνάρτησης $f(x)$σε κάποιο σημείο x_1είναι να ταυτιστεί η κλίση της συνάρτησης στο σημείο $(x_1,\ f(x_1))$ με την κλίση της εφαπτομένης που έρχεται σε επαφή με την συνάρτηση στο συγκεκριμένο σημείο. Η επόμενη ερώτηση είναι λοιπόν πως να υπολογιστεί η κλίση της εφαπτομένης. Είναι εύκολο να κατανοηθεί ότι αν επιλεχτεί ένα σημείο x_2 κοντά στο x_1η τέμνουσα που διέρχεται από τα σημεία $(x_1,\ f(x_1))$ και $(x_2,\ f(x_2))$ έχει περίπου την ίδια κλίση με την εφαπτόμενη. Η κλίση της τέμνουσας είναι:

$$\frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_2 - x_1}.$$

Το παραπάνω κλάσμα ονομάζεται μέσος ρυθμός μεταβολής. Όσο πλησιέστερα επιλεχτεί το σημείο x_2στο σημείο x_1, τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση της κλίσης της εφαπτομένης. Η άπειρη προσέγγιση του σημείου x_2στο σημείο x_1και μαζί της ο υπολογισμός της κλίσης της εφαπτομένης εκφράζεται στα μαθηματικά ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} f'(x_1) &= \lim_{x_2 \to x_1} \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \\ &= \lim_{h \to 0} \frac{f(x_1 + h) - f(x_1)}{h}. \end{aligned}$$

$f'(x_1)$ονομάζεται παράγωγος της συνάρτησης $f(x)$στο σημείο x_1. Επίσης μπορεί να ειπωθεί πως η παράγωγος είναι το όριο του μέσου ρυθμού μεταβολής εάν το x_2τείνει στο x_1. Αν αυτό το όριο υπάρχει τότε η συνάρτηση $f(x)$ονομάζεται διαφορίσιμη, αν όχι, μη διαφορίσιμη.

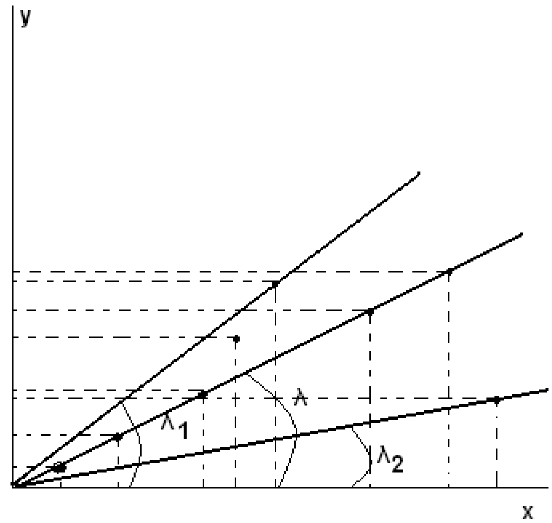


Σχήμα 6: Η κλίση μιας μη γραμμικής συνάρτησης.

5.2.5 Σφάλμα κλίσης ευθείας με τη μέθοδο των εναλλακτικών ευθειών.

Η μέτρηση της κλίσης (λ) μιας γραμμικής συνάρτησης εμπεριέχει σφάλμα, ειδικά όταν πρόκειται για γραφική παράσταση η οποία προκύπτει από πειραματικές τιμές. Όπως προείπαμε για να χαράξουμε την βέλτιστη ευθεία από μια σειρά πειραματικών σημείων, πρέπει εκατέρωθεν (της ευθείας) να αφήνουμε περίπου τον ίδιο αριθμό σημείων. Διαλέγοντας το σημείο που απέχει περισσότερο από την πάνω μεριά της βέλτιστης ευθείας και με κοινή αρχή με τη βέλτιστη ευθεία, φέρουμε μια εναλλακτική ευθεία η οποία έχει κλίση λ_1. Με ανάλογο τρόπο εργαζόμαστε για την περιοχή των σημείων που βρίσκονται κάτω από τη βέλτιστη ευθεία.. Έστω λ_2 η κλίση αυτής της ευθείας. Το σφάλμα σ(λ) της κλίσης της βέλτιστης ευθείας δίνεται από τη σχέση:

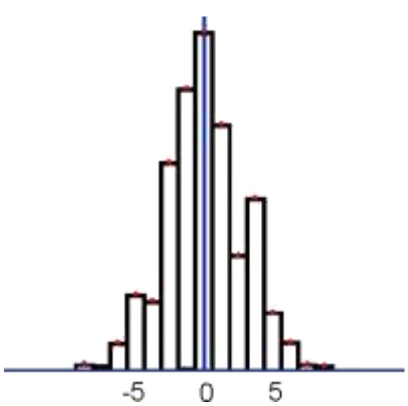
$$\sigma(\lambda) = \frac{|\lambda_2 - \lambda_1|}{2}$$



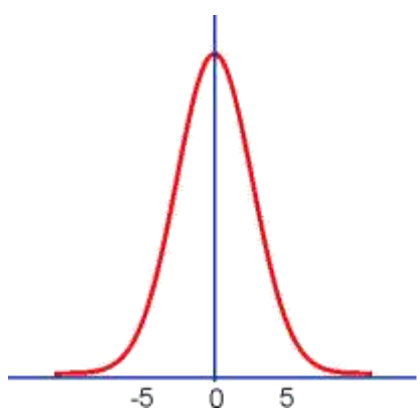
Σχήμα 7: Η μέθοδος των εναλλακτικών ευθειών.

6. ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSS.

Σύμφωνα με τη στατιστική θεωρία εάν ένα φαινόμενο είναι πράγματι τυχαίο τότε η ο-ριακή κατανομή που θα προκύψει (μετά από άπειρες προσπάθειες) θα είναι μια κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss. Η κατανομή Gauss είναι ίσως η πιο κοινή κατανομή στη θεωρία των πιθανοτήτων δηλαδή εάν επαναλάβουμε ένα πείραμα (π.χ ρίχνοντας ένα βέ-λος να πετύχουμε το 0), το αποτέλεσμα που παίρνουμε για π.χ 100 προσπάθειες φαίνεται στο κάτωθεν σχήμα και περιγράφεται μαθηματικά από την διπλανή στο σχήμα καμπύλη.



100 προσπάθειες



άπειρες προσπάθειες

Ή από τη σχέση

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-x_o)^2}{2\sigma^2}}$$

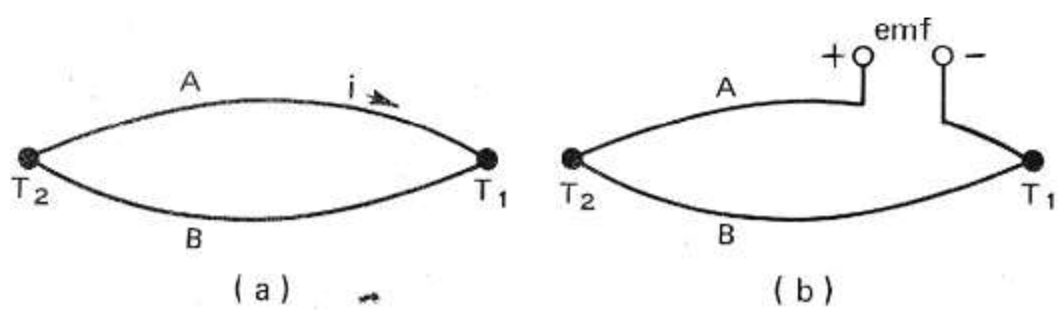
που εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί το αποτέλεσμα x όπου xo είναι η πιο πιθανή τιμή και σ η τυπική απόκλιση (βλ. παρακάτω) που καθορίζει το εύρος της κατανομής. Αυτήν την κατανομή ακολουθούν τα τυχαία σφάλματα και γι αυτό με προσέγγιση της κατανομής των μετρήσεων με κατανομή Gauss, η τυπική απόκλιση αποτελεί τον τρόπο που εκφράζεται το σφάλμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΥΣ

Τα θερμοζεύγη (thermocouples) είναι πολύ κατάλληλα για μέτρηση θερμοκρασιών πάνω στη γραμμή επεξεργασίας γιατί είναι μικρά (εύχρηστα), οικονομικά, ακριβή και αξιόπιστα. Επιπλέον, η μικρή απόκλιση από την γραμμικότητα που παρουσιάζουν, σήμερα μπορεί να διορθωθεί με ηλεκτρονικά εξαρτήματα χαμηλού κόστους. Τα ίδια εξαρτήματα προσφέρουν αυτόματη διόρθωση θερμοκρασίας για την ψυχρή σύνδεση. Τα θερμοζεύγη δεν είναι κατάλληλα για μετρήσεις από απόσταση (χωρίς άμεση επαφή), αν και στον τομέα αυτό έχει γίνει τελευταία σημαντική πρόοδος με τη χρήση ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η αρχή λειτουργίας των θερμοζευγών στηρίζεται στην ανακάλυψη του Seebeck* (1821). Ο Seebeck ανακάλυψε ότι ηλεκτρικό ρεύμα τρέχει συνεχώς μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα δύο διαφορετικών μεταλλικών συρμάτων, εφ' όσον οι δύο συνδέσεις βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Διαγραμματικά το θερμοζεύγος μπορεί ν' αποδοθεί σύμφωνα με το σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 10).

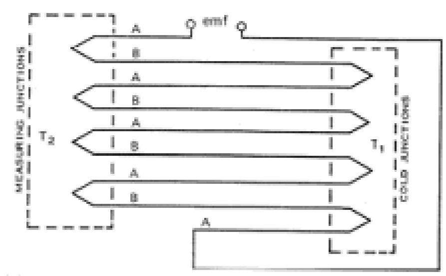


Σχήμα 8: Σχηματική αναπαράσταση θερμοζεύγους.

Α και Β είναι τα δύο μέταλλα και T_1 και T_2 είναι οι θερμοκρασίες των δύο συνδέσεων. Αν T_1 είναι η ψυχρότερη σύνδεση και το θερμοηλεκτρικό ρεύμα (i) τρέχει προς την κατεύθυνση που δείχνει το σχήμα, τότε το μέταλλο Α συνηθίζεται να αναφέρεται ως θερμοηλεκτρικά θετικό ως προς το μέταλλο (Β). Σε ηλεκτρικά κυκλώματα, το ρεύμα εξαρτάται από την ηλεκτρεγερτική δύναμη - ΗΕΔ (electromotive force, emf) που αναπτύσσεται και από την αντίσταση του κυκλώματος. Για ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας το όργανο μέτρησης κατασκευάζεται έτσι ώστε οι επιπτώσεις από την αντίσταση του κυκλώματος να εκμηδενίζονται.

Η θερμική ΗΕΔ όπως εμφανίζεται στη θέση (b) του παραπάνω σχήματος, είναι ένα μέτρο της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ T_2 και T_1. Στα συστήματα ελέγχου η σύνδεση αναφοράς (ψυχρή σύνδεση) βρίσκεται συνήθως στο μηχανισμό μέτρησης της ΗΕΔ (emf). Η ψυχρή σύνδεση μπορεί να διατηρηθεί σε σταθερή θερμοκρασία, όπως για παράδειγμα μέσα σε παγόλουτρο ή σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας, ή μπορεί να διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου αλλά να διορθώνεται ηλεκτρικά έτσι ώστε να φαίνεται σαν να διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία.

Πολλά όμοια θερμοζεύγη σε σειρά μπορεί να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τη διάταξη του σχήματος 11 για να εξασφαλίζουν ένα ισχυρότερο σήμα μέτρησης της θερμοκρασίας ή για να δώσουν το μέσο όρο της θερμοκρασίας σε διαφορετικές θέσεις. Στην περίπτωση αυτή οι ψυχρές συνδέσεις πρέπει όλες να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Αλλιώς πρέπει να βρεθεί ο μέσος όρος των θερμοκρασιών τους. Κυκλοφορούν πολλοί διαφορετικοί τύποι θερμοζευγών που χρησιμοποιούν διαφορετικούς συνδυασμούς μεταλλικών συρμάτων και είναι κατάλληλοι για διαφορετικά φάσματα θερμοκρασιών. Στη βιομηχανία τροφίμων περισσότερο διαδεδομένα είναι τα θερμοζεύγη τύπου "T" που αποτελούνται από χαλκό (Cu) και ένα κράμα χαλκού (55%) - Νικελίου (45%) που είναι γνωστό με το όνομα κονσταντάν (constantan). Τα θερμοζεύγη Cu-CuNi (χαλκού/κονσταντάν) δίνουν αρκετά αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασιών, αρκεί να έρχονται σε άμεση επαφή με το θερμομετρούμενο υλικό.



Σχήμα 9: Θερμοζεύγη σε σειρά.

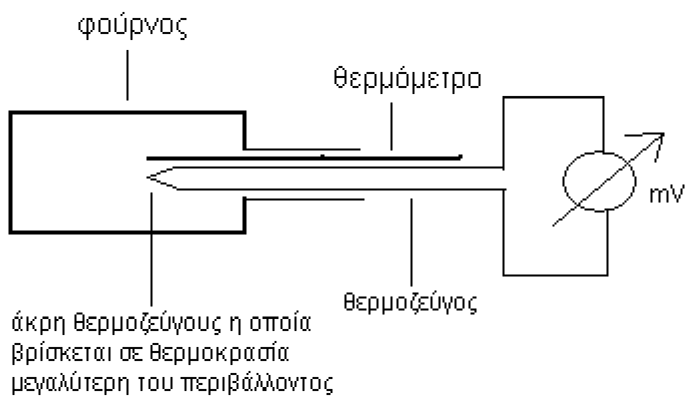
***Φαινόμενο Seebeck**

Όταν δύο διαφορετικά μέταλλα συνδεθούν και τα σημεία συνδέσεων βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε αναπτύσσεται μια διαφορά τάσεως στα δύο μη συνδεδεμένα άκρα που είναι ανάλογη προς τη διαφορά θερμοκρασίας. Η διάταξη ονομάζεται θερμοζεύγος (Σχ 10). Έτσι, εάν το σημείο T_1 κρατείται σε γνωστή θερμοκρασία, η μέτρηση της τάσεως V θα δώσει την άγνωστη θερμοκρασία T_2. Η σύνδεση στην T_1 ονομάζεται σύνδεση αναφοράς καθώς η θερμοκρασία T_1 μετριέται σε σχέση με την T_1. Η τάση V, ανάλογη προς τη διαφορά θερμοκρασίας T_2 - T_1, είναι γνωστή σαν το φαινόμενο Seebeck και ο συντελεστής α ονομάζεται θερμοηλεκτρική ισχύς. Η τάση αυτή οφείλεται στην ανταλλαγή των ελεύθερων ηλεκτρονίων στην περιοχή της επαφής. Μέταλλα που συνηθέστερα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή θερμοζευγών είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, η πλατίνα και διάφορα κράματα όπως χρώμελ (κράμα νικελίου και χρωμίου), αλούμελ (κράμα αλουμινίου και νικελίου), κονσταντάν (κράμα χαλκού και νικελίου) και πλατίνα - ρόδιο. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ανά ζεύγη έτσι ώστε να αναπτύσσουν τη μεγαλύτερη θερμοηλεκτρική ισχύ. Για τις περισσότερες εφαρμογές, τα θερμοζεύγη κατασκευάζονται από τα μέταλλα που αναφέρονται παραπάνω σε μορφή σύρματος. Εφόσον η θερμοηλεκτρική ισχύς των θερμοζευγών είναι αρκετά μικρή, το μέγεθος της αναπτυσσόμενης τάσης περιορίζεται σε λίγα μίλινολτ (mV) για κάθε διαφορά θερμοκρασίας 100 °C . Έτσι, για ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας απαιτείται η χρήση οργάνων υψηλής ευαισθησίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο ή μικροβολτόμετρο. Το μπάνιο νερού-πάγου μπορεί να αντικατασταθεί με μια ισοδύναμη πηγή τάσεως (μπαταρία) . Η τελευταία διάταξη είναι γνωστή σαν θερμοζεύγος ηλεκτρικά αντισταθμιζόμενο .

Η επιλογή του βέλτιστου τύπου θερμοηλεκτρικών ζευγών (μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους) είναι βασισμένη στη θερμοκρασία εφαρμογής, την ατμόσφαιρα, το απαραίτητο μήκος , την ακρίβεια και το κόστος. Ένα πραγματικό επίτευγμα της μηχανικής είναι ότι αυτά τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη είναι εντυπωσιακά αξιόπιστα και ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες. Τα λεπτά μέρη που απαρτίζουν το θερμοηλεκτρικό ζεύγος θεωρείται ότι είναι σχεδόν αδύνατον να σπάσουν εκτός και εάν ξεπεραστεί η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Αυτή η παραδοχή είναι πολύ σημαντική διότι η θέση στην οποία τοποθετούνται τα ζεύγη δεν επιτρέπει την αποκόλληση τμημάτων του θερμοηλεκτρικού ζεύγους γιατί κάτι τέτοιο θα κατάστρεφε τμήματα της μηχανής.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι τόσο η μέτρηση θερμοηλεκτρικής τάσης ενός θερμοηλεκτρικού στοιχείου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, όσο και η κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης του θερμοζεύγους.



Σχήμα 10: Πειραματική διάταξη άσκησης

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την εκτέλεση της πειραματικής άσκησης είναι:

i) Ηλεκτρικός φούρνος.
ii) Μετασχηματιστής τροφοδοσίας φούρνου.
iii) Θερμόμετρο υδραργύρου.
iv) Θερμοζεύγος μιας επαφής.
v) Μιλιβολτόμετρο.
vi) Καλώδια σύνδεσης.

Γ) Για την λήψη πειραματικών μετρήσεων εργασθείτε ως εξής:

Εισάγετε τον υαλοσωλήνα με το θερμόμετρο και το θερμοζεύγος μέσα στον φούρνο. Θέστε τον μετασχηματιστή σε λειτουργία και τροφοδοτείστε τον φούρνο με 40 Volt. Ανά

5 °C και έως τους 120 °C καταγράψτε τη θερμοηλεκτρική τάση V που αναγράφει το μιλιβολτόμετρο σε έναν πίνακα όπως ο κάτωθι:

Θερμοκρασία (°C) ± σφάλμα μέτρησης	**Τάση (mVolt) ± σφάλμα μέτρησης**
5	
10	
…………………………………….	
120	

Δ) i)Από τις μετρήσεις που πήρατε κατασκευάστε το πειραματικό διάγραμμα V = f(θ) σε χιλιοστομετρικό χαρτί.

ii) Να βρεθεί η κλίση της άνωθεν καμπύλης.

iii) Να γραφούν οι πιθανές αιτίες σφαλμάτων κατά την όλη πειραματική διαδικασία και να προτείνετε τρόπους αντιμετώπισης.

iv) Ποια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν όσον αφορά τη γραμμικότητα των τιμών θερμοκρασίας-τάσεως του θερμοζεύγους;

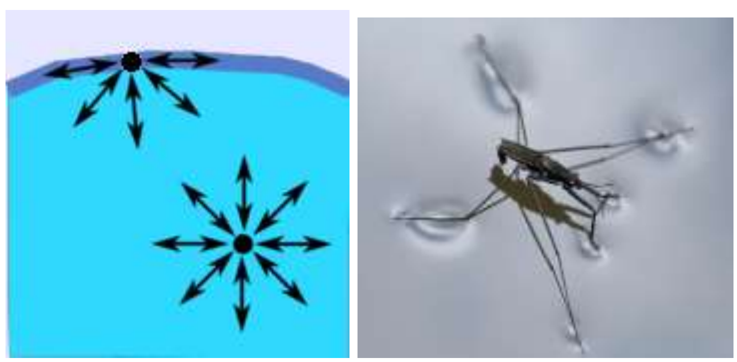
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΥΓΡΟΥ.

Με τον όρο Επιφανειακή τάση χαρακτηρίζεται μία από τις ιδιότητες της ύλης η οποία και είναι δύναμη που παρατηρείται ως φυσικό φαινόμενο στην επιφάνεια των υγρών. Τα μόρια στην επιφάνεια των υγρών φέρονται ως μη δεκτικά εξωτερικών δυνάμεων, από υπερκείμενα μόρια, με συνέπεια να έλκονται μεταξύ τους και προς το εσωτερικό της υγρής μάζας, από δυνάμεις συνοχής. Συνέπεια αυτού είναι να δημιουργείται μια συνισταμένη δύναμη, τάση, που και ονομάζεται επιφανειακή τάση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι για να αυξηθεί η επιφάνεια ενός υγρού απαιτείται ενέργεια διαφαίνεται ότι το πηλίκο της ενέργειας αυτής ανά μονάδα επιφάνειας είναι τελικά αυτό που ονομάζεται επιφανειακή τάση.

$$\sigma = \frac{dW}{dS}$$

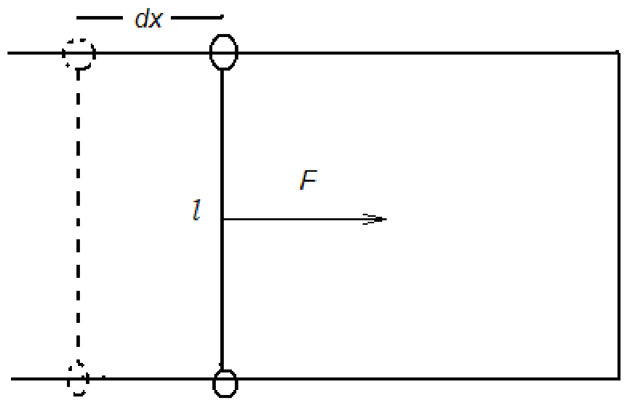
Έτσι εξ αυτής ερμηνεύεται και η αιτία (το φαινόμενο) που η επιφάνεια του νερού συμπεριφέρεται ως ελαστική επιδερμίδα, έτσι ώστε να επιτρέπει στα έντομα να περπατούν επί αυτής, καθώς επίσης και εκείνη της σφαιρικότητας που λαμβάνουν οι σταγόνες των υγρών, ως ελάχιστη δυνατή επιφάνεια.



Σχήμα 11: Διάγραμμα δυνάμεων συνοχής σε ένα μόριο υγρού και του φαινομένου της επιφανειακής τάση.

Η επιφανειακή τάση μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται τασίμετρο. Πρόκειται για μία διάταξη που περιλαμβάνει ένα δακτύλιο που επιπλέει στην επιφάνεια του δείγματος του υγρού. Αυτός συνδέεται κατάλληλα με ένα ζυγό ακριβείας ή με ένα δυναμόμετρο. Έτσι ο υπολογισμός της επιφανειακής τάσης γίνεται με τη μέτρηση της δύναμης που απαιτείται για την απόσπαση του δακτυλίου από την εν λόγω επιφάνεια. Η δε διαδικασία της μέτρησης της επιφανειακής τάσης λέγεται τασιμετρία.

Έστω μεταλλικό πλαίσιο με μια κινούμενη (χωρίς τριβή) την μια πλευρά του. Βυθίζουμε όλο το πλαίσιο μέσα σε σαπουνόνερο οπότε επάνω του αναπτύσσεται ένα λεπτό υμένιο. Αν η επιφάνεια του πλαισίου είναι A, η συνολική επιφάνεια του υμενίου είναι 2A.



Σχήμα 12: Πλαίσιο με κινούμενη πλευρά στο οποίο αναπτύσσεται λεπτό υμένιο από σαπουνόνερο.

Αν η κινούμενη πλευρά του πλαισίου αφεθεί ελεύθερη, θα κινηθεί υπό την επίδραση της δύναμης F. Το έργο που παράγει αυτή η δύναμη αν μετακινήσει το σημείο εφαρμογής της κατά dx είναι:

$$dW = F \cdot dx = \sigma \cdot dS \Rightarrow$$
$$\Rightarrow F \cdot dx = \sigma \cdot dS \overset{dS=2l \cdot dx}{\Rightarrow}$$
$$\Rightarrow F = 2l \cdot \sigma$$

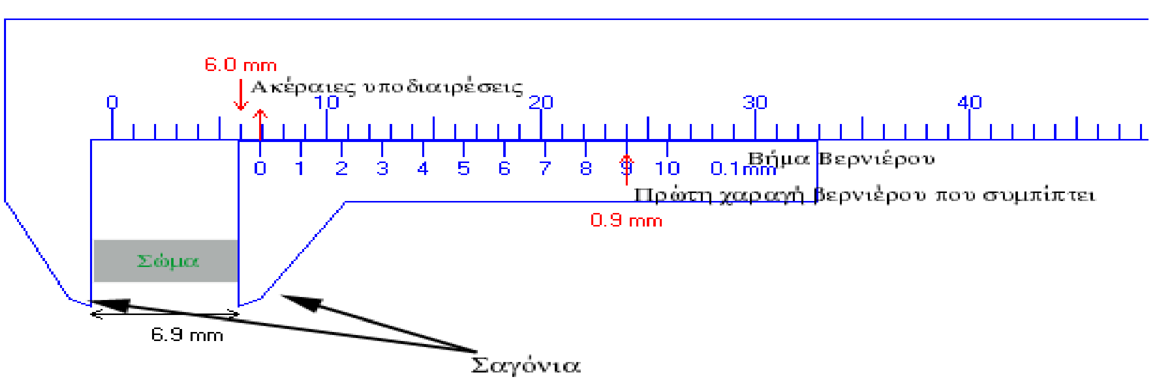
Αν στη διάθεσή μας έχουμε ένα δυναμόμετρο, έναν δακτύλιο στον οποίο αναπτύσσεται το λεπτό υμένιο κυλινδρικού σχήματος και μια τράπεζα μεταβλητού ύψους (Σχ 14), ο υπολογισμός του συντελεστή σ της επιφανειακής τάσης θα είναι δυνατός με την κάτωθι ακολουθία σχέσεων:

$$\sigma = \frac{dW}{dS} = \frac{F \cdot dx}{2 \cdot dx \cdot 2\pi R} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \sigma = \frac{F}{4\pi R}$$

Σχήμα 13: Πειραματική διάταξη για την εργαστηριακή μέτρηση επιφανειακής τάσης υγρού.

Περί Βερνιέρου

Το διαστημόμετρο (βερνιέρος) ανακαλύφθηκε το 1631 από τον Pierre Vernier και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μικρών μηκών. Αποτελείται από δύο κλίμακες: μία σταθερή (η οποία ονομάζεται κύρια κλίμακα) και μία κινητή (η οποία ονομάζεται κλίμακα βερνιέρου). Η κύρια κλίμακα είναι υποδιαιρεμένη σε χιλιοστά (mm) κι εκατοστά (cm). Για να μετρήσουμε ένα σώμα με το διαστημόμετρο, τοποθετούμε το σώμα μεταξύ των σαγονιών του οργάνου και μετακινούμε την κλίμακα βερνιέρου, ώστε τα δύο σαγόνια μόλις να εφάπτονται στις δύο πλευρές του σώματος. Για να διαβάσουμε τη μέτρηση, βρίσκουμε τις ακέραιες υποδιαιρέσεις που καλύπτει το σώμα και στη συνέχεια βρίσκουμε την πρώτη χαραγή του βερνιέρου που συμπίπτει με κάποια χαραγή της κύριας κλίμακας. Το ζητούμενο μήκος θα είναι μεγαλύτερο της τελευταίας υποδιαίρεσης κατά τον αριθμό των χαραγών του βερνιέρου επί το βήμα του.



Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι το μηδέν του βερνιέρου είναι μετά την έκτη χαραγή της κύριας κλίμακας και ότι η πρώτη χαραγή του βερνιέρου που συμπίπτει με χαραγή της κύριας κλίμακας, είναι η ένατη. ’ρα το ζητούμενο μήκος είναι μεγαλύτερο των 6mm κατά 9 χαραγές x 0.1 mm / χαραγή, δηλαδή 6.9 mm

Όταν δεν υπάρχει μετρούμενο σώμα ανάμεσα στα σαγόνια του βερνιέρου πρέπει το μηδέν του βερνιέρου να συμπίπτει με το μηδέν της κύριας κλίμακας για να είμαστε σίγουροι ότι το όργανό μας δεν έχει συστηματικό σφάλμα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Ο σκοπός της εν λόγω εργαστηριακής άσκησης είναι η μέτρηση του συντελεστή επιφανειακής τάσης διαφόρων υγρών.

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την τέλεση της εργαστηριακής άσκησης είναι:

i) Μεταλλικός δακτύλιος.
ii) Δυναμόμετρο.
iii) Παχύμετρο με ενσωματωμένο σύστημα Βερνιέρου.
iv) Τράπεζα μεταβλητού ύψους.
v) Δυο γυάλινα δοχεία.
vi) Δοχείο με νερό.
vii) Δοχείο με οινόπνευμα.
viii) Δοχείο με υδατικό διάλυμα σαπουνιού.

Γ) i) Αρχικά μηδενίστε το δυναμόμετρο (προσαρμόστε το μηδέν της κλίμακας στο βάρος του δακτυλίου) και προσδιορίστε το σφάλμα μέτρησης.
ii) Μετρήστε με ακρίβεια την εξωτερική διάμετρο του δακτυλίου με τη βοήθεια του παχύμετρου. Προσδιορίστε το σφάλμα μέτρησης.
iii) Κρεμάστε το δακτύλιο από το δυναμόμετρο και γεμίστε το ένα γυάλινο δοχείο κατά τα 2/3 με νερό. Τοποθετήστε το δοχείο πάνω στην μεταβλητού ύψους τράπεζα.
iv) Μεταβάλλετε το ύψος της τράπεζας μέχρι ο δακτύλιος να βυθιστεί πλήρως στο νερό.
v) Ελαττώστε αργά το ύψος της τράπεζας παρακολουθώντας ταυτόχρονα την ένδειξη του δυναμόμετρου. Σημειώστε τη μέγιστη ένδειξη του δυναμόμετρου κατά την αποκόλληση του δακτυλίου από το νερό.
vi) Επαναλάβετε τα άνωθεν βήματα 10 φορές.
vii) Αντικαταστήστε το νερό με οινόπνευμα και επαναλάβατε.
viii) Αντικαταστήστε το οινόπνευμα με υδατικό διάλυμα σαπουνιού και επαναλάβατε

Δ) i) Υπολογίστε τον συντελεστή επιφανειακής τάσης κάθε υγρού για κάθε μέτρηση και Καταγράψτε τις τιμές σε κατάλληλο πίνακα.

ΕΙΔΟΣ ΥΓΡΟΥ			
α/α	Ακτίνα R (cm)±σφάλμα μέτρησης.	Δύναμη F (mN)±σφάλμα μέτρησης.	Συντελεστής επιφανειακής τάσης σ (mN/cm).
1			
2			
…	…………	……………	………………
10			

ii) Υπολογίστε το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση για τις τιμές του συντελεστή επιφανειακής τάσης του κάθε υγρού.

iii) Ποια είναι τα πιθανά σφάλματα τα οποία παίζουν ρόλο στο πείραμα; Προτείνετε τρόπους αντιμετώπισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΡΕΥΣΤΟΥ-ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ-ΝΟΜΟΣ BERNOULLI.

Πίεση.

Γενικά με τον όρο πίεση χαρακτηρίζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας δύναμης σε μία επιφάνεια. Ιδιαίτερα στη Φυσική ως πίεση χαρακτηρίζεται η δύναμη που ασκείται στη μονάδα της επιφάνειας ενός υλικού και ορίζεται ως το πηλίκο της ασκούμενης δύναμης που δρα σε μια επιφάνεια δια του εμβαδού της επιφάνειας αυτής.

Η πίεση εξαρτάται από το μέγεθος της ασκούμενης δύναμης και από το εμβαδό της επιφάνειας στην οποία και ασκείται. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια τόσο μικρότερη γίνεται η πίεση. Ένα ρευστό υλικό (υγρό ή αέριο) ασκεί πίεση στο δοχείο που το περιέχει καθώς και στα αντικείμενα που βυθίζονται μέσα σε αυτό. Για παράδειγμα, όσο ένα κολυμβητής - δύτης κατεβαίνει σε βάθος τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση που δέχεται από το υπερκείμενο βάρος του νερού.

Η πίεση συμβολίζεται δια του λατινικού γράμματος P και είναι:

$$P=F/S$$

όπου F = δύναμις και S = επιφάνεια (π.χ Πίεση P 15 BAR = 15kg/cm^2 .

Διακρίνονται δύο ειδών, διαφορετικής προέλευσης, πιέσεις: η στατική που προκαλείται από μια σταθερή δύναμη (π.χ. η πίεση που ασκείται στο έδαφος από το βάρος ενός σώματος ή εκείνης των ηρεμούντων ρευστών) και η δυναμική πίεση που προκαλείται από δυνάμεις ένεκα κρούσεων κινούμενων σωματιδίων (π.χ. πίεση περιεχομένου αερίου σε τοιχώματα δοχείου ή από σύγκρουση κινούμενων μορίων του αερίου).

Υδροστατική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκεί ένα ακίνητο ρευστό σε αντικείμενο ή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα σε αυτό. Η πίεση αυτή οφείλεται στην εξωτερική δύναμη της βαρύτητας και μόνο, δηλαδή στο βάρος του ρευστού που βρίσκεται υπεράνω του αντικειμένου ή της επιφάνειας. Έτσι αν W χαρακτηρισθεί η δύναμη, η οποία παριστά το βάρος του υπερκείμενου υγρού σε μία επιφάνεια S (εντός του ρευστού) και επί της οποίας ασκείται αυτή, τότε η υδροστατική πίεση $P_υ$ θα αποτελεί το πηλίκο των δύο προηγουμένων μεγεθών που δίδεται από τον τύπο:

$$P_υ = W / S$$

Χαρακτηριστική πειραματική απόδειξη της υδροστατικής πίεσης αποτελεί ένα δοχείο γεμάτο με νερό και το οποίο φέρει οπές σε διαφορετικά καθ΄ ύψος επίπεδα (διαφορετικό στατικό ύψος) όπου και παρατηρούμε τη δύναμη της ροής του νερού από τις οπές να είναι αυξανόμενη από πάνω προς τα κάτω. Έτσι διαπιστώνεται πως όσο μεγαλύτερο είναι το στατικό ύψος τόσο μεγαλύτερη και η υδροστατική πίεση. Τούτο μπορούμε ακόμη όχι μόνο να το επαληθεύσουμε αλλά και να το μετρήσουμε προσαρμόζοντας στις καθ΄ ύψος οπές μανόμετρα. Η αιτία αυτή, της αύξησης δηλαδή της υδροστατικής πίεσης ανάλογα με το βάθος, αποτελεί και τον κυριότερο λόγο της κατασκευής των υδατοφραγμάτων, ή λιμενικών έργων (κρηπίδωσης), με κλιμακωτή διάταξη, αυξάνοντας προοδευτικά προς τα κάτω το πάχος του φράγματος.

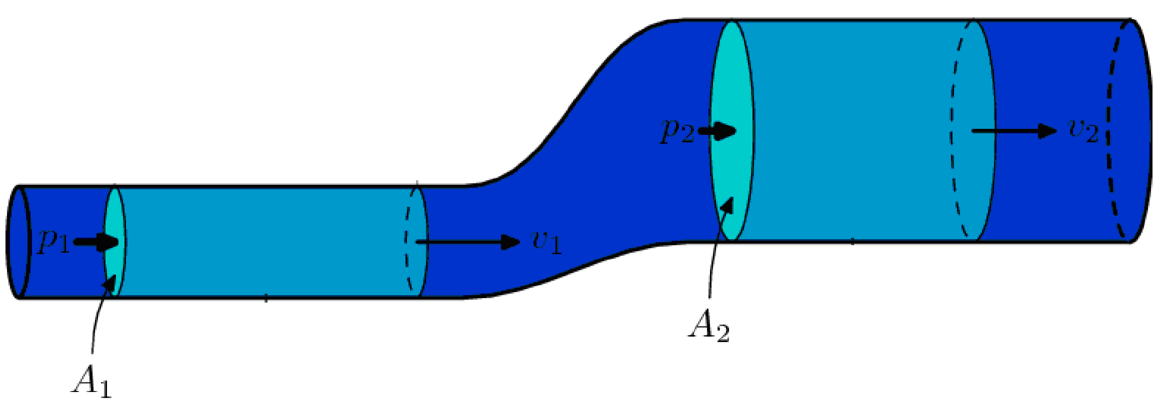
Η υδροστατική πίεση ενός υγρού που ηρεμεί στο πεδίο βαρύτητας, στο βάθος h κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια θα δίνεται από την εξίσωση:

$$P_h = P_a + h \cdot d \cdot g$$

P_a = ατμοσφαιρική πίεση
d = πυκνότητα υγρού
g = επιτάχυνση βαρύτητας

Εξίσωση συνέχειας

Έστω μια φλέβα ροής ιδανικού ρευστού (ρευστό το οποίο εκτελεί στρωτή, ασυμπίεστη, αστρόβιλη και χωρίς εσωτερική τριβή ροή). Σε χρόνο Δt διαμέσου της φλέβας διακινείται ίση ποσότητα μάζας ρευστού, ανεξάρτητα από τη διατομή της φλέβας (αρχή διατήρησης της μάζας).



Σχήμα 14: Σχηματική αναπαράσταση φλέβας ιδανικού υγρού με διαφορετικές διατομές.

Έτσι σε χρόνο Δt από την περιοχή με διατομή A_1 διέρχεται μάζα ρευστού ίση με:

$$\Delta m_1 = d \cdot A_1 \cdot u_1 \cdot \Delta t$$

Στον ίδιο χρόνο από την περιοχή με διατομή A_2 διέρχεται μάζα ρευστού ίση με :

$$\Delta m_2 = d \cdot A_2 \cdot u_2 \cdot \Delta t$$

Αλλά οι δυο μάζες πρέπει να είναι ίσες σύμφωνα με ότι προειπώθηκε. Άρα:

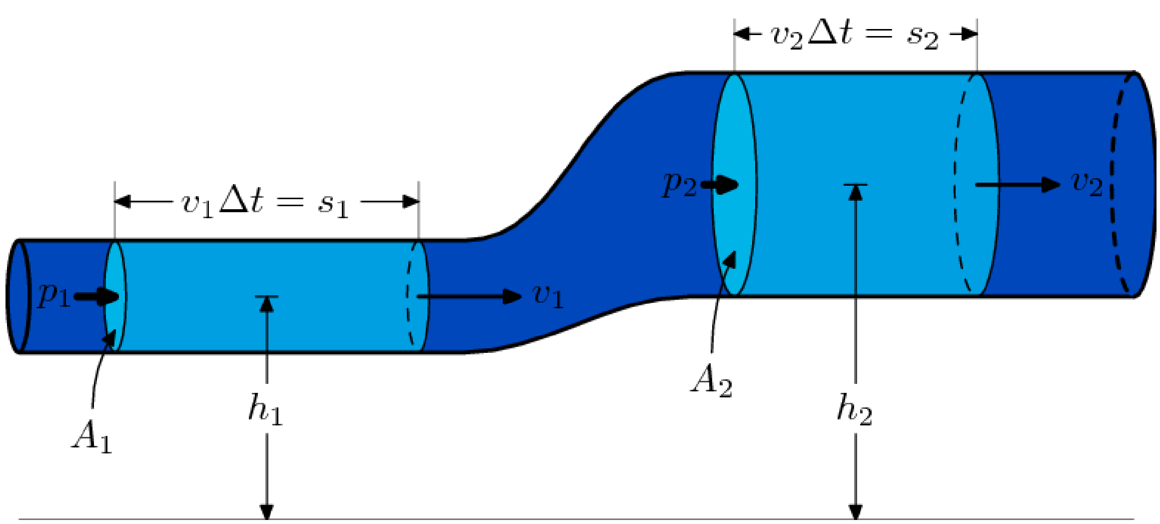
$$d \cdot A_1 \cdot u_1 \cdot \Delta t = d \cdot A_2 \cdot u_2 \cdot \Delta t \Rightarrow$$
$$\Rightarrow A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2 = \sigma\tau\alpha\theta$$

Η τελευταία σχέση αποτελεί και την εξίσωση συνέχειας ιδανικών ρευστών. Η εξίσωση της συνέχειας ερμηνεύεται ως εξής: *Η παροχή σε οποιαδήποτε διατομή της φλέβας είναι σταθερή*. Η παροχή μιας φλέβας συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα Π και ορίζεται ως ο ανά μονάδα χρόνου διερχόμενος όγκος του ρευστού από μια διατομή της φλέβας.

$$\Pi = \frac{dV}{dt} = \frac{s \cdot u \cdot dt}{dt} = s \cdot u = \sigma\tau\alpha\theta$$

Νόμος του Bernoulli.

Έστω φλέβα ρευστού η οποία μεταξύ των σημείων της παρουσιάζει διαφορά ύψους (Σχ 16).



Σχήμα 15: Φλέβα ρευστού με υψομετρική διαφορά σε διάφορα σημεία της.

Η παραγωγή έργου για την κίνηση του ρευστού προέρχεται από τις δυνάμεις που είναι υπεύθυνες για την πίεση στις δυο διατομές της φλέβας. Στην διατομή A_1 η δύναμη που παράγει έργο είναι η F_1, ενώ στην επιφάνεια A_2 υπάρχει ανθιστάμενη δύναμη F_2. Το συνολικό έργο που παράγεται σε χρονικό διάστημα Δt είναι:

$$\Delta W = F_1 \cdot s_1 - F_2 \cdot s_2 = F_1 \cdot u_1 \cdot \Delta t - F_2 \cdot u_2 \cdot \Delta t \overset{P=F/A}{\Rightarrow}$$

$$\Rightarrow \Delta W = (P_1 \cdot A_1 \cdot u_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot u_2) \cdot \Delta t \overset{\Pi = A \cdot u}{\Rightarrow}$$

$$\Rightarrow \Delta W = (P_1 - P_2) \cdot \Pi \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta W = (P_1 - P_2) \cdot \Delta V$$

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, το παραπάνω έργο πρέπει να ισούται με τη μεταβολή του αθροίσματος της μηχανικής ενέργειας (κινητική συν δυναμική) του ρευστού.

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \cdot \Delta V = \frac{1}{2}(\Delta m u_2^2 - \Delta m u_1^2) + \Delta m g h_2 - \Delta m g h_1 \Rightarrow$$

$$\overset{d=\Delta m/\Delta V}{\Rightarrow} P_1 + dgh_1 + \frac{1}{2} d u_1^2 = P_2 + dgh_2 + \frac{1}{2} d u_2^2 = \sigma\tau\alpha\theta$$

Η τελευταία σχέση αποτελεί και τον νόμο του Bernoulli. Σύμφωνα με αυτόν κατά μήκος μιας φλέβας ιδανικού ρευστού, το άθροισμα της στατικής πίεσης και της ολικής μηχανικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου, είναι σταθερό.

Σωλήνας Pitot.

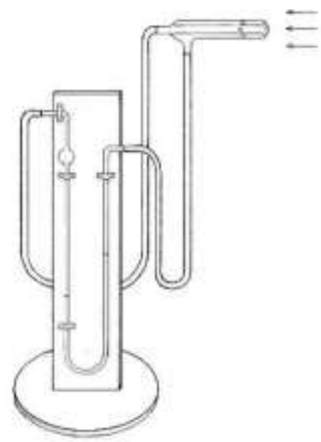
Ο σωλήνας Pitot αποτελείται στην ουσία από δυο σωλήνες. Το στόμιο του ενός σωλήνα είναι παράλληλο στην ροή του ρευστού, ενώ το στόμιο του άλλου σωλήνα είναι κάθετο στη ροή. Και οι δυο σωλήνες συνδέονται σε ένα μανόμετρο. Η υψομετρική διαφορά του υγρού στο μανόμετρο και η χρήση του νόμου του Bernoulli μας δίνει την ταχύτητα ροής του ρευστού.

$$P_1 + \frac{1}{2} d u_1^2 = P_2$$

$$P_2 = P_1 + hgd_{\mu\alpha\nu o\mu}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{2hgd_{\mu\alpha\nu o\mu}}{d}}$$

d είναι η πυκνότητα του ρευστού και $d_{\mu\alpha\nu o\mu}$ είναι η πυκνότητα του υγρού που χρησιμοποιείται στο μανόμετρο.



Σχήμα 16: Διάταξη σωλήνα Pitot.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η μέτρηση της παροχής αέρα μέσα σε αεροσήραγγα και η επαλήθευση της εξίσωσης της συνέχειας.

Β) Τα όργανα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν(Σχ 18) είναι:

i) Αεροτουρμπίνα.
ii) Αεροσήραγγα μεταβλητής διατομής.
iii) Ηλεκτρονικό μανόμετρο με ενσωματωμένο μετρητή ροής.

Σχήμα 17: Η αεροτουρμπίνα, η αεροσήραγγα και το ηλεκτρονικό μανόμετρο της πειραματικής διάταξης.

Γ) i) Μηδενίστε το ηλεκτρονικό μανόμετρο.
ii) Βάλτε σε λειτουργία την αεροτουρμπίνα και αυξήστε αργά τις στροφές έως κάποια θέση κοντά στο μέγιστο.
iii) Μετακινώντας αργά τον φορέα του σωλήνα Pitot σημειώστε στον παρακάτω πίνακα την μετρούμενη διαφορά πίεσης (ολική μείον στατική), την κάθετη επιφάνεια S, το αντίστροφό της και την ταχύτητα του αέρα όπως την μετρά το ηλεκτρονικό μανόμετρο.

α/α	ΔP (Pa)	S (m^2)	1/S ($1/m^2$)	u (m/sec)
1				
2				
….				

iv) Αλλάξτε ελαφρώς τις στροφές και επαναλάβετε τα άνωθεν βήματα.
v) Επαναλάβετε το βήμα iv.

Δ) i) Κατασκευάστε σε χιλιοστομετρικό χαρτί τη γραφική παράσταση της συνάρτησης $u = f(1/S)$. Υπολογίστε την κλίση της καθώς και το σφάλμα της.
ii) Επαληθεύετε ή όχι η εξίσωση της συνέχειας; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
iii) Επαναλάβετε τα ίδια και για τα άλλα δυο σύνολα μετρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Η θερμοχωρητικότητα είναι όρος της Φυσικής και ιδιαίτερα της Θερμοδυναμικής, που σε απλή απόδοση, πρόκειται για την ενέργεια που χρειάζεται για να θερμανθεί ή να ψυχθεί ένα σώμα. Συγκεκριμένα με τον όρο αυτό ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που παράγεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Κελσίου. Έτσι η θερμοχωρητικότητα Κ ενός σώματος βρίσκεται αν πολλαπλασιασθεί η μάζα του επί της ειδικής του θερμότητας c.

$$K = m \cdot c$$

Η σχέση όμως αυτή δεν εφαρμόζεται όταν συμβαίνει μια αλλαγή φάσης, διότι η θερμότητα που προστίθεται ή αφαιρείται από μια μάζα κατά την αλλαγή φάσης της, δεν μεταβάλλει τη θερμοκρασία. Η ειδική θερμότητα είναι το ποσόν της θερμότητας ανά μονάδα μάζας, το οποίον απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μάζας κατά ένα βαθμό Κελσίου ή Kelvin. Οι ειδικές θερμότητες των περισσότερων στερεών σωμάτων στη θερμοκρασία δωματίου και υψηλότερα είναι σχεδόν σταθερές. σε συμφωνία με τον νόμο των Dulong and Petit. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι ειδικές θερμότητες μειώνονται καθώς υπεισέρχονται διάφορες κβαντικές διαδικασίες. Η συμπεριφορά των ειδικών θερμοτήτων σε χαμηλές θερμοκρασίες περιγράφεται από το μοντέλο των Einstein και Debye. Επειδή δε, η ειδική θερμότητα του ύδατος ορίζεται ίση με τη μονάδα, γι΄ αυτό ακριβώς το λόγο και η θερμοχωρητικότητα και η μάζα του εκφράζονται με τον ίδιο αριθμό.

Επίσης κατά τη μαθηματική έκφραση ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα σε σχέση με την ανύψωση της θερμοκρασίας του ΔT κατά ένα βαθμό ονομάζεται θερμοχωρητικότητα.

$$K = \Delta Q / \Delta T$$

Η ειδική θερμοχωρητικότητα αναφέρεται στη μονάδα της μάζας, ενώ η γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα αναφέρεται σε ένα mole του υλικού. Εν γένει, η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού δεν είναι μια σταθερά, αλλά εξαρτάται από τη διαδικασία που ακολουθείται κατά τη θέρμανση του υλικού. Δηλαδή, για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας ΔT, είναι δυνατόν να συμβαίνουν διαφορετικές διαδικασίες θέρμανσης που μπορεί να απαιτούν διαφορετικά ποσά θερμότητας ΔQ.

Ο νόμος των Dulong και Petit

Η ειδική θερμότητα του χαλκού είναι 0.093 cal/gm C (ή 0.389 J/gm C) και αυτή του μολύβδου είναι μόνον 0.031 cal/gm C(ή 0.13 J/gm C). Γιατί εμφανίζονται τόσο διαφορετικές; Η διαφορά τους οφείλεται κυρίως στο ότι εκφράζονται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα μάζας και βαθμό. Αν τις εκφράσουμε ως ενέργεια ανά mole και βαθμό, οι τιμές τους εμφανίζονται παρόμοιες. Αυτή ακριβώς η ομοιότητα στις τιμές των ειδικών θερμοτήτων των στερεών σωμάτων, όταν εκφραστούν ως ενέργεια ανά mole και βαθμό, αποτελεί το περιεχόμενο του νόμου των Dulong και Petit. Η ομοιότητα αυτή μπορεί να ερμηνευτεί αν δεχτούμε ότι εφαρμόζεται η ισοκατανομή της ενέργειας στα άτομα των στερεών. Το θεώρημα ισοκατανομής της ενέργειας μας λέει ότι η μέση τιμή ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε θερμοδυναμικό βαθμό ελευθερίας ενός ατόμου, είναι kT/2, όπου k η σταθερά του Boltzmann, και T η θερμοκρασία των ατόμων του συστήματος που μελετάμε. Έτσι αν τα άτομα έχουν μόνο τη δυνατότητα της ελεύθερης μεταφορικής κίνησής τους στο χώρο (κατά τους 3 άξονες του χώρου), λέμε ότι έχουν 3 βαθμούς ελευθερίας και η μέση ενέργεια κάθε ατόμου θα είναι: 3kT/2 Τα άτομα όμως ενός στερεού σώματος μπορούν να εκτελούν και ταλαντώσεις και αυτές συνεισφέρουν ακόμη 3 βαθμούς ελευθερίας για τα άτομα των στερεών σωμάτων. Έτσι η ολική ενέργεια ανά άτομο για ένα στερεό σώμα γίνεται: 3kT. Η ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο θα είναι ακριβώς ο ρυθμός της μεταβολής αυτής της ενέργειας, N_A ατόμων που αντιστοιχούν σε ένα mole, με τη θερμοκρασία. Η παράγωγος δηλαδή της συνολικής ενέργειας N_A ατόμων με τη θερμοκρασία.

$$\text{Ενέργεια ανά mole} = 3kTN_A$$

όπου k = σταθερά του Boltzmann , T = Θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin και

N_A =Αριθμός Avogadro.

Ο νόμος των Dulong και Petit, προβλέπει τότε θεωρητικά ότι:

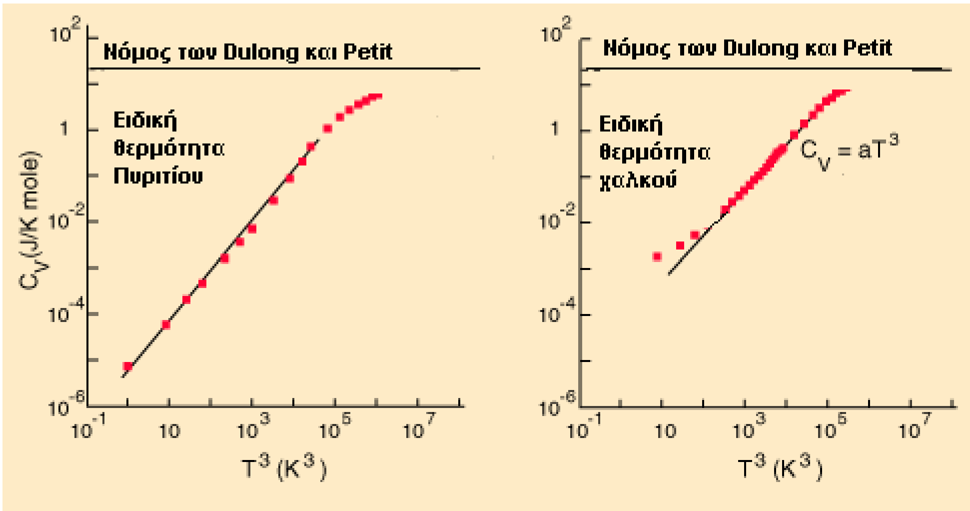
$$C_V = \frac{\partial}{\partial T}(3kTN_A) = 3kN_A \,/\, mole = 24.94 J \,/\, mole$$

Αν κοιτάξουμε τις πειραματικές τιμές αναφερόμενες ανά mole, για τον χαλκό και τον μόλυβδο, παρατηρούμε ότι είναι αρκετά όμοιες:

Χαλκός: 0,386 J/gm ^oC x 63,6 gm/mole = 24,6 J/mol ^oC
Μόλυβδος: 0,128 J/gm ^oC x 207 gm/mole = 26,5 J/mol ^oC

Αποκλίσεις από τον νόμο των Dulong και Petit

Οι πειραματικές καμπύλες των ειδικών θερμοτήτων διαφέρουν στις χαμηλές θερμοκρασίες από τις προβλέψεις του νόμου των Dulong και Petit. Στα παρακάτω σχήματα εικονίζονται οι αντίστοιχες καμπύλες για το πυρίτιο και τον χαλκό. Παρατηρούμε ότι μόνο στις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, οι καμπύλες αυτές τείνουν στις σταθερές τιμές που προβλέπει ο νόμος αυτός. Στις χαμηλές θερμοκρασίες, το πυρίτιο ακολουθεί μια συμπεριφορά ανάλογη του T^3 πράγμα που όπως θα δούμε προβλέπει το μοντέλο του Debye. Ο χαλκός όμως, σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες ακολουθεί το μοντέλο του Debye, ενώ στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες διαφέρει και από το μοντέλο του Debye, επειδή στην ειδική θερμότητα έχουν πια συνεισφορά και τα ηλεκτρόνια.



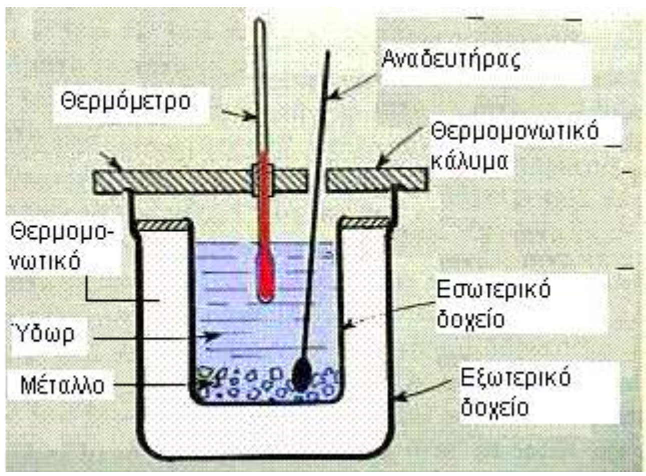
Σχήμα 18: Μη επαλήθευση του νόμου των Dulong-Petit σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ειδικές θερμότητες c ορισμένων στερεών και υγρών σε θερμοκρασία 25°C			
Στερεά		Υγρά	
υλικό	c cal/gr.grad	υλικό	c cal/gr.grad
αλουμίνιο	0.215	βενζόλιο	0.415
γραφίτης	0.170	μεθανόλη	0.609
υδράργυρος	0.0331	αιθανόλη	0.587
χαλκός	0.092	οξικό οξύ	0.490
σίδηρος	0.106	κυκλοεξάνιο	0.433
μόλυβδος	0.038	χλωροφόρμιο	0.231

Μέτρηση ειδικής θερμότητας.

Μια διαδεδομένη μέθοδος μέτρησης της ειδικής θερμότητας στερεών και υγρών είναι η θερμιδομετρική. Κατά τη μέθοδο αυτή πρώτα θερμαίνουμε το αντικείμενο, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την ειδική θερμότητα, σε μια γνωστή θερμοκρασία και κατόπιν το τοποθετούμε σε ένα δοχείο που είναι γεμάτο με νερό γνωστής μάζας και θερμοκρασίας. Αφού το νέο σύστημα ισορροπήσει θερμικά, μετράμε τη θερμοκρασία του νερού. Στην όλη διαδικασία το έργο που καταναλώνουμε (π.χ βύθιση αντικειμένου στο νερό) είναι αμελητέο, επομένως σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας η θερμότητα που μεταφέρεται από το υλικό (του οποίου την ειδική θερμότητα θέλουμε να μετρήσουμε) απορροφάται από το νερό. Η συσκευή αυτή ονομάζεται θερμιδόμετρο. Ας υποθέσουμε ότι το υλικό του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την ειδική θερμότητα έχει μάζα m_x, ειδική θερμότητα c_x και η αρχική του θερμοκρασία ήταν T_x. Παρομοίως m_w, c_w, T_w τα αντίστοιχα μεγέθη για το νερό. Έστω επίσης ότι το νέο σύστημα νερού-υλικού ισορροπεί θερμικά σε μια θερμοκρασία T. Το νερό απορρόφησε θερμότητα από το υλικό ίση με $\Delta Q = m_w c_w (T-T_w)$. Αντίστοιχα το υλικό «έχασε» θερμότητα ίση με: $\Delta Q = m_x c_x (T_x-T)$. Όση θερμότητα όμως απορροφά το νερό, άλλη τόση χάνει το υλικό οπότε:

$$m_w c_w (T - T_w) = m_x c_x (T_x - T) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow c_x = \frac{m_w c_w (T - T_w)}{m_x (T_x - T)}$$



Σχήμα 19: Θερμιδόμετρο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι η μέτρηση της θερμοχωρητικότητας του εργαστηριακού θερμιδομέτρου και ο υπολογισμός άγνωστης ειδικής θερμότητας μετάλλου.

Β) Τα όργανα που απαιτούνται για την τέλεση της εργαστηριακής άσκησης είναι:

i) Ηλεκτρικός θερμαντήρας.
ii) Ποτήρια ζέσεως.
iii) Εργαστηριακό θερμιδόμετρο.
iv) Θερμόμετρο.
v) Ζυγός ακριβείας.

Γ) i) Αρχικά ζυγίστε μια ποσότητα ύδατος (m_1) ίση με 100gr, το ρίχνουμε στο άδειο θερμιδόμετρο και μετρήστε τη θερμοκρασία του (θ_1).

ii) Ζυγίστε μια ίση ποσότητα ύδατος (m_2) και θερμάνετε τη στους 70°C (θ_2).

iii) Αναμίξτε τις δυο ποσότητες νερού μέσα στο θερμιδόμετρο, αφήστε το σύστημα να ισορροπήσει θερμικά και μετρήστε τη θερμοκρασία του ($\theta_{\tau\varepsilon\lambda}$).

iv) Υπολογίστε τη θερμοχωρητικότητα K του θερμιδομέτρου χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$m_2 c_{\nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}}(\theta_2 - \theta_{\tau\varepsilon\lambda}) = \mathrm{K}(\theta_{\tau\varepsilon\lambda} - \theta_1) + m_1 c_{\nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}}(\theta_{\tau\varepsilon\lambda} - \theta_1)$$

v) Ερμηνεύστε ενεργειακά τον άνωθεν τύπο.

vi) Υπολογίστε το σφάλμα του K.

vii) Ζυγίστε τους μεταλλικούς δακτυλίους με τον ζυγό ακριβείας (m_2).

viii) Τοποθετήστε τους μεταλλικούς δακτυλίους σε ένα ποτήρι ζέσεως και γεμίστε το με νερό.

ix) Θερμάνετέ το μέχρι τους 80°C (θ_2).

x) Τοποθετήστε στο άδειο θερμιδόμετρο ποσότητα ύδατος ίση με ίση με 100gr (m_1). Μετρήστε τη θερμοκρασία του (θ_1).

xi) Τοποθετήστε με προσοχή τους θερμούς μεταλλικούς δακτυλίους μέσα στο θερμιδόμετρο. Αφήστε το σύστημα να ισορροπήσει θερμικά και μετρήστε την τελική θερμοκρασία ($\theta_{\tau\varepsilon\lambda}$).

xii) Υπολογίστε την ειδική θερμότητα του μετάλλου σύμφωνα με τον κάτωθι τύπο:

$$m_2 c_{\chi}(\theta_2 - \theta_{\tau\varepsilon\lambda}) = \mathrm{K}(\theta_{\tau\varepsilon\lambda} - \theta_1) + m_1 c_{\nu\varepsilon\rho o\acute{\upsilon}}(\theta_{\tau\varepsilon\lambda} - \theta_1)$$

xiii) Ερμηνεύστε ενεργειακά τον άνωθεν τύπο.

xiv) Ποια τα πιθανά σφάλματα που επέρχονται στο πείραμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

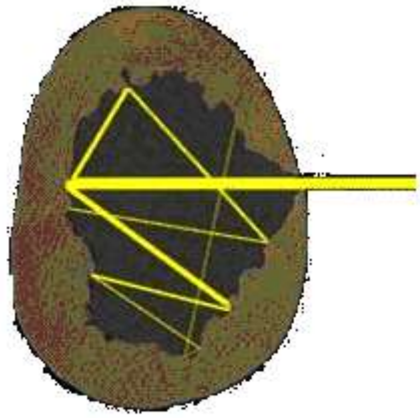
ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ. ΝΟΜΟΣ STEFAN – BOLTZMANN.

Ο όρος μέλαν σώμα στη φυσική, περιγράφει ένα ιδανικό σώμα το οποίο απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω του (και κατα επέκταση, όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Αυτό σημαίνει ότι ένα τέτοιο σώμα δεν αντανακλά καθόλου φως (ή άλλης μορφής ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) ούτε αφήνει το φως να το διαπεράσει και για αυτές του τις ιδιότητες ονομάζεται μέλαν σώμα. Ωστόσο, σε αντίθεση με την εικόνα που δίνεται από την ονομασία του, το ίδιο το σώμα εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται. Στην ουσία το μέλαν σώμα αποτελεί ένα εξιδανικευμένο μοντέλο της ύλης, που επινοήθηκε για να διευκολυνθεί η μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας των πραγματικών σωμάτων. Ο όρος εισήχθη από τον. Gustav Robert Kirchhoff το 1860 και η μελέτη της ακτινοβολίας του έπαιξε μεγάλο ρόλο στη ανάπτυξη της κβαντομηχανικής.

Γενικά, ένα οποιοδήποτε σώμα, σε κάποια μη μηδενική θερμοκρασία, εκπέμπει ακτινοβολία. Αν είναι τέλειο μέλαν σώμα, ο συντελεστής εκπομπής του θα είναι ίσος με την μονάδα. Για κάθε πραγματικό σώμα όμως ο συντελεστής εκπομπής είναι μικρότερος από την μονάδα. Ως συντελεστής εκπομπής ενός σώματος ορίζεται ο λόγος της ακτινοβολούμενης ενέργειας από το σώμα σε σχέση με την ακτινοβολούμενη ενέργεια ενός μελανού σώματος που βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία. Έτσι, το μέλαν σώμα αποτελεί ένα όριο το οποίο μπορούν να προσεγγίσουν σε κάποιο βαθμό τα φυσικά σώματα. Ο συντελεστής εκπομπής ενός πραγματικού σώματος μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, την γωνία εκπομπής και το εξεταζόμενο μήκος κύματος. Πολλές φορές όμως είναι χρήσιμο να υποθέτουμε ότι είναι σταθερός. Αυτή παραδοχή αποτελεί ένα άλλο εξιδανικευμένο μοντέλο για τα υλικά σώματα, και για να περιγραφεί αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται ο όρος «φαιό σώμα».

Ακτινοβολία κοιλότητας

Το φυσικό «αντικείμενο» που προσεγγίζει καλύτερα το μέλαν σώμα, δεν είναι καν σώμα, αλλά μια μικρή οπή σε ένα κοίλο σώμα (όπως π.χ. η είσοδος μιας σπηλιάς). Το φως που μπαίνει μέσα στην κοιλότητα από την οπή θα ανακλαστεί πολλές φορές πάνω στα τοιχώματα της κοιλότητας και κάθε φορά ένα μέρος του θα απορροφάται από αυτά. Η πιθανότητα για ένα τμήμα της ακτινοβολίας που μπήκε μέσα στην κοιλότητα από την οπή να ξαναβγεί από αυτήν είναι πολύ μικρή, αν η οπή είναι αρκετά μικρή σε σχέση με την κοιλότητα, πράγμα που σημαίνει ότι μόνο ένα πολύ μικρό μέρος από το προσπίπτον φως «ανακλάται» από την οπή, ενώ το υπόλοιπο έχει απορροφηθεί. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα από το υλικό των τοιχωμάτων και το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διότι, καθώς τα στερεά σώματα έχουν συνεχές φάσμα εκπομπής και απορρόφησης, όλα τα μήκη κύματος σταδιακά θα απορροφηθούν. Δεδομένου ότι το φως που παίρνουμε πίσω είναι αμελητέο, η μόνη ακτινοβολία που θα παίρνουμε από την οπή είναι η θερμική ακτινοβολία που παράγεται στο εσωτερικό της κοιλότητας και εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία της, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή βρίσκεται σε θερμική ισορροπία. Το προσεγγιστικό αυτό μέλαν σώμα είναι μια παραλλαγή ενός μοντέλου που πρότεινε ο ίδιος ο Kirchhoff.



Σχήμα 20: Το φως που εισέρχεται στην κοιλότητα από μια μικρή οπή, έπειτα από πολλαπλές αντανακλάσεις απορροφάται σχεδόν ολοκληρωτικά από τα τοιχώματα.

Για να μπορέσει η κοιλότητα να φτάσει σε θερμική ισορροπία θα πρέπει να είναι τέλεια μονωμένη από το περιβάλλον της. Τότε η ενεργειακή πυκνότητα $\rho_{T(v)}$, δηλαδή η ενέργεια ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα συχνότητας (ανά μοναδιαίο εύρος συχνοτήτων) της ακτινοβολίας είναι η ίδια σε όλα τα σημεία. Η ακτινοβολία που γεμίζει το χώρο της κοιλότητας ονομάζεται ακτινοβολία κοιλότητας. Έχει χάσει οποιαδήποτε πληροφορία σχετική με τις ιδιότητες των τοιχωμάτων εκτός από την θερμοκρασία τους. Ένα μικρό μέρος της εξέρχεται από την μικρή οπή, και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με την ακτινοβολία στο εσωτερικό της κοιλότητας. Η κατανομή της ενεργειακής ροής στις διάφορες συχνότητες, δηλαδή η ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται από την μονάδα επιφάνειας στη μονάδα του χρόνου ανά μονάδα συχνότητας, $R_{T(v)}$ ονομάζεται φασματική εκπομπή ή αφετική ικανότητα ή φάσμα της ακτινοβολίας. Σχετίζεται με την πυκνότητα ενέργειας μέσω της σχέσης:

$$R_T(\nu) = \frac{c}{4}\rho_T(\nu)$$

Για να υπολογίσουμε την συνολική ροή RT της ενέργειας που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου, πρέπει να ολοκληρώσουμε την ποσότητα αυτή σε όλες τις συχνότητες, δηλαδή

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu)\, d\nu$$

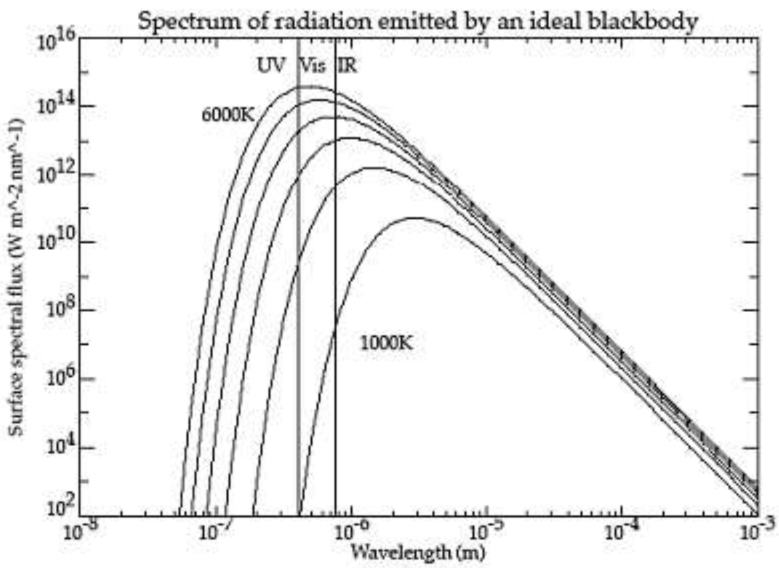
Το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης είναι ο νόμος Stefan - Boltzmann.

$$R_T = \frac{c}{4}\rho_T = \sigma\ T^4$$

όπου η σταθερά Στέφαν – Μπόλτζμαν είναι ίση με:

$$\sigma\ = 5.670400(40) \times\ 10^{-8} Watt \cdot\ m^{-2} \cdot\ K^{-4}.$$

Ως μέλαν σώμα συμπεριφέρεται το δέρμα από τα θερμόαιμα έμβια όντα (π.χ. ο άνθρωπος). Οποιοδήποτε σώμα προσεγγίζει το μέλαν σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία της οποίας το μήκος κύματος εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το σώμα.



Σχήμα 21: Το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης από μέλαν σώμα ακτινοβολίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι η πειραματική επαλήθευση του νόμου ακτινοβολίας των Stefan - Boltzmann.

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την τέλεση της άσκησης είναι τα εξής:

i) Ψηφιακό θερμόμετρο.
ii) Θερμοζεύγος (αισθητήριο θερμοκρασίας).
iii) Φούρνος.

iv) Μέλαν σώμα.
v) Θερμοστήλη.
vi) Ψηφιακό βολτόμετρο.
vii) Διάφραγμα.

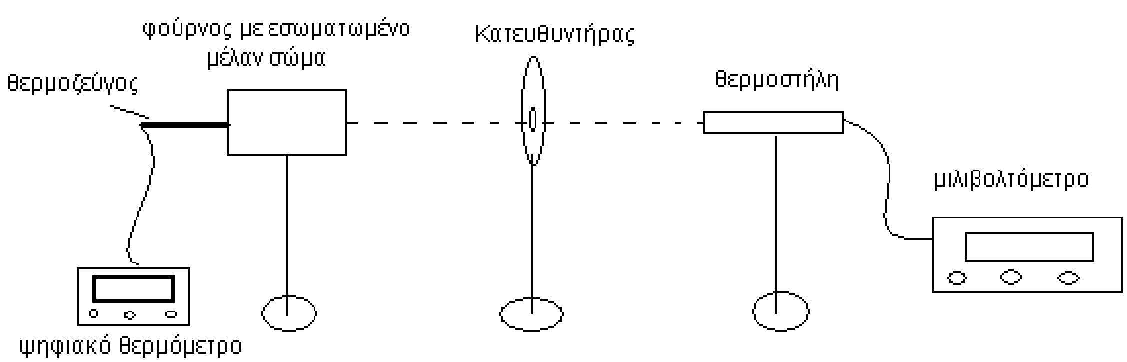
Γ) i) Τοποθετήστε το θερμοζεύγος στο εσωτερικό του φούρνου, προσέχοντας να είναι σε επαφή με το μέλαν σώμα που είναι στο εσωτερικό του φούρνου.
ii) Θέστε σε λειτουργία το φούρνο, το ψηφιακό θερμόμετρο και το βολτόμετρο.
iii) Σημειώστε την ένδειξη του θερμομέτρου για κάθε αύξηση της τάσης της θερμοστήλης κατά 0,2mV.

Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΝΑ ΜΗΝ ΞΕΠΕΡΑΣΕΙ ΤΟΥΣ 330°C!

Δ) i) Προσδιορίστε τα σφάλματα μέτρησης της τάσης και της θερμοκρασίας.
ii) Καταγράψτε τις τιμές που πήρατε σε πίνακα όμοιο με το κάτωθι:

V (mV) ± σφάλμα μέτρησης	T (°C) ± σφάλμα μέτρησης	T (°K) ± σφάλμα μέτρησης	$T^4 \times 10^{10} K^4$

iii) Σχεδιάστε σε χιλιοστομετρικό χαρτί τη γραφική παράσταση $V = f(T^4)$ από τις πειραματικές σας τιμές. Προσδιορίστε την κλίση και το σφάλμα κλίσης.
iv) Η γραφική παράσταση επαληθεύει το νόμο των Stefan – Boltzmann;
v) Θα πρέπει η γραφική παράσταση να περνά από την αρχή των αξόνων;
vi) Ποια τα πιθανά σφάλματα που λαμβάνουν χώρα κατά την πειραματική διαδικασία;



Σχήμα 22: Διάταξη πειραματικής επαλήθευσης του νόμου Stefan – Boltzmann.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΝΟΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΟΥ LAMBERT.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι τύπος κυμάτων σε μορφή ακτινοβολίας, με συνιστώσες ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, που διαδίδονται στην ύλη και στο κενό. Ο κόσμος όλος βομβαρδίζεται καθημερινά από ενέργεια σε μορφή ακτινοβολίας που και εξ αυτού ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ένα μέρος αυτής είναι το ορατό φως. Όμως το μεγαλύτερο μέρος της είναι αόρατο. Ο ήλιος, τα αστέρια και οι γαλαξίες εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που φθάνει και στη Γη. Αν και κάποια είδη αυτής είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και τη φύση του, εν τούτοις μπορεί να γίνει εκμετάλλευση αυτών, επ΄ ωφελεία του.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνίσταται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα που καλύπτουν μεγάλο εύρος συχνοτήτων και έτσι μπορεί να παραχθεί και τεχνικά. Ορισμένες μορφές αυτής της ακτινοβολίας είναι, σε αυξητική σειρά συχνότητας ή φθίνοντος μήκους κύματος: τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γάμμα. Όλες αυτές οι παραπάνω μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κινούνται (ταξιδεύουν) με την ταχύτητα φωτός και μπορούν ακόμη να διαπεράσουν και ορισμένα υλικά.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαρακτηρίζονται από τη συχνότητα f και το μήκος κύματος λ. Τα δυο αυτά μεγέθη συνδέονται μεταξύ τους διαμέσου της ταχύτητας διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος:

$$c = f \cdot \lambda$$

Η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα μέσο εξαρτάται από το δείκτη διάθλασης του μέσου. Έτσι η ταχύτητα διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ένα μέσο με δείκτη διάθλασης n θα δίνεται από τη σχέση:

$$c = c_0/n$$

όπου c_0 η ταχύτητα διάδοσης της στο κενό. Κατά τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα μέσο σε ένα άλλο η συχνότητά της f δεν μεταβάλλεται.

Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ροή θερμότητας που συμβαίνει υπό μορφή υπερύθρων ακτινών και που διαδίδεται στο χώρο, χωρίς τη παρέμβαση κάποιου υλικού μέσου. Γενικά όλα τα σώματα στη φύση χάνουν ή αποκτούν θερμότητα με ακτινοβολία. Καθώς κινούνται αδιάκοπα τα σωματίδια που συγκροτούν ένα σώμα αυτά εκπέμπουν υπέρυθρες ακτίνες, χάνοντας έτσι ένα μέρος της θερμικής τους ενέργειας με συνέπεια ν΄ αρχίζουν να επιβραδύνονται και έτσι τα σώματα που συγκροτούν να ψύχονται. Οι δε ακτίνες αυτές που προέρχονται από θερμική ακτινοβολία διαδίδονται τόσο στον αέρα και στο κενό καθώς και σε πολλά στερεά και υγρά σώματα. Οι υπέρυθρες ακτίνες λέγονται και ακτινοβολούμενη θερμότητα. Χάρη στη θερμική ακτινοβολία η Γη θερμαίνεται από τον Ήλιο. Το δε μέτρο της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας λέγεται Ηλιακή σταθερά.

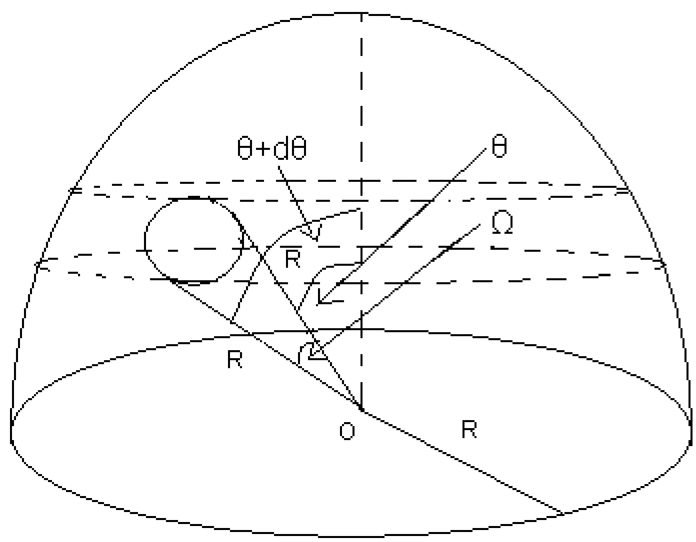
Θερμική ροή ονομάζεται ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα ή αποβάλλεται από αυτό σε σχέση με το χρόνο dt και μετριέται σε Watts:

$$\Phi = \Delta Q/dt$$

Φωτοβολία ή ένταση φωτεινής πηγής ονομάζεται το πηλίκο της θερμικής ροής που εκπέμπει η πηγή ανά μονάδα στερεάς γωνίας:

$$I = d\Phi/d\Omega$$

Μονάδα της φωτοβολίας είναι η 1 candela (1 cd).

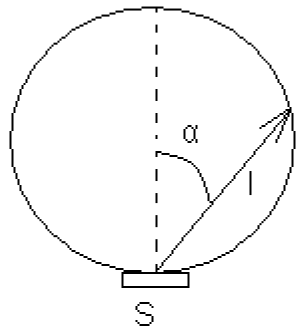


Σχήμα 22: Στερεά γωνία σχηματιζόμενη σε σφαίρα ακτίνας R. Υποθέστε ότι στο κέντρο O της σφαίρας υπάρχει φωτεινή πηγή.

Ας θεωρήσουμε μια ακτινοβολούσα επιφάνεια εμβαδού S και ας θέσουμε I τη φωτοβολία της κατά κάποια διεύθυνση, που σχηματίζει γωνία α με την κάθετη. Ορίζουμε τη λαμπρότητα Λ της φωτοβολούσας επιφάνειας (πηγής):

$$\Lambda = \frac{I}{S \cdot \cos a}$$

Ο παραπάνω τύπος αποτελεί τον νόμο ακτινοβολίας του Lambert. Σύμφωνα με τον άνωθεν νόμο μια φωτοβολούσα επιφάνεια ακτινοβολεί με φωτοβολία μεγαλύτερη από κάθε άλλη κατά την κάθετη διεύθυνση σε αυτή (α = 0). Μονάδα της λαμπρότητας είναι η 1 στίλβη (1 stilb = 1cd/cm^2).

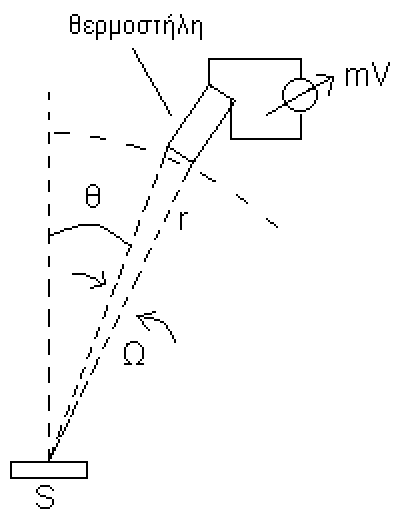


Σχήμα 23: Η λαμπρότητα Λ είναι μέγιστη κατά την κάθετη στην πηγή διεύθυνση.

Γράφημα του νόμου του Lambert αποτελεί το Σχ 23, στο οποίο η επιβατική ακτίνα σε κάθε σημείο της καμπύλης παρέχει τη φωτοβολία Ι προς την αντίστοιχη διεύθυνση (πολική κατανομή της φωτοβολίας). Είναι προφανές ότι η καμπύλη πρέπει να είναι περιφέρεια κύκλου, γιατί μόνο τότε Ι = σταθ. (Λ = σταθ, S = σταθ). Η φωτοβολία των ετερόφωτων πηγών είναι πολύπλοκο φαινόμενο γιατί εξαρτάται από την κατεύθυνση του προσπίπτοντος φωτός και από τις λεπτομέρειες της φωτιζόμενης επιφάνειας.

Πειραματική διάταξη για την απόδειξη του νόμου του Lambert.

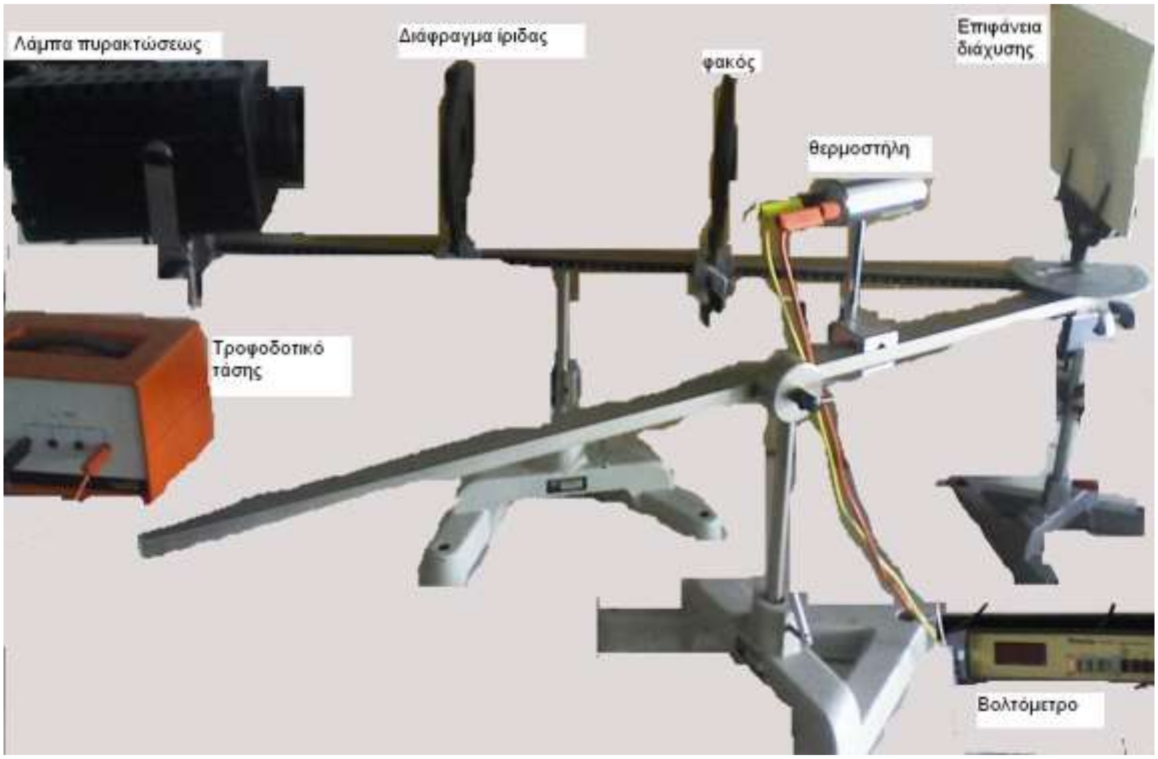
Έστω φωτεινή πηγή εμβαδού S και σε απόσταση από αυτή ένα όργανο κατάλληλο να μετράει φωτεινή ή θερμική ροή (π.χ. θερμοστήλη). Μεταβάλλοντας τη γωνία αλλά διατηρώντας την απόσταση r σταθερή και προσέχοντας η επιφάνεια της θερμοστήλης να διατηρείται πάντα κάθετη πάντα κάθετη στην ακτίνα, βρίσκουμε ότι η ένδειξη του μιλιβολτομέτρου είναι ανάλογη του συνημιτόνου της γωνίας θ. Επειδή η στερεά γωνία Ω υπό την οποία το φως πέφτει στη θερμοστήλη είναι σταθερή, έπεται ότι η φωτεινή πηγή ακτινοβολεί με φωτοβολία που είναι ανάλογη του συνημιτόνου της γωνίας θ. Από αυτό προκύπτει ότι ο παράγοντας Λ είναι ανεξάρτητος της γωνίας θ και αποτελεί χαρακτηριστική σταθερά της φωτοβολούσας επιφάνειας.



Σχήμα 24: Πειραματική διάταξη για την επαλήθευση του νόμου του Lambert.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της εν λόγω εργαστηριακής άσκησης είναι η πειραματική επαλήθευση του νόμου ακτινοβολίας του Lambert.



Σχήμα 25: Εργαστηριακή πειραματική διάταξη για την επαλήθευση του νόμου του Lambert.

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την τέλεση της άσκησης είναι:

i) Λάμπα πυρακτώσεως ή αλογόνου.
ii) Διάφραγμα ίριδας.
iii) Φακός εστιακής αποστάσεως +100mm.
iv) Επιφάνειες διάχυσης.
v) Θερμοστήλη.
vi) Βολτόμετρο.
vii) Τροφοδοτικό τάσεως.

Γ) i) Τοποθετείστε για επιφάνεια διάχυσης ένα λευκό χαρτί.
ii) Θέστε σε λειτουργία τη λάμπα και αν είναι πυρακτώσεως εστιάστε το νήμα της με τη βοήθεια του φακού.
iii) Τοποθετείστε τον κινητό βραχίονα στον οποίο είναι στερεωμένη η θερμοστήλη κάθετα στον βραχίονα λάμπας – επιφάνειας διάχυσης.
iv) Στη θέση αυτή το βολτόμετρο πρέπει να δίνει την ελάχιστη ένδειξη. Μηδενίστε με το πλήκτρο REL με τη λάμπα εκτός λειτουργίας.
v) Αν η γωνία ανάμεσα στους δυο βραχίονες είναι φ, ξεκινήστε από τις 90° και ελ-λατώνοντας κατά 5°, έως την τιμή των 20° σημειώστε σε πίνακα αντίστοιχο με τον

κάτωθι τις τιμές του βολτομέτρου.

φ (°) ± σφάλμα μέτρησης	cosφ	V(mV)±σφάλμα μέτρησης	V(φ)/V(20°)	cosφ/cos20°

vi) Επαναλάβετε την διαδικασία χρησιμοποιώντας διαφορετική επιφάνεια διάχυσης.

Δ) i) Να σχεδιαστεί σε χιλιοστομετρικό χαρτί η γραφική παράσταση

$$\frac{V(\phi)}{V(20^o)} = f\left(\frac{\cos\phi}{\cos 20^o}\right).$$

ii) Να υπολογιστεί η κλίση και το σφάλμα της κλίσης της.

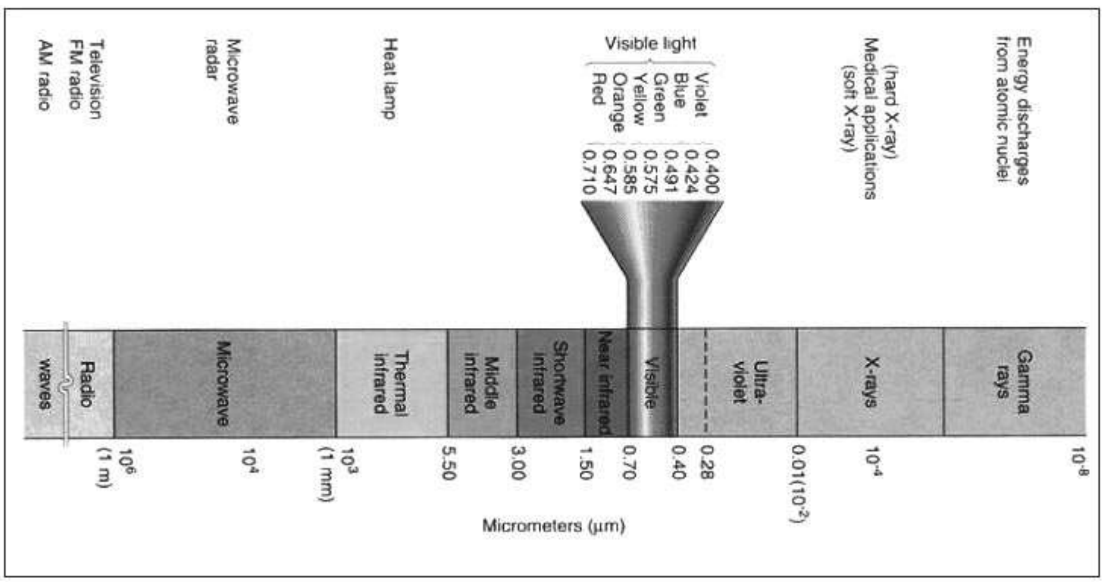
iii) Να εργασθείτε ανάλογα και για τη δεύτερη επιφάνεια διάχυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Φάσματα.

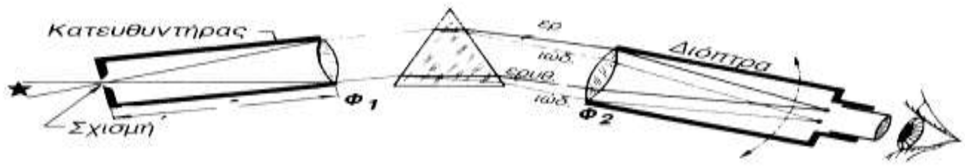
Αν μετρήσουμε το δείκτη διάθλασης διαφόρων ακτίνων φωτός διαφορετικής συχνότητας, θα δούμε ότι οι ακτίνες αυτές έχουν διαφορετική τιμή για το δείκτη διάθλασης, η οποία εξαρτάται εν τέλει από τη συχνότητα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται διασκεδασμός. Λόγω αυτού του φαινομένου, μια δέσμη λευκού φωτός που προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών, θα δώσει διαθλώμενες ακτίνες οι οποίες θα ακολουθούν διαφορετικές τροχιές. Το φαινόμενο αυτό γίνεται φανερά ορατό όταν λευκό φως πέσει πάνω σε πρίσμα. Λόγω των διαφορών του δείκτη διάθλασης το φως θα αναλυθεί και πίσω από το πρίσμα θα βγουν περισσότερες από μια δέσμες. Αν τώρα αυτές πέσουν σε ένα λευκό πέτασμα δίνουν μια έγχρωμη ταινία η οποία ονομάζεται φάσμα. Το φάσμα εξασθενίζει και στα δυο άκρα του, που το ένα είναι το ιώδες και το άλλο το ερυθρό.



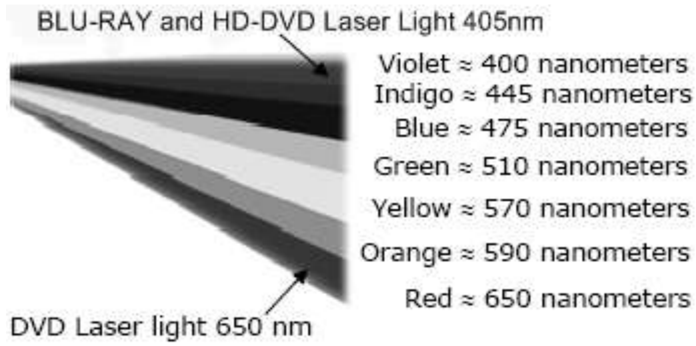
Σχήμα 26: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Φάσμα εκπομπής.

Το φάσμα εκπομπής ενός σώματος είναι μια έγχρωμη ταινία αναφερόμενη σε συγκεκριμένο σώμα. Δημιουργείται εφόσον το σώμα είναι αυτόφωτο, εκπέμπει με άλλα λόγια το «δικό του φως». Εάν το σώμα δεν είναι αυτόφωτο χρειάζεται να φροντίσουμε να γίνει αυτόφωτο. Υπό αυτή την προϋπόθεση ως φάσμα εκπομπής του σώματος ορίζεται το φάσμα της ακτινοβολίας την οποία εκπέμπει. Πρακτικά το φάσμα αυτό προκύπτει εάν η ακτινοβολία προσπέσει στη σχισμή και στη συνέχεια στο πρίσμα του φασματοσκοπίου.



Σχήμα 27: Σχηματική απεικόνιση φασματοσκοπίου.



Σχήμα 28: Το ορατό φάσμα φωτός και τα μήκη κύματος που περιλαμβάνει.

Τα φάσματα εκπομπής διακρίνονται σε συνεχή και γραμμικά φάσματα:

α) Συνεχή φάσματα εκπομπής. Τα φάσματα αυτού του είδους προκύπτουν από εξέταση διάπυρων υγρών ή στερεών σωμάτων. Τέτοιο είναι το φάσμα που προκύπτει από την α-νάλυση φωτός που εκπέμπει ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας πυρακτώσεως. Στην προκείμε-νη περίπτωση το διάπυρο σώμα είναι το νήμα βολφραμίου. Επειδή τα συνεχή φάσματα που προκύπτουν από διάφορα διάπυρα σώματα δεν διαφέρουν μεταξύ τους, δεν μπορούν να μας πληροφορήσουν για την χημική τους σύσταση. Όμως η κατανομή της ενέργειας στις διάφορες περιοχές του φάσματος εξαρτάται από την θερμοκρασία του σώματος από το οποίο εκπέμπεται φως. Όταν η θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή εκπέμπεται κυρίως ακτινοβολία ερυθρού χρώματος, ενώ οι άλλες ακτινοβολίες είναι πολύ ασθενείς. Για αυ-τό το λόγο τα σώματα που θερμαίνονται φαίνονται ερυθροκόκκινα. Όταν όμως η θερμο-κρασία αυξάνεται ενισχύονται και οι υπόλοιπες ακτινοβολίες (κίτρινη, ιώδης κτλ) με α-ποτέλεσμα το διάπυρο σώμα να φαίνεται λευκό (λευκοπυρωμένα κάρβουνα).

β) Γραμμικά φάσματα εκπομπής**.** Αν διεγείρουμε σε ακτινοβολία ένα αέριο* ή ατμό και εξεταστεί το φάσμα του, θα πάρουμε μια σειρά από διακριτές έγχρωμες γραμμές (οι ο-ποίες έχουν το σχήμα της σχισμής που βρίσκεται μπροστά από το πρίσμα). Οι γραμμές αυτές ονομάζονται φασματικές γραμμές και αποτελούν το φάσμα εκπομπής του αντί-στοιχου αερίου ή ατμού. Ενώ τα συνεχή φάσματα δεν μας παρέχουν καμιά πληροφορία για την χημική σύσταση του σώματος, τα φάσματα εκπομπής είναι χαρακτηριστικά του εκπέμποντος αερίου ή ατμού. Όταν θέλουμε να πάρουμε το γραμμικό φάσμα ενός χημι-κού στοιχείου το οποίο απαντάται σε στερεή μορφή, το μετατρέπουμε σε αέριο θερμαί-νοντας σε υψηλή θερμοκρασία. Αν για παράδειγμα θερμανθεί μεταλλικό νάτριο θα πα-ρατηρηθεί η εκπομπή έντονου κίτρινου φωτός. Αν το φως αυτό εξετασθεί από ένα φα-σματοσκόπιο θα βρεθεί ότι αποτελείται από δυο φασματικές γραμμές κίτρινου χρώμα-τος, οι οποίες βρίσκονται τόσο κοντά η μια με την άλλη ώστε στην παρατήρηση με απλά μέσα να φαίνονται ως μια. Έντονο γραμμικό φάσμα με λίγες φασματικές γραμμές εκπέ-μπει η λυχνία ατμών υδραργύρου. Κάποιες φορές στη λυχνία αυτή προστίθεται κάδμιο, οπότε παίρνονται περισσότερες φασματικές γραμμές και έτσι το φως γίνεται κατάλληλο για την βαθμονόμηση των φασματοσκοπίων. Αν η θερμοκρασία της λυχνίας γίνει υψηλή, η πίεση μέσα στο σωλήνα γίνεται πολύ μεγάλη και οι φασματικές γραμμές διαπλατύνονται. Το φάσμα των λυχνιών ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι σχεδόν συνεχές.

Οι μεγάλοι πρωταγωνιστές ήταν όλοι Γερμανοί και ανάμεσα τους ο άνθρωπος που έδωσε στο φασματοσκόπιο την σημερινή περίπου μορφή, εκείνος που πρώτος υλοποίησε την ιδέα της αξιοποίησης των φασμάτων από τη Χημεία και την Αστρονομία, ο πατέρας της φασματοσκοπίας, ο Gustav Kirchhoff. Και ήταν αυτός που διέκρινε ότι, μέσα από τα φάσματα των αερίων, το φως των διαφόρων ουσιών άφηνε τα «δακτυλικά αποτυπώματα» των χημικών στοιχείων που το εξέπεμπαν. Και όχι μόνο αυτό. Νέα άγνωστα χημικά στοιχεία άρχισαν να στέλνουν το μήνυμα ότι «πάντοτε υπήρχαν». Το 1860 αυτό που ο πατέρας Γουσταύος θα το βάφτιζε Zäsium - καίσιο - «ήρθε στο φως του ανθρώπινου γνωρίζω» ως ένα άγνωστο μέχρι τότε μέλος της γνωστής οικογένειας των αλκαλίων για να ακολουθήσει ένα ακόμα. Ο Kirchhoff το είπε Rubidium, οι Έλληνες ρουβίδιο, ήταν και αυτό της οικογένειας των αλκαλίων. Και οι χημικοί όλου του Κόσμου ήταν βέβαια ξετρελαμένοι με την ανακάλυψη . Οι αστρονόμοι επίσης . Η ανάκριση του φωτός των άστρων προκειμένου το φως να «ομολογήσει» και να μας αποκαλύψει «τι υπάρχει στον Ουρανό» είχε ήδη αρχίσει. Οι φυσικοί μάλλον δεν θα μπορούσαν να φανταστούν ότι η πόρτα που είχε ανοίξει θα οδηγούσε στην ανακάλυψη του ηλεκτρονίου και των ακτίνων Χ και λίγο αργότερα στην πρόταση για τη δομή του Ατόμου και στον Niels Bohr.

Πως βγάζει ένα σώμα το «δικό του» φως;

Προκειμένου για ένα σώμα - ουσία - το οποίο σε συνήθεις συνθήκες είναι στερεό – όπως λόγου χάριν το νάτριο ή ο χαλκός – το μετατρέπουμε σε ατμό θερμαίνοντάς το σε υψηλή θερμοκρασία. Σε αυτή την περίπτωση η φλόγα του λύχνου Bunsen (για το νάτριο) και το υψηλής θερμοκρασίας βολταϊκό τόξο (για τον χαλκό) είναι μία καλή επιλογή. Τι θα κάνουμε όμως προκειμένου ένα αόρατο αέριο να γίνει αυτόφωτο; Πώς θα «πείσουμε» ένα αέριο - όπως το υδρογόνο, το οξυγόνο ή το άζωτο - να «βγάλει» το δικό του φως; Το ερώτημα ήταν ένα από τα κυρίαρχα ερωτήματα των ευρωπαίων φυσικών του 19ου αιώνα μέχρι που - αρχικά οι Γερμανοί και αργότερα οι Άγγλοι– κατά τη δεκαετία του 1850 τα κατάφεραν. Εμπιστεύτηκαν την αντλία αέρος και την έννοια ηλεκτρική αγωγιμότητα και οι συνέπειες, για την εξέλιξη της Φυσικής και της Χημείας, ήταν ανυπολόγιστες. Ένας γυάλινος σωλήνας με το αέριο, αραίωση του αερίου με την αντλία του Geissler και στα άκρα του σωλήνα υψηλή τάση. Τα αόρατα αέρια άρχισαν το ένα μετά το άλλο να πείθονται και «διεγειρόμενα» να εκπέμπουν το δικό τους φως. Και χωρίς να είναι θερμά αέρια. Περίπου εν ψυχρώ.

Φάσμα απορρόφησης.

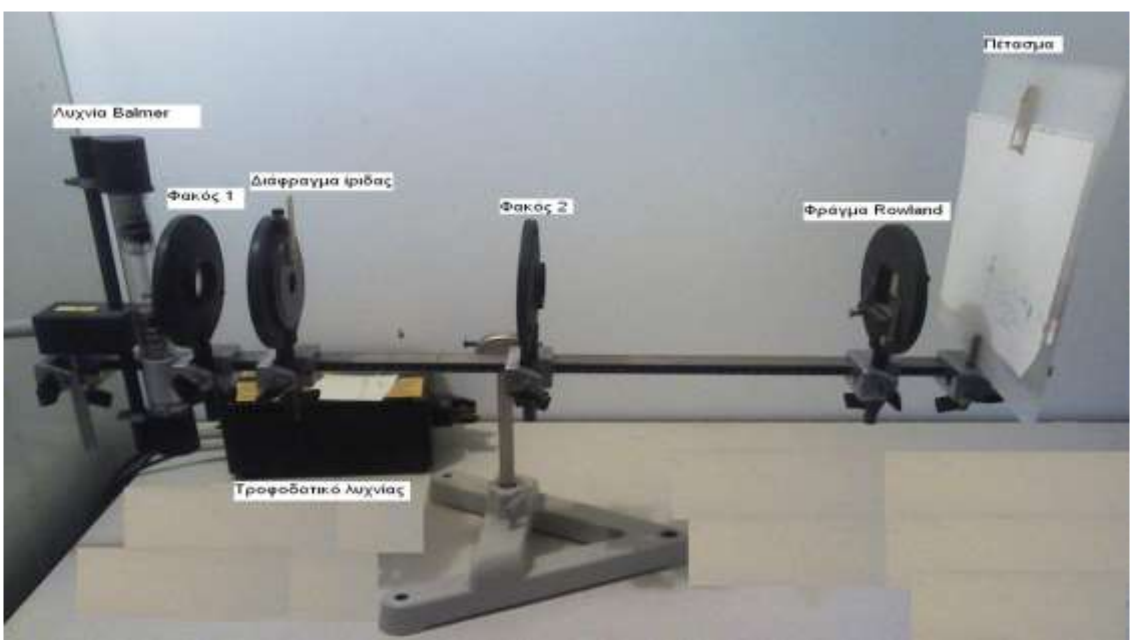
Το φάσμα απορρόφησης ενός σώματος είναι εικόνα αναφερόμενη σε συγκεκριμένο σώμα. Δημιουργείται εφόσον στο διαφανές αυτό σώμα προσπέσει λευκό φως και στη συνέχεια οι ακτινοβολίες που θα περάσουν από το διαφανές σώμα - και δεν θα απορροφηθούν – προσπέσουν στη σχισμή και μετά στο πρίσμα του φασματοσκοπίου. Ως φάσμα, δηλαδή, απορρόφησης ενός διαφανούς σώματος ορίζεται το φάσμα της ακτινοβολίας η οποία διέρχεται από αυτό μετά την πρόσπτωση λευκού φωτός. Για να πάρουμε δηλαδή ένα φάσμα απορρόφησης δεν χρειάζεται να «αναγκάσουμε» το σώμα να «βγάλει» το δικό του φως. Η προϋπόθεση είναι να διαθέτουμε μία πηγή λευκού φωτός, ένα φασματοσκόπιο και βέβαια το σώμα που μας ενδιαφέρει να είναι διαφανές. Εάν πριν παρεμβάλλουμε το διαφανές αντικείμενο παρατηρήσουμε το φάσμα θα έχουμε μπροστά μας το συνεχές φάσμα του λευκού φωτός με όλα τα χρώματα, χωρίς να λείπει τίποτα. Εξάλλου το φως της πηγής ορίζεται ως λευκό με βάση το φάσμα του, εφόσον δηλαδή του φάσμα είναι η ταινία με όλα τα χρώματα. Ιδιαίτερα σημαντική για την παραπέρα έρευνα υπήρξε και η επισήμανση του μεγάλου της φασματοσκοπίας, η οποία συνήθως αναφέρεται ως *Νόμος του Kirchhoff:*

Κάθε αέριο (ή ατμός) απορροφά εκλεκτικά μόνο τις ακτινοβολίες εκείνες τις οποίες διεγειρόμενο θα εξέπεμπε. Σε κάθε φάσμα απορρόφησης καθεμία από τις σκοτεινές γραμμές βρίσκεται στη θέση ακριβώς που βρίσκεται η έγχρωμη γραμμή στο φάσμα εκπομπής του ίδιου αερίου. Το φάσμα απορρόφησης κάθε αερίου είναι συμπληρωματικό του φάσματος εκπομπής του ίδιου αερίου.

Σχήμα 29**:** Φάσμα εκπομπής και απορρόφησης του υδρογόνου.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της πειραματικής άσκησης είναι η μέτρηση των μηκών κύματος τριών φασματικών γραμμών του υδρογόνου.



Σχήμα 30: Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση μήκους κύματος φασματικών γραμμών.

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την τέλεση της εργαστηριακής άσκησης είναι:
i) Λυχνία Balmer.
ii) Τροφοδοτικό της λυχνίας.
iii) Δυο φακοί εστιακής απόστασης +50mm και 100mm.
iv) Διάφραγμα ίριδας.
v) Φράγμα Rowland.
vi) Πέτασμα.

Γ) i) Ανάψτε τη λυχνία Balmer.
ii) Με τη βοήθεια των δυο φακών και του φράγματος εστιάστε πάνω στο πέτασμα (έτσι ώστε να είναι ευκρινείς) τις τρεις φασματικές γραμμές (κόκκινη, τυρκουάζ και μπλε).
iii) Μετρήστε την απόσταση α του φράγματος από το πέτασμα, καθώς και τις αποστάσεις e των φασματικών γραμμών από την κεντρική.
iv) Επαναλάβατε για άλλες 5 θέσεις του φράγματος.

Δ) i) Συμπληρώστε τον κάτωθι πίνακα υπολογίζοντας τις γωνίες εκτροπής των φασματικών γραμμών και τα αντίστοιχα μήκη κύματος σύμφωνα με τους τύπους:

$$\phi = \arctan\frac{e}{\alpha} \quad \text{και} \quad \lambda = g \cdot \sin\phi$$

όπου g η σταθερά του φράγματος ίση με 1,67nm.

Φασματική γραμμή	**α**	**e**	**e/α**	**φ (°)**	**λ (nm)**
Ηα					
H_β					
H_γ					

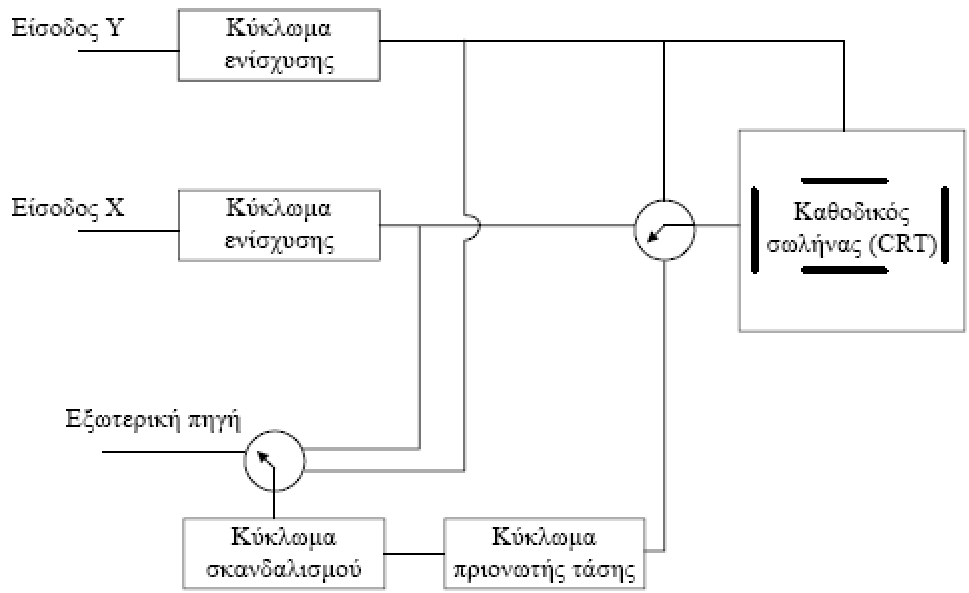
ii) Υπολογίστε την μέση τιμή για το κάθε μήκος κύματος από τις έξι τιμές που βρήκατε.
iii) Υπολογίστε το σφάλμα των μέσων όρων.
iv) Σε ποια από τις έξι θέσεις έχετε το μικρότερο σφάλμα; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
v) Ποια τα πιθανά σφάλματα που μπορεί να έχετε κατά την πειραματική διαδικασία; Προτείνετε τρόπους αντιμετώπισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Ο ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

Γενική περιγραφή του παλμογράφου

Ο παλμογράφος είναι ένα πολύ χρήσιμο όργανο για τη μελέτη της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την απεικόνιση τάσεων που εμφανίζονται σε διάφορα σημεία ενός κυκλώματος, και με τη βοήθειά του μπορούν να μετρηθούν χαρακτηριστικά μεγέθη αυτών. Ενδεικτικά αναφέρουμε το πλάτος, τη συχνότητα, τη διαφορά φάσης σε σχέση με μία άλλη τάση κ.λ.π. Επίσης, ο παλμογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη έμμεση (νόμος Ohm) μέτρηση ρευμάτων που διαρρέουν ένα κύκλωμα. Ένα απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα του παλμογράφου φαίνεται στο Σχ.31.



Σχήμα 31: Γενικό σχηματικό διάγραμμα παλμογράφου.

Τα βασικά μέρη ενός παλμογράφου είναι τα παρακάτω:

• Καθοδικός σωλήνας (Cathode Ray Tube-CRT), με την βοήθεια του οποίου γίνεται η απεικόνιση της μετρούμενης τάσης.

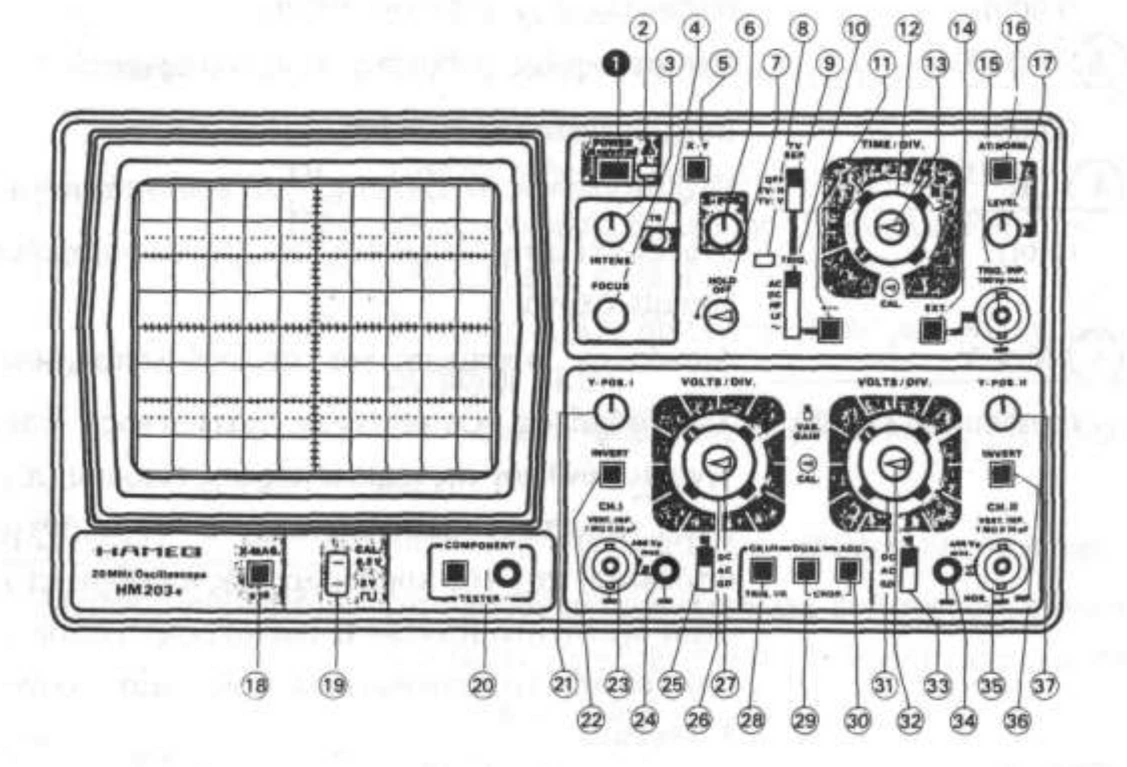
• Ενισχυτές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης, που χρησιμεύουν στη σωστή απεικόνιση του σήματος εισόδου.

• Κύκλωμα παραγωγής πριονωτής τάσης, που χρησιμεύει στην απεικόνιση της υπό εξέταση τάσης ως συνάρτηση του χρόνου.

• Κύκλωμα σκανδαλισμού, με τη βοήθεια του οποίου λαμβάνουμε σταθερές κυματομορφές στην οθόνη του παλμογράφου.

<u>Παλμογράφος HM 203-6 HAMEG.</u>

Ο παλμογράφος αυτός (20MHz OSCILLOSCOPE, Model HM203 HAMEG, GERMANY) δίνεται στο Σχήμα . Οι διάφοροι διακόπτες και υποδοχές εισόδου και εξόδου έχουν αριθμηθεί έτσι ώστε να διευκολύνεται η περιληπτική περιγραφή τους που ακολουθεί. Για περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχει το κατάλληλο αναλυτικό φυλλάδιο της Εταιρείας HAMEG για τον παλμογράφο αυτόν.



Σχήμα 32: Παλμογράφος HM 203-6 HAMEG.

<u>ΠΡΟΣΟΧΗ:</u>

Προτού αρχίσετε οτιδήποτε με τον παλμογράφο, βεβαιωθείτε ότι και οι τρεις περιστροφικοί κεντρικοί επιλογείς (13), (27) και (32) βρίσκονται στην κανονική σταθερή θέση (πλήρης περιστροφή προς τα αριστερά). Μόνο τότε τα βαθμολογημένα βήματα των αντίστοιχων περιστροφικών διακοπτών (12) , (26) και(31) έχουν νόημα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις.

1) POWER ON/OFF : Διακόπτης συμπίεσης για τροφοδοσία του παλμογράφου. Αν βρίσκεται σε λειτουργία, τότε το λαμπάκι LED είναι φωτεινό.

2) INTENS: Περιστροφικός ρυθμιστής **φωτεινότητας** σήματος στην οθόνη.

3) FOCUS: Περιστροφικός ρυθμιστής **ευκρίνειας (εστίασης)** σήματος στην οθόνη.

4) TR: Περιστροφικός ανιχνευτής για **ευθυγράμμιση (οριζοντίωση)** σήματος με βαθμονομημένη γραμμή άξονα.

5) X -Y : Διακόπτης συμπίεσης για επιλογή λειτουργίας X-Y σήματος. Όταν είναι "πατημένος", τότε γίνεται **σύνθεση** της κυματομορφής εισόδου (π.χ. σήμα πομπού) στο **Κανάλι I** (οριζόντια απόκλιση) και της κυματομορφής εισόδου (π.χ. σήμα δέκτη) στο **Κανάλι II** (κατακόρυφη απόκλιση), οπότε το αποτέλεσμα είναι μια εικόνα Lissajous.

6) X- POS: Περιστροφικός ρυθμιστής για **οριζόντια θέση** του σήματος.

7) HOLD OFF: Περιστροφικός ρυθμιστής **χρόνου** μεταξύ σαρώσεων -και επίδειξη σήματος σε σταθερή θέση. Πλήρης περιστροφή του αντιστοιχεί στη θέση κανονικής λειτουργίας παλμογράφου.

8) TRIG: Φωτεινό λαμπάκι LED, όταν η σάρωση σήματος είναι σε λειτουργία "σκανδαλισμού" **(TRIGER).**

9) TV SEP: Διακόπτης- μοχλός για σύνδεση με TV-Video σύστημα.

OFF: Κανονική θέση λειτουργίας παλμογράφου.
TV:H: Θέση για γραμμική (line) ή οριζόντια συχνότητα.
TV:V: Θέση για διαμορφωμένη (frame) ή κατακόρυφη συνιστώσα.

10) TRIG: Διακόπτης- μοχλός για επιλογή θέσης "σκανδαλισμού" για σήμα σάρωσης.

AC: Εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα από l0Hz μέχρι 20MHz.
DC: Συνεχές ρεύμα με συχνότητα μέχρι 20 MHz.
HF: Φίλτρο υψηλής διέλευσης (High- pass Filter) από 1.5 kHz μέχρι 40 MHz.
LF: Φίλτρο χαμηλής διέλευσης (Low-pass Filter) από DC μέχρι 1 kHz.
~: Εσωτερικός γραμμικός σκανδαλισμός για 50-60 Hz.

11) + / -: Διακόπτης συμπίεσης για επιλογή κλίσης σήματος σκανδαλισμού, είτε κατά την ανοδική πορεία του (+, rising edge) ή κατά την καθοδική πτώση του (-, falling edge).
12 TIME/DIV: Περιστροφικός διακόπτης για επιλογή χρόνου σάρωσης σήματος στην οθόνη, σε 18 βαθμολογημένα βήματα, κατανεμημένα σε τρεις περιοχές χρόνου: (0.2, 0.1) sec, (50, 20,10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1) msec και (20, 10, 5, 2, 1, 0.5) μsec.

13 VARIABLE: Περιστροφικός κεντρικός επιλογέας για αβαθμολόγητη συνεχή αλλαγή του χρόνου σάρωσης για κάθε βήμα του διακόπτη (12) TIME/DIV. Επιτυγχάνεται αύξηση χρόνου μέχρι 2.5 φορές για κάθε βήμα.

14) EXT: Διακόπτης συμπίεσης για εξωτερικό σκανδαλισμό με το διακόπτη "πατημένο" και για εσωτερικό σκανδαλισμό με το διακόπτη "ελευθερωμένο".

15) TRIG. INP: Είσοδος για εξωτερικό σήμα σκανδαλισμού όταν ο διακόπτης (l4) EXT. είναι "πατημένος".

16 AT/NORM: Διακόπτης συμπίεσης για κανονικό (NORMAL) σκανδαλισμό με το διακόπτη "πατημένο" και για αυτόματο (AuTomatic) σκανδαλισμό με το διακόπτη "ελευθερωμένο".

17) LEVEL: Περιστροφικός ρυθμιστής για πλάτος σκανδαλισμού όταν ο διακόπτης (16) AT/NORM, είναι "πατημένος".

18) X-MAG. x10: Διακόπτης συμπίεσης για μεγέθυνση σήματος κατά τη X-διεύθυνση, σε αναλογία 10:1 μέχρι =20nsec/cm, στις περιπτώσεις όταν η πιο μικρή κλίμακα χρόνου 0.5 μsec/cm στο διακόπτη TIME/DIV. δεν επαρκεί.

19) CALIBRATOR 0,2V-2V: Θέσεις για διάφορες ρυθμίσεις και ηλεκτρονικούς ελέγχους του παλμογράφου, με βάση ένα βαθμολογημένο εσωτερικό σήμα αναφοράς (reference).

20) COMPONENT TESTER: Όμοιο με το (19).

ΚΑΝΑΛΙ Ι

21) Y-POS. I: Περιστροφικός ρυθμιστής για κατακόρυφη μετακίνηση σήματος στην οθόνη για Κανάλι Ι.

22) INVERT. (CH1): Διακόπτης συμπίεσης για αντιστροφή (INVERTION) σήματος στην οθόνη για Κανάλι Ι.

23 CH. I: Υποδοχή BNC βίσματος για είσοδο εξωτερικής κυματομορφής (π.χ. πομπού ή δέκτη) στο Κανάλι Ι.

24) GROUND: Γείωση.

25) DC-AC-GD: Διακόπτης επιλογής για **εσωτερική** σύζευξη του"κατακόρυφου" ενισχυτή για το Κανάλι Ι.

DC: Περνούν όλες οι συνιστώσες του σήματος εισόδου.

AC: Αποκόπτονται όλες οι DC-συνιστώσες του σήματος με χωρητική σύζευξη.
GD: Το σήμα αποκόπτεται και η είσοδος του ενισχυτή γειώνεται.

26) VOLTS/DIV: Περιστροφικός διακόπτης για επιλογή κατακόρυφης ενίσχυσης Καναλιού I σε 12 βαθμολογημένα βήματα, κατανεμημένα σε δύο περιοχές τάσης: (20,10,5,2,1, 0.5,0.2 και 0.1) V και (50, 20, 10 και 5) mV.

27) VAR. GAIN: Περιστροφικός κεντρικός επιλογέας για αβαθμολόγητη συνεχή αλλαγή σε Volts/div. για κάθε βήμα του διακόπτη (26) VOLTS/DIV. Με αντίστοιχη αύξηση μέχρι 2.5 φορές. Μη ξεχάσετε να επαναφέρετε τον επιλογέα (27) στην κανονική του θέση.

28) CH I/II-TRIG: Διακόπτης συμπίεσης για επιλογή και σύζευξη καναλιών:
Αν (28) "πατημένος", τότε σύζευξη μόνο με Κανάλι II.
Αν (28) "ελευθερωμένος", τότε σύζευξη μόνο με Κανάλι I.

29) DUAL: Διακόπτης συμπίεσης για απεικόνιση σημάτων στην οθόνη.

Αν μόνο (29) "ελευθερωμένος", τότε μόνο ένα Κανάλι (I ή II) σε σύζευξη, ανάλογα με τη θέση του διακόπτη 28 .
Αν μόνο (29) "πατημένος", τότε Κανάλι I και Κανάλι II είναι σε εναλλασσόμενη κατάσταση (alternate mode).
Αν (29) και (30) "πατημένος", τότε Κανάλι I και Κανάλι II είναι σε κατάσταση αποκοπής (chopped-mode).

30) ADD: Διακόπτης συμπίεσης για πρόσθεση ή αφαίρεση σημάτων.

Αν μόνο (30) "πατημένος", τότε παρέχει αλγεβρικό άθροισμα (+I+Π) ή (-I-II).
Αν μόνο (30) πατημένος" αλλά σε συνδυασμό με το διακόπτη(22) INVERT., τότε παρέχει αλγεβρική διαφορά (-I+II) ή (+I-II).

ΚΑΝΑΛΙ II

Για το Κανάλι II γίνονται ανάλογες επεξηγήσεις, όπως έγιναν για το Κανάλι I, δεδομένου ότι υπάρχει συμμετρία για Κανάλι I και για Κανάλι **II** ως προς τους διάφορους διακόπτες, υποδοχές, κ.λ.π. Έτσι, υπάρχει η ακόλουθη αριθμητική αντιστοίχηση:

(31)——(26), (32)——(27) , (33)——(25) , (34)——(24) , (35)——(23)
(36)——(23), (36)——(22), (37)——(21).

Σύνδεση του παλμογράφου στο κύκλωμα.

Ο παλμογράφος συνδέεται στο κύκλωμα μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου με BNC υποδοχή στο ένα άκρο του και δύο ακροδέκτες μπανάνες στο άλλο, μια μαύρη και μια κόκκινη. Η BNC υποδοχή συνδέεται στον παλμογράφο. Ο μαύρος ακροδέκτης μπανάνα συνδέεται πάντα στη γη (κοινό σημείο) του κυκλώματος. Ο κόκκινος συνδέεται στο σημείο που θέλουμε να πάρουμε την κυματομορφή.

Προσοχή στη σύνδεση του παλμογράφου. Εάν η σύνδεση γίνει λάθος πχ ο κόκκινος ακροδέκτης συνδεθεί στη γη (κοινό σημείο) του κυκλώματος δεν θα μπορέσετε να δείτε το σήμα στην οθόνη του παλμογράφου.

Μέτρηση του πλάτους μιας A.C. κυματομορφής.

Ακολουθούμε τα εξής βήματα:
1. Εφαρμόζουμε την κυματομορφή που θέλουμε να μετρήσουμε στην είσοδο του παλμογράφου.
2. Τοποθετούμε μετά τον διακόπτη AC-GND-DC στη θέση AC.
3. Μετράμε τα τετραγωνάκια που αντιστοιχούν στην τιμή «από κορυφή σε κορυφή» της κυματομορφής.
4. Πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των τετραγώνων με την ένδειξη του διακόπτη volts/div. Έτσι έχουμε την τιμή «από κορυφή σε κορυφή» της κυματομορφής.

Παράδειγμα
Έστω ότι ο παλμογράφος έχει τεθεί στα 20 volts/div και το σήμα από τη μια κορυφή του ως την άλλη κατέχει τρία τετράγωνα. Η τιμή V_{p-p} του σήματος τότε είναι: 20x3=60 Volts

Μέτρηση της συχνότητας A.C. κυματομορφής

Όπως είναι γνωστό η περίοδος T είναι το αντίστροφο της συχνότητας. Έτσι εάν γνωρίζουμε την περίοδο μιας κυματομορφής μπορούμε να υπολογίσουμε τη συχνότητα.
Για να μετρήσουμε την περίοδο μιας AC κυματομορφής ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:
1. Μετράμε τον αριθμό των τετραγώνων από την αρχή μέχρι το τέλος μιας περιόδου της κυματομορφής, κατά την οριζόντια κατεύθυνση.
2. Πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των τετραγώνων με την ένδειξη time/div και έτσι έχουμε την περίοδο της κυματομορφής

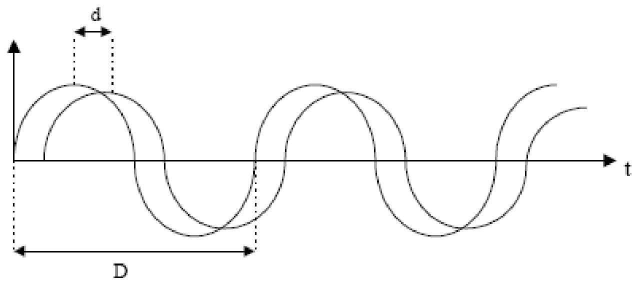
Για να μετρήσουμε συνεχή τάση DC.

1. Τοποθετούμε τον διακόπτη AC-GND-DC στη θέση GND. Φέρνουμε τη δέσμη στο μέσον της οθόνης ή και σε άλλη θέση αν επιθυμούμε και σημειώνουμε τη θέση αυτή.
2. Τοποθετούμε μετά τον διακόπτη AC-GND-DC στη θέση DC.
3. Μετράμε τον αριθμό των τετραγώνων που είναι πάνω (θετική τάση) ή κάτω (αρνητική τάση) από τη θέση GND που είχαμε σημειώσει στο βήμα 1.
4. Πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των τετραγώνων με την ένδειξη του διακόπτη volts/div. Έτσι έχουμε την τιμή της τάσης που θέλουμε να μετρήσουμε.

Μέτρηση διαφοράς φάσης ημιτονικών σημάτων.

Η διαφορά φάσης μπορεί να μετρηθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

(I) Τα δύο σήματα απεικονίζονται ταυτόχρονα στην οθόνη του παλμογράφου, όπως φαίνεται στο Σχ33. Ως πηγή σκανδαλισμού λαμβάνεται το σήμα που προηγείται σε σχέση με το άλλο.



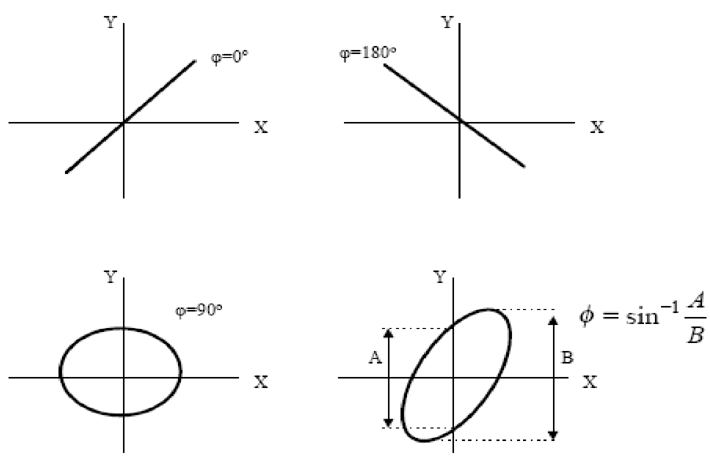
Σχήμα 33: Μέτρηση της διαφοράς φάσης.

Η διαφορά φάσης δίνεται από τη σχέση:

$$\phi = 360^o \frac{d}{D}$$

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ των δύο κορυφών, και D η απόσταση που αντιστοιχεί σε μία περίοδο.

(II) Θέτουμε τον επιλογέα TIME/DIV στη θέση X-Y, απομονώνοντας έτσι το κύκλωμα παραγωγής της πριονωτής τάσης. Για τις διάφορες δυνατές τιμές της διαφοράς φάσης, στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται ένα από τα παρακάτω:



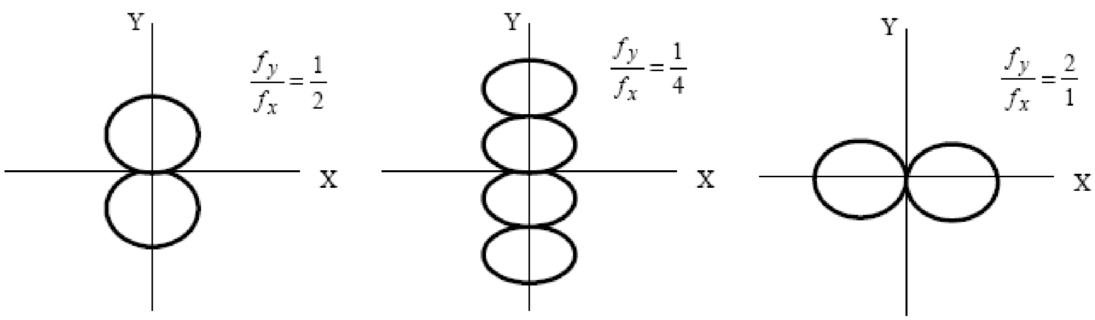
Σχήμα 34: Μέτρηση της διαφοράς φάσης με τη μέθοδο (II).

Μέτρηση άγνωστης συχνότητας

Ακολουθείται ή ίδια διαδικασία με αυτή για τη μέτρηση της διαφοράς φάσης, μόνο που εδώ επειδή διαφέρουν οι συχνότητες θα εμφανιστούν σχήματα Lissajous. Η άγνωστη συχνότητα (f_y) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y}$$

όπου n_x είναι ο αριθμός των λοβών στον οριζόντιο άξονα και n_y ο αντίστοιχος αριθμός στον κατακόρυφο άξονα. Αν η μία συχνότητα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της άλλης, τότε στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζονται κλειστά σχήματα. Μερικά παραδείγματα δίνονται στο Σχ35.



Σχήμα 35: Σχήματα Lissajous.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με τον παλμογράφο και τη χρησιμότητά του ως ένα όργανο μέτρησης πλάτους κυματοσυνάρτησης, περιόδου και συχνότητας κυματοσυνάρτησης καθώς και της διαφοράς φάσης δυο κυματοσυναρτήσεων.

Β) Τα απαραίτητα όργανα για την διεξαγωγή της άσκησης είναι:

i) Παλμογράφος.
ii) Γεννήτρια συχνοτήτων.
iii) Καλώδια σύνδεσης.

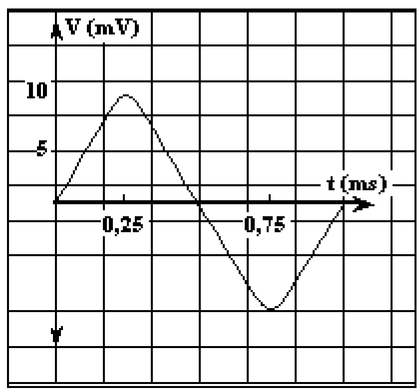
Γ) i) Καθίστε μπροστά στον παλμογράφο, ανάψτε τον και προσπαθήστε να βρείτε τη δέσμη στην οθόνη.
ii) Προσπαθήστε να εξοικειωθείτε με τα κουμπιά του παλμογράφου παρατηρώντας την επίδρασή τους στη δέσμη που φαίνεται στην οθόνη.
iii) Παρατηρήστε προσεκτικά τη γεννήτρια του πάγκου σας και σιγουρευτείτε ότι γνωρίζετε τον ρόλο του κάθε ρυθμιστή.

iv) Συνδέστε τη γεννήτρια στον παλμογράφο. Προσέξτε να συνδέσετε τον μαύρο ακροδέκτη του παλμογράφου στον ακροδέκτη της γεννήτριας που φέρει το σύμβολο του κοινού σημείου (γείωσης).

v) Ρυθμίστε τη γεννήτρια για ημιτονικό σήμα συχνότητας 1 kHz και πλάτους 500 mV. Σχεδιάστε το σήμα με τα οριζόντια και κατακόρυφα τετραγωνάκια που περιέχονται σε βαθμολογημένους άξονες όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

vi) Ρυθμίστε τη γεννήτρια για ημιτονικό σήμα συχνότητας 50 kHz και πλάτους 100 mV. Σχεδιάστε το σήμα με τα οριζόντια και κατακόρυφα τετραγωνάκια που περιέχονται σε βαθμολογημένους άξονες όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

vii) Συνδέστε στο άλλο κανάλι του παλμογράφου ένα τροφοδοτικό DC. Ρυθμίστε την έξοδο του στα 2 volts και μετρήστε τη στον παλμογράφο ακολουθώντας την πορεία των βημάτων που αναφέρονται παραπάνω για τη μέτρηση μιας DC κυματομορφής. Σχεδιάστε την με τα κατακόρυφα τετραγωνάκια που περιέχονται, σε βαθμολογημένους άξονες όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα.



Παράδειγμα σχεδιασμού a.c. κυματομορφής οθόνης παλμογράφου

viii) Πατήστε το κουμπί του παλμογράφου που ενώνει τα δυο σήματα (add) και σχεδιάστε το σήμα που προκύπτει από την πρόσθεση των δυο σημάτων.

ix) Συνδέστε και τις δυο εξόδους της γεννήτριας στον παλμογράφο (στο κανάλι I και κανάλι II). Επιλέξτε διαφορετική συχνότητα για την κάθε έξοδο της γεννήτριας και θέστε τον παλμογράφο στη λειτουργία X-Y. Παρατηρήστε το σχήμα Lissajou στην οθόνη, σχεδιάστε το και υπολογίστε τον λόγο των συχνοτήτων. Επαναλάβετε και για άλλες συχνότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Το ηλεκτρικό ρεύμα ορίζεται ως η ποσότητα φορτίου που διασχίζει μια συγκεκριμένη επιφάνεια S στη μονάδα του χρόνου. Η παραπάνω πρόταση μεταφράζεται σε μαθηματική σχέση χρησιμοποιώντας την έννοια της παραγωγού.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Η ποσότητα I ονομάζεται ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και στο Διεθνές Σύστημα μετριέται σε Αμπέρ (A). Στην περίπτωση του συνεχούς ρεύματος αν δεν μεταβληθεί το ηλεκτρικό κύκλωμα, η ένταση του ρεύματος έχει σταθερή τιμή και δεν μεταβάλλεται με το χρόνο.

Αγωγιμότητα, Αντίσταση και ο Νόμος του Ohm

Μια από τις πρώτες πειραματικές ανακαλύψεις γύρω από τη ροή του ηλεκτρικού φορτίου ήταν ότι το ρεύμα πού ρέει από ένα σημείο ενός υλικού προς ένα άλλο είναι ανάλογο προς τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων αυτών. Ή διαπίστωση αυτή, γνωστή ως νόμος του Ohm, διατυπώνεται με την απλή σχέση

$$V = I \cdot R$$

οπου ο συντελεστής αναλογίας R χαρακτηρίζει το υλικό, την επιλογή των σημείων με διαφορά δυναμικού V και γενικά τη γεωμετρία του σώματος πού διαρρέεται από το ρεύμα I. Για σταθερή θερμοκρασία, ο συντελεστής R, πού θα ονομάσουμε αντίσταση του σώματος για τα συγκεκριμένα άκρα, είναι ανεξάρτητος από τη διαφορά δυναμικού V. Ή μονάδα μετρήσεως της αντιστάσεως πού συνήθως χρησιμοποιείται ορίζεται στο σύστημα SI με την ονομασία ohm και το συμβολισμό Ω. Ο ορισμός του Ohm δίνεται από τη σχέση

$$1\ Ohm = \frac{1\ ampere}{1\ Volt}$$

Γενικά ως ηλεκτρικό ρεύμα μπορούμε να θεωρήσουμε κάθε συστηματική μεταφορά φορτίου. Ή μηχανική μεταφορά φορτίου με τον Ιμάντα της διατάξεως Van de Graaff, ή ροή ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα της τηλεοράσεως ή η κίνηση θετικών και αρνητικών ιόντων σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι μερικές μορφές ηλεκτρικού ρεύματος. Ό μηχανισμός πού δημιουργεί τη ροή φορτίου σε κάθε περίπτωση ποικίλει. Στη συντριπτική πλειοψηφία όμως των ρευμάτων πού θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια ή ροή φορτίου δημιουργείται από τη δύναμη πού ασκεί το ηλεκτρικό πεδίο στα στοιχειώδη φορτία, θεωρώντας το μηχανισμού αυτό σε ένα στερεό ομογενές υλικού για δύο γειτονικά σημεία μέσα στο υλικό, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ή πυκνότητα ρεύματος J είναι ανάλογη προς το ηλεκτρικό πεδίο Ε. Μπορούμε επομένως σε κάθε σημείο του υλικού να συνδέσουμε τα δύο ανύσματα με τη σχέση

$$\vec{J} = g \cdot \vec{E}$$

που ή σταθερά g χαρακτηρίζει το υλικό.

Από φυσικής απόψεως ή αγωγιμότητα g προσφέρεται περισσότερο για τη διερεύνηση του φαινομένου πού εκφράζει ο νόμος του Ohm από ότι ή αντίσταση R, πού μεταξύ άλλων εξαρτάται από τη γεωμετρία του υλικού σώματος. Αντίθετα, σε πρακτικές εφαρμογές όπου ενδιαφέρει το ολικό ρεύμα ή η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος, ή αντίσταση R είναι το καθοριστικό μέγεθος. Μπορούμε πάντως να συνδέσουμε τίς δύο ποσότητες (πού έτσι κι αλλιώς περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο) αν θεωρήσουμε μια απλή γεωμετρία. Αν το σχήμα του υλικού πού διαρρέεται από ρεύμα έχει σταθερή διατομή (όπως π.χ. ένα σύνηθες σύρμα) η ολική αντίσταση είναι ανάλογη προς το μήκος του ℓ και αντίστροφα ανάλογη προς την εγκάρσια διατομή S. Βεβαίως εξαρτάται και από τη φύση του υλικού. Ή εμπειρική σχέση πού επαληθεύεται πειραματικά για μια μεγάλη κατηγορία υλικών είναι

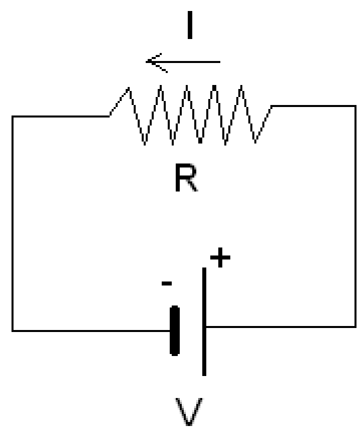
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

όπου η ειδική αντίσταση ρ χαρακτηρίζει το υλικό ανεξάρτητα από τη γεωμετρία.

Η Ωμική Αντίσταση

Το σύμβολο -|ι- αντιπροσωπεύει ένα ηλεκτρικό στοιχείο και το σύμβολο-ΛΛΛ--έναν αγωγό με αντίσταση R. Ως ηλεκτρικό στοιχείο θα θεωρήσουμε οποιαδήποτε συσκευή πού έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει σε δύο σημεία της μια διαφορά δυναμικού V. Ή διαφορά αυτή δυναμικού μπορεί να επιτυγχάνεται με διάφορους μηχανισμούς. Στην πράξη ο όρος ηλεκτρικό στοιχείο διατηρείται μόνο για διατάξεις όπου ή διαφορά δυναμικού δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις των υλικών πού αποτελούν το στοιχείο. Θα χρησιμοποιήσουμε επανειλημμένα στα εργαστήριο συσκευές πού τροφοδοτούνται από το δίκτυο της πόλης και είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να εμφανίζουν σε δύο ακροδέκτες τους μια διαφορά δυναμικού V. Στις περισσότερες συσκευές του τύπου αυτού, πού θα ονομάσουμε τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος ΣΡΤ η διαφορά δυναμικού V πού αναπτύσσεται στους δύο ακροδέκτες μπορεί να επιλεγεί μεταξύ δύο ορίων πού καθορίζει ο κατασκευαστής, ενώ ή τιμή V και το ρεύμα πού παρέχεται στο εξωτερικό κύκλωμα δίνονται σε όργανα της συσκευής. Στα πλαίσια του βιβλίου αυτού, ή εσωτερική κατασκευή των τροφοδοτικών ΣΡ δεν θα μας απασχολήσει.

Ό αγωγός όπου στο κύκλωμα του σχήματος παρεμβάλλει την αντίσταση R μεταξύ των ακροδεκτών του ηλεκτρικού στοιχείου μπορεί στην πράξη να πάρει πολλές μορφές. Ό επιστήμονας ή ο τεχνικός έχει σήμερα στη διάθεση του μια μεγάλη ποικιλία άπα παθητικά εξαρτήματα πού κατασκευάζονται με μόνο σκοπό την παρεμβολή αντιστάσεως σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και πού αναφέρονται με τη γενική ονομασία αντιστάσεις.



Σχήμα 36: Σχηματική αναπαράσταση του νόμου του Ohm.

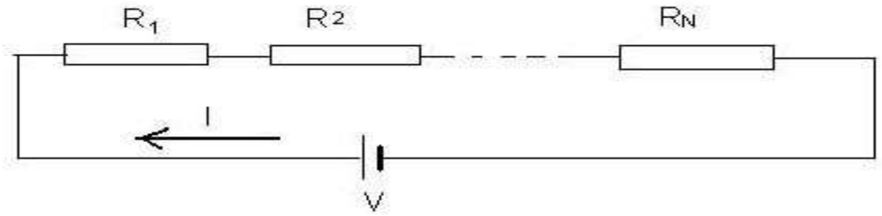
Οι τυποποιημένες αντιστάσεις ποικίλουν ως προς το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες, τίς διαστάσεις και το σχήμα. Γενικά χαρακτηρίζονται από κάποια ονομαστική τιμή της αντιστάσεως πού παρεμβάλλουν στη ροή του ρεύματος, την ακρίβεια (δηλαδή την ποσοστιαία πιθανή απόκλιση της πραγματικής αντιστάσεως από την ονομαστική τιμή) και τη σταθερότητα της αντιστάσεως ως προς τίς μεταβολές των συνθηκών του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, κ.λ.π.).

Η απλούστερη μορφή αντιστάσεως είναι το σύρμα ηλεκτρικού ρεύματος πού αποτελεί αναπόσπαστο μέρος κάθε κυκλώματος. Χρησιμοποιείται συνήθως για την άλληλοσύνδεση των παθητικών και ενεργών εξαρτημάτων ενός κυκλώματος όπου ή αντίσταση πού παρεμβάλλει μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα. Σε μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή άλλων εξαρτημάτων όπως πηνία, μετασχηματιστές ή ροοστάτες. Τα συνήθη σύρματα είναι κατασκευασμένα από χαλκό, ένα μέταλλο με μικρή ειδική αντίσταση, μεγάλη ευλυγισία και σχετικά χαμηλό κόστος. Το χάλκινο σύρμα συνήθως επιμεταλλώνεται με άργυρο ή κασσίτερο για να προφυλάσσεται από την οξείδωση και να διευκολύνει τη συγκόλληση με τους ακροδέκτες εξαρτημάτων του κυκλώματος. Πολλές φορές ακόμη περιβάλλεται από μονωτικό υλικό.

Η αντίσταση ενός σύρματος εξαρτάται από το μήκος και τη διατομή του. Στην Ελλάδα κατασκευάζονται σήμερα χάλκινα σύρματα με διάφορες διατομές σύμφωνα προς τίς προδιαγραφές της Υπηρεσίας Προτυποποιήσεως του Υπουργείου Βιομηχανίας.

Συχνές συνδεσμολογίες αντιστάσεων που συναντά κανείς στα ηλεκτρικά / ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι η σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά και η σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα. Η πρώτη συνδεσμολογία ονομάζεται Διαιρέτης Τάσης, ενώ η δεύτερη ονομάζεται Διαιρέτης Ρεύματος.

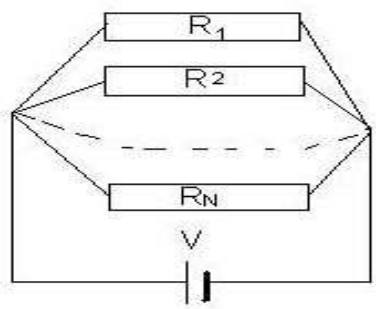
Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά.



Σχήμα 37: Κατά σειρά σύνδεση αντιστάσεων.

$$\boxed{R_{o\lambda} = R_1 + R_2 + ... + R_N}$$

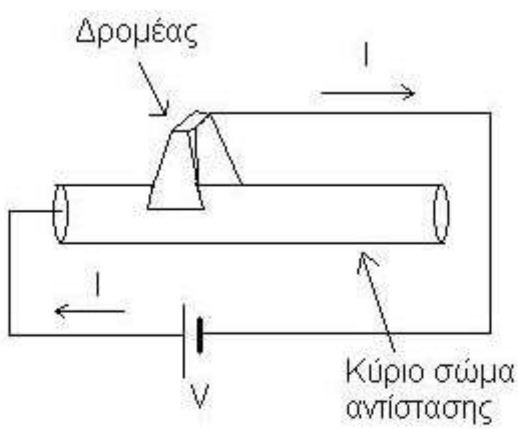
Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων.



Σχήμα 38: Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων.

$$\boxed{\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_N}}$$

Μεταβλητές αντιστάσεις.



Σχήμα 39: Μεταβλητή αντίσταση συνδεδεμένη με πηγή συνεχούς ρεύματος.

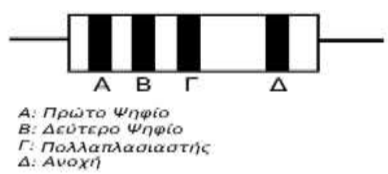
Στις αντιστάσεις αυτές υπάρχει ένας δρομέας ο οποίος καθορίζει το μήκος της αντίστασης το οποίο θα διαρρέει το ρεύμα. Κατορθώνουμε έτσι να μεταβάλουμε την συνολική αντίσταση αφού η τιμή της αντίστασης ρευματοφόρου αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος του.

Χρωματικός κώδικας ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Οι χρωματικοί κώδικες χρησιμοποιούνται στην επιστήμη της Ηλεκτρονικής ως ένδειξη για τα χαρακτηριστικά κάποιου ηλεκτρονικού εξαρτήματος. Εμφανίζονται με την μορφή χρωματικών λωρίδων, οι οποίες τυπώνονται πάνω στο εξάρτημα και υποδηλώνουν την τιμή του εξαρτήματος αυτού, την ανοχή και τον θερμικό συντελεστή.

Μορφή

Οι χρωματικοί κώδικες εμφανίζονται κατά κόρον στις ηλεκτρικές αντιστάσεις άνθρακα, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης και σε πυκνωτές, πηνία, μετασχηματιστές κα. Στις αντιστάσεις κωδικοποιείται η τιμή σε ohm (Ω), στους πυκνωτές σε picofarads (pF), στα πηνία σε microhenries (μH) και στους μετασχηματιστές σε volts (V). Η πιο συνηθισμένη μορφή χρωματικού κώδικα είναι των τεσσάρων λωρίδων, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Παρόλα αυτά υπάρχουν χρωματικοί κώδικες με πέντε λωρίδες (3 ψηφία, πολλαπλασιαστής, θερμικός συντελεστής) και έξι λωρίδες (3 ψηφία, πολλαπλασιαστής, ανοχή, θερμικός συντελεστής). Σε αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αξιοπιστία (πχ. στρατιωτικές εφαρμογές) υπάρχει μία λωρίδα που υποδηλώνει την αξιοπιστία του εξαρτήματος.



Σχήμα 40: Χρωματικός κώδικας αντίστασης.

Χρώμα	$1^{η}$ λωρίδα	$2^{η}$ λωρίδα	$3^{η}$ λωρίδα (πολλαπλασιαστής)	$4^{η}$ λωρίδα (ανοχή)	Θερμικός συντελεστής
Μαύρο	0	0	$\times 10^{0}$		
Καφέ	1	1	$\times 10^{1}$	±1% (F)	100 ppm
Κόκκινο	2	2	$\times 10^{2}$	±2% (G)	50 ppm
Πορτοκαλί	3	3	$\times 10^{3}$		15 ppm
Κίτρινο	4	4	$\times 10^{4}$		25 ppm
Πράσινο	5	5	$\times 10^{5}$	±0.5% (D)	
Μπλε	6	6	$\times 10^{6}$	±0.25% (C)	
Μοβ	7	7	$\times 10^{7}$	±0.1% (B)	
Γκρι	8	8	$\times 10^{8}$	±0.05% (A)	
Λευκό	9	9	$\times 10^{9}$		
Χρυσαφί			×0.1	±5% (J)	
Ασημί			×0.01	±10% (K)	
Κανένα				±20% (M)	

Όργανα μετρήσεων ηλεκτρικού ρεύματος.

Αμπερόμετρο.

Το αμπερόμετρο (Αγγλ. Ammeter) είναι ένα όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος (την έντασή του Ι) σε ένα κύκλωμα. Τα κινούμενα αμπερόμετρα σιδήρου χρησιμοποιούν ένα κομμάτι ή τα κομμάτια του σιδήρου που κινούνται όταν ενεργείται επάνω από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη μιας σταθερής σπείρας (συνήθως βαρύς μετρητής) του καλωδίου. Αυτός ο τύπος μετρητή αποκρίνεται και στα άμεσα ρεύματα και στα εναλλασσόμενα ρεύματα (σε αντιδιαστολή με το κινούμενο αμπερόμετρο σπειρών, το οποίο λειτουργεί στο άμεσο ρεύμα μόνο). Για να μετρήσει τα μεγαλύτερα ρεύματα, ένας αντιστάτης αποκαλούμενος «διακλάδωση» τοποθετείται παράλληλα με το μετρητή. Η περισσότερη από τις τρέχουσες ροές μέσω της διακλάδωσης, και μόνο ένα μικρό μέρος διατρέχουν του μετρητή. Αυτό επιτρέπει στο μετρητή να μετρήσει τα μεγάλα ρεύματα.

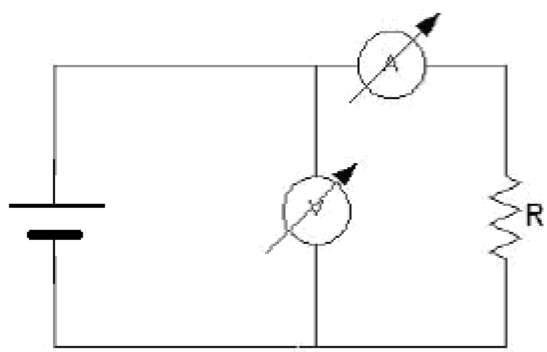
Παραδοσιακά, ο μετρητής που χρησιμοποιείται με μια διακλάδωση έχει μια πραγματικού μεγέθους εκτροπή (FSD) 50mV. Έτσι οι διακλαδώσεις σχεδιάζονται χαρακτηριστικά για να παραγάγουν μια πτώση τάσης 50mV κατά μεταφορά εκτιμημένου του σύνολο ρεύματός τους. Τα πιο σύγχρονα σχέδια αμπερόμετρων είναι non-mechanical, ή ψηφιακά, και χρησιμοποιούν ένα ανάλογο ψηφιακό μετατροπέα (ADC) για να μετρήσουν την τάση πέρα από τον αντιστάτη διακλαδώσεων. Η ADC διαβάζεται από έναν μικροϋπολογιστή που εκτελεί τους υπολογισμούς για να επιδείξει το ρεύμα μέσω του αντιστάτη. Ένα πρόβλημα με τη χρήση ενός αμπερόμετρου είναι η ανάγκη του μετρητή να παρεμβάλλεται σε σειρά στο κύκλωμα. Είναι εμφανής η ύπαρξη της εσωτερικής αντίστασης, RS του αμπερομέτρου. Στην ιδανική περίπτωση, η αντίσταση αυτή θα έπρεπε να είναι μηδενική ώστε να μην επηρεάζει καθόλου το υπόλοιπο κύκλωμα και το αμπερόμετρο να συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα. Στην πράξη έχει μια πολύ μικρή τιμή η οποία εισάγει κάποιο σφάλμα στη μέτρηση. Όπως και στην μέτρηση με βολτόμετρο, όταν το αμπερόμετρο χρησιμοποιείται για μετρήσεις στο συνεχές ρεύμα (dc) θα πρέπει να συνδέεται με τη σωστή πολικότητα, ενώ στο εναλλασσόμενο ρεύμα (ac) μετρά την ενεργό ή ενδεικνυόμενη τιμή της έντασης του ρεύματος.

Στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένας τρέχων μετασχηματιστής μετατρέπει το μαγνητικό πεδίο γύρω από έναν αγωγό σε ένα μικρό ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος, χαρακτηριστικά είτε 1 είτε 5 Amps στο σύνολο, το οποίο μπορεί να διαβαστεί εύκολα από έναν μετρητή. Με παρόμοιο τρόπο, τα ακριβή αμπερόμετρα μη-επαφών εναλλασσόμενου ρεύματος/συνεχούς ρεύματος έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες μαγνητικών πεδίων.

Σχήμα 41: Εργαστηριακό Αμπερόμετρο.

Βολτόμετρο.

Βολτόμετρο είναι το ηλεκτρικό όργανο που μετρά ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος. Τοποθετείται πάντα παράλληλα με το τμήμα του οποίου η τάση πρέπει να μετρηθεί (στα άκρα μιας αντίστασης). Το ισοδύναμο κύκλωμα του βολτομέτρου δίνεται στο σχήμα 42, όπου είναι εμφανής η ύπαρξη της εσωτερικής του αντίστασης, RS. Στην ιδανική περίπτωση, η αντίσταση αυτή θα έπρεπε να είναι άπειρη ώστε να μην επηρεάζει καθόλου το υπόλοιπο κύκλωμα και το βολτόμετρο να συμπεριφέρεται ως ανοιχτός διακόπτης. Στην πράξη έχει μια πολύ μεγάλη, πεπερασμένη, όμως, τιμή η οποία εισάγει κάποιο σφάλμα στη μέτρηση. Όταν το βολτόμετρο χρησιμοποιείται για μετρήσεις στο συνεχές ρεύμα (dc) θα πρέπει να συνδέεται με τη σωστή πολικότητα. Έτσι αποφεύγεται πιθανή βλάβη στο δείκτη του οργάνου. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα (ac) το βολτόμετρο μετρά την ενεργό ή ενδεικνυόμενη τιμή της τάσης. Προφανώς, η μέτρηση της στιγμιαίας τιμής της τάσης είναι αδύνατη. Συνεπώς, η ενεργός τιμή είναι μια κατάλληλη ένδειξη για το πλάτος της τάσης.



Σχήμα 42: Μέτρηση αντίστασης με τη βοήθεια αμπερομέτρου και βολτομέτρου.

Σχήμα 43: Εργαστηριακά βολτόμετρα μέτρησης εναλλασσόμενης και συνεχούς τάσης.

Τι είναι το πολύμετρο;

Ένα πολύμετρο συνδυάζει αρκετούς μετρητές ηλεκτρικού σε μια φορητή μονάδα. Βασικά ένα πολύμετρο μετράει τάση, ένταση και αντιστάσεις. Εξελιγμένα μοντέλα μπορούν να μετρούν θερμοκρασία, επαγωγή, χωρητικότητα και συχνότητα. Μπορούν επίσης να δέχονται υπό δοκιμή διόδους και τρανζίστορ. Οι δύο βασικοί τύποι πολυμέτρου είναι τα ψηφιακά και τα αναλογικά.

Σχήμα 44: Αναλογικό και ψηφιακό πολύμετρο.

Μέρη ενός πολύμετρο.

Ένα πολύμετρο έχει τα τερματικά, τους ανιχνευτές και ένα διακόπτη για να επιλέξετε διάφορες κλίμακες μέτρησης. Ένα ψηφιακό πολύμετρο έχει μια αριθμητική ψηφιακή οθόνη, ενώ το αναλογικό έχει οθόνη με δείκτη. Μέσα στο πολύμετρο, τα τερματικά είναι συνδεδεμένα με διαφορετικές αντιστάσεις, ανάλογα με την έκταση που επιλέγονται. Ιδανικά, ένα βολτόμετρο θα πρέπει να έχει άπειρη αντίσταση, έτσι ώστε να μην υπάρχει τρέχουσα ροή ρεύματος μέσω αυτής και το αμπερόμετρο θα πρέπει να έχει μηδενική αντίσταση ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη τρέχουσα ροή μέσα από αυτό. Ωστόσο, πάντα θα υπάρχει κάποια ανακρίβεια λόγω της ανθεκτικότητας.

Ψηφιακό έναντι Αναλογικού.

Ένα ψηφιακό πολύμετρο έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα αναλογικό. Σε ένα αναλογικό πολύμετρο, ο χρήστης καλείται να κρίνει τη θέση της βελόνας σε σχέση με την μηδενική θέση. Αυτό οδηγεί σε λάθη μέτρησης, τα οποία ένα ψηφιακό πολύμετρο δεν έχει.. Τα ψηφιακά πολύμετρα μειώνουν τα σφάλματα που προκαλούνται από την ανάγνωση μιας τιμής στην οθόνη.

Ακροδέκτες.

Τα πολύμετρα έχουν ένα θετικό (χρώματος κόκκινου) ακροδέκτη και ένα αρνητικό (μαύρο χρώματος) ακροδέκτη. Μπορούν μόνο να «διαβάσουν» ηλεκτρικά σήματα. Ως εκ τούτου, τα άλλα σήματα μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα, χρησιμοποιώντας ένα ακροδέκτη μετατροπέα. Υπάρχουν και άλλοι ανιχνευτές για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, το φως και το pH. Πολλά πολύμετρα έχουν αντί για ακροδέκτες μια «δαγκάνα» μετρητή.

Ασφάλεια.

Τα πολύμετρα έχουν τέσσερις ασφάλειες των ειδικοτήτων (CAT-1 έως CAT-4). Είναι σημαντικό ότι η τάση και το ρεύμα δεν υπερβαίνουν το καθορισμένο ανώτατο επίπεδο. Η υπερφόρτωση μπορεί να καταστρέψει το μετρητή. Το βασικό είναι ότι τα φθηνά πολύμετρα CAT-1, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για δοκιμές υψηλής τάσης. Ελέγχετε πάντα γύρω από τη μόνωση των ακροδεκτών για τυχών φθορές πριν χρησιμοποιήσετε το πολύμετρο.

Αντιμετώπιση προβλημάτων.

- Έλεγχος της εσωτερικής μπαταρίας.
- Ελέγξτε τους ακροδέκτες, αν είναι στη σωστή υποδοχή.
- Ελέγξτε ότι η ρύθμιση είναι σωστή, δεδομένου ότι ένα συνηθισμένο λάθος που κάνουν πολλοί είναι να προσπαθούν να διαβάσουν τάση AC σε DC φάσμα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.

Α) Σκοπός της πειραματικής αυτής άσκησης είναι η εξοικείωση με τα όργανα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών και η επαλήθευση του νόμου του Ohm.

Β) Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν στο εν λόγω πείραμα είναι:
i) Αμπερόμετρο.
ii) Βολτόμετρο συνεχούς ρεύματος.
iii) Πολύμετρο.
iv) Διάφορες αντιστάσεις.
v) Μεταβλητή αντίσταση.
vi) Πηγές συνεχούς ρεύματος.
vii) Καλώδια σύνδεσης.

Γ) i) Μετρήστε με τη βοήθεια του πολυμέτρου τις αντιστάσεις που σας παρέχονται καθώς και την τάση της πηγής.
ii) Συνδέστε κάθε αντίσταση με την πηγή ρεύματος και χρησιμοποιώντας το πολύμετρο ως αμπερόμετρο μετρήστε την ένταση ρεύματος που διαρρέει κάθε μια από αυτές.
iv) Δώστε τα αποτελέσματα σε πίνακα ο οποίος να εμπεριέχει και τα σφάλματα μετρησης. Με την βοήθεια του πίνακα σχεδιάστε την παράσταση $I = f(1/R)$. Από την κλίση της παράστασης προσδιορίστε την τάση της πηγής. Αιτιολογήστε τυχών αποκλίσεις από την τιμή που μετρήσατε με το πολύμετρο.
iv) Συνδέστε την μεταβλητή αντίσταση στο άνωθεν κύκλωμα. Μετρήστε την ένταση του ρεύματος για δέκα (10) διαφορετικές θέσεις του δρομέα καθώς και το εκάστοτε μήκος της αντίστασης. Μετρήστε την τάση της πηγής. Μετρήστε το ολικό μηκος της αντίστασης. Φτιάξτε κατάλληλο πίνακα για τις μετρήσεις σας και από αυτον προσδιορίστε την εκάστοτε αντίσταση. Φτιάξε διάγραμμα της συνάρτησης $R = f(\ell)$. Προσδιορίστε τον παράγοντα αναλογίας των δυο μεγεθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

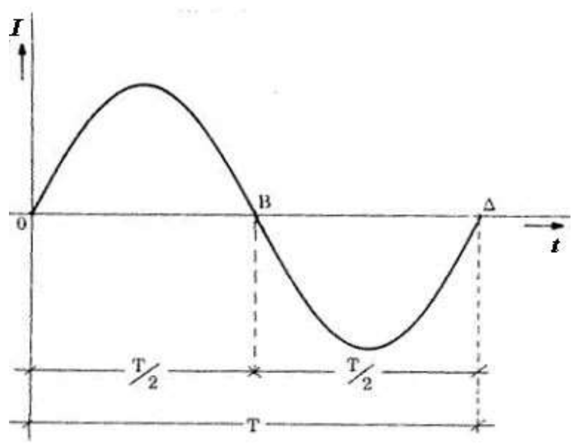
ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Εναλλασσόμενο ρεύμα (τάση) είναι περιοδικά μεταβαλλόμενο ρεύμα (τάση) σε συνάρτηση με το χρόνο.
Στην περίπτωση του εναλλασσόμενου ρεύματος δεν μιλάμε για τιμή έντασης, αλλά για στιγμιαία τιμή έντασης. Αυτό γιατί την κάθε χρονική στιγμή η τιμή της έντασης του ρεύματος είναι διαφορετική. Τη στιγμιαία τιμή έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος τη συμβολίζουμε με το γράμμα I και δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

όπου, dq = η στιγμιαία τιμή του αριθμού των κινούμενων ηλεκτρικών φορτίων.
dt = το στιγμιαίο χρονικό διάστημα που διαρκεί το φαινόμενο.

Στην ενεργειακή θεώρηση των ηλεκτρικών μηχανών αλλά και γενικότερα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, σημασία έχουν μόνο τα ημιτονοειδή μεγέθη (υπό μονοφασική ή τριφασική μορφή). Η μορφή του εναλλασσόμενου ρεύματος ακολουθώντας την ημιτονική συνάρτηση είναι:



Σχήμα 45: Αναπαράσταση της έντασης εναλλασσόμενου ρεύματος συναρτήση του χρόνου.

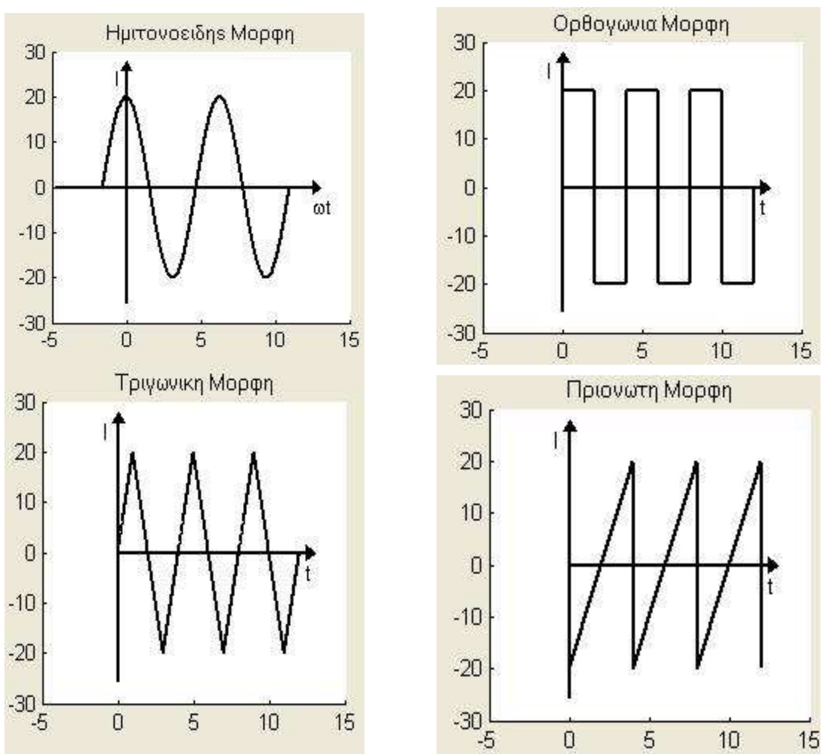
Περίοδος (T) : Περίοδος του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη εναλλαγή του φαινόμενου. Χωρίζεται σε δύο ημιπεριόδους: τη θετική, που, αντιστοιχεί στο χρόνο που αναφέρεται στο τμήμα ΟΒ, και την αρνητική, που αντιστοιχεί στο χρόνο που αναφέρεται στο τμήμα ΒΔ.

Συχνότητα (f) : Συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ο αριθμός που μας δείχνει πόσες φορές μεταβάλλεται το φαινόμενο στη μονάδα του χρόνου. Επειδή, η συχνότητα μας δείχνει τον αριθμό των μεταβολών στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή των αριθμό των περιόδων στη μονάδα του χρόνου, ο χρόνος της μιας περιόδου είναι το αντίστροφο της συχνότητας. Επειδή ακόμη το φαινόμενο πραγματοποιείται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω , διαγράφονται σε ίσα χρονικά διαστήματα t, ίσες γωνίες περιστροφής φ. Τα μεγέθη αυτά συνδέονται με τη σχέση:

$$\phi = \omega \cdot t \quad T = \frac{1}{f} \;,\; \phi = \omega \cdot t$$

Η γωνία φ λέγεται γωνία φάσης ή φάση του εναλλασσόμενου μεγέθους.

Την γωνιακή ταχύτητα ω που ουσιαστικά δείχνει τη μεταβολή της φάσης του εναλλασσόμενου μεγέθους σε κάποιο χρονικό διάστημα το ονομάζουμε και κυκλική συχνότητα και την μετράμε σε ακτίνια (rad) ανά δευτερόλεπτο (sec), (rad/sec). Οι σπουδαιότερες μορφές εναλλασσόμενου ρεύματος εμφανίζονται στα παρακάτω σχήματα :



Σχήμα 46: Οι σπουδαιότερες μορφές εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα εναλλασσόμενα μεγέθη, όπως προειπώθηκε, μεταβάλλονται χρονικά. Επομένως, δεν υπάρχει σταθερό μέτρο διανύσματος τους. Αυτό όμως μας δημιουργεί πρόβλημα μέτρησης τους, το οποίο λύνεται με τη χρησιμοποίηση μεγεθών σταθερής τιμής που επιφέρουν ίδια αποτελέσματα. Τα σταθερά αυτά χρονικά μεγέθη ονομάζονται ενεργές τιμές .

Ενεργός τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η ένταση εκείνη του συνεχούς ρεύματος που αν περάσει μέσα από την ίδια κατανάλωση, στο ίδιο χρονικό διάστημα, δίνει τα ίδια αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο ρεύμα.

Συμβολίζεται με το γράμμα Ι. Εξορισμού , η ενδεικτική (ενεργός) τιμή ενός περιοδικού μεγέθους είναι ίση προς τη μέση τετραγωνική τιμή αυτού. Συνεπώς η ενεργός τιμή του ρεύματος ορίζεται από τη σχέση:

$$I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Ομοίως για την ενεργή τιμή της εναλλασσόμενης τάσης ισχύει:

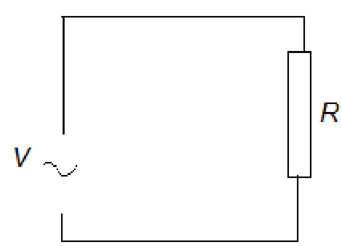
$$V_{rms} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Ο νόμος του Ohm ισχύει και στο εναλλασσόμενο ρεύμα με τη μορφή:

$$V_{\max} = I_{\max} R$$

Κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος.

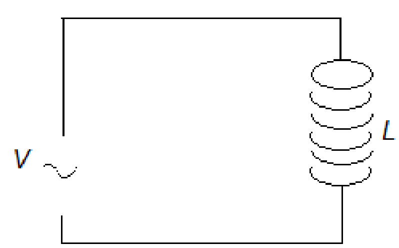
Α) Σύνδεση πηγής με ωμική αντίσταση.



$$V = V_{\max}\eta\mu\omega t$$
$$I = I_{\max}\eta\mu\omega t$$
$$R = \frac{V_{\max}}{I_{\max}}$$

Η τάση στα άκρα της αντίστασης και η ένταση του ρεύματος είναι μεγέθη ομοφασικά.

Β) Σύνδεση πηγής με πηνίο.

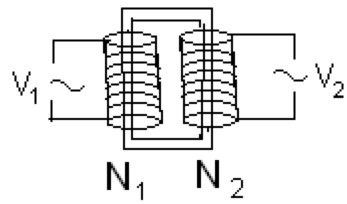


$$I = I_{\max}\eta\mu\omega t$$
$$V = L\frac{dI}{dt} = \omega L I_{\max}\eta\mu\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$X_L = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \omega L$$

Η τάση στα άκρα του πηνίου προηγείται κατά π/2 της έντασης του ρεύματος.

Μετασχηματιστές.

Οι μετασχηματιστές μπορούν να αυξάνουν ή να ελαττώνουν την τάση του ρεύματος. Αποτελούνται από δυο πηνία που συνδέονται με έναν κοινό πυρήνα σιδήρου τετραγωνικού σχήματος.



Σχήμα 47: Μετασχηματιστής.

Τα δυο πηνία αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό σπειρών. Η τάση V_1 που αναπτύσσεται είναι $V_1 = -N_1 \frac{d\Phi_m}{dt}$ όπου Φ_m η μαγνητική ροή που διαπερνά την κάθε σπείρα του πηνίου. Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν διαρροές έξω από τον μαγνητισμένο πυρήνα σιδήρου, η ίδια μαγνητική ροή διαπερνά και την κάθε σπείρα του δεύτερου πηνίου. Άρα $V_2 = -N_2 \frac{d\Phi_m}{dt}$. Εξισώνοντας τις μαγνητικές ροές καταλήγουμε στη σχέση: $\boxed{\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}}$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

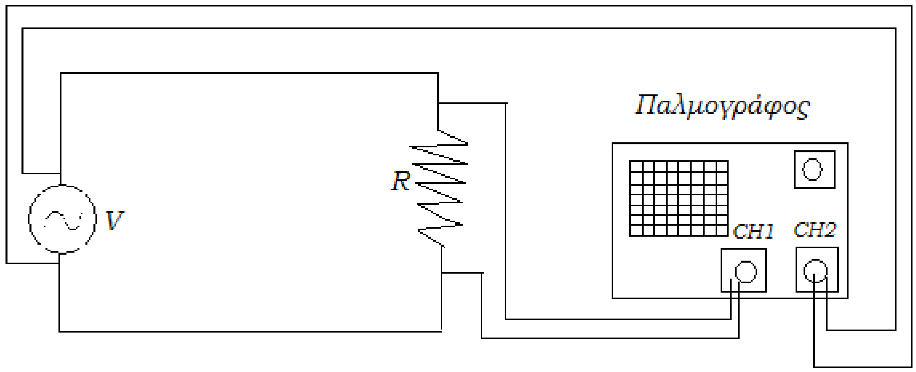
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ. ΓΙΑ ΝΑ ΑΛΛΑΞΕΤΕ ΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΠΟΣΥΝΔΕΣΤΕ ΤΟ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.

Α) Σκοπός του εν λόγω πειράματος είναι η εξοικείωση με το εναλλασσόμενο ρεύμα, η κατανόηση της έννοιας της διαφοράς φάσης, η επαλήθευση του νόμου του Ohm και η κατανόηση της λειτουργίας των μετασχηματιστών.

Β) Τα απαραίτητα για την τέλεση του πειράματος όργανα είναι:

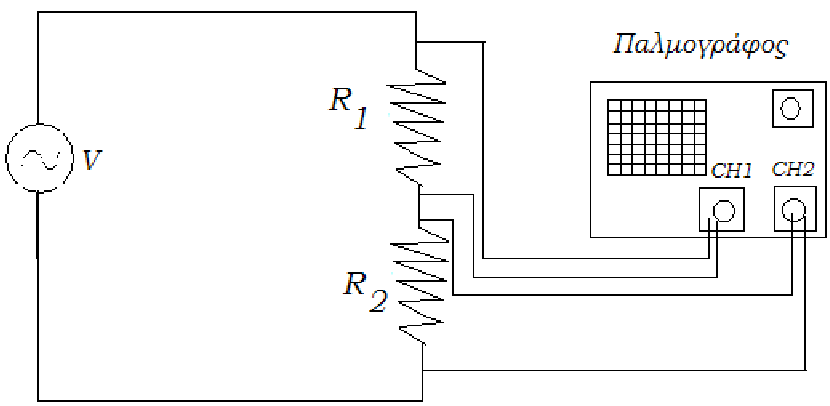
i) Πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.
ii) Καθοδικός παλμογράφος.
iii) Ωμικές αντιστάσεις.
iv) Μεταβλητή αντίσταση.
vi) Πηνίο.
vii) Καλώδια σύνδεσης.
viii) Μετασχηματιστές.

Γ) i) Χρησιμοποιήστε την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος 6 V και συνδέστε την με ωμική αντίσταση 100 Ω. Συνδέστε την πηγή ρεύματος στο ένα κανάλι του παλμογράφου και τα άκρα της αντίστασης στο άλλο. Σχεδιάστε τις κυματομορφές που παρατηρείτε. Θέστε τον παλμογράφο στο DUAL και υπολογίστε τη διαφορά φάσης ανάμεσα στις δυο τάσεις.



Σχήμα 48: Σύνδεση πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος με ωμική αντίσταση.

ii) Συνδέστε την ίδια πηγή με δυο εν σειρά αντιστάσεις. Η μια 100Ω και η άλλη 220Ω. Συνδέστε το ένα κανάλι του παλμογράφου στην μια αντίσταση και το άλλο κανάλι Στην άλλη. Σχεδιάστε τις κυματομορφές. Υπολογίστε την μέγιστη τιμή του πλάτους και την συχνότητά τους. Τι παρατηρείτε σε σχέση με την τάση στα άκρα της πηγής που σχεδιάσατε στο πρώτο ερώτημα;



Σχήμα 49: Εναλλασσόμενη πηγή ρεύματος και δυο αντιστάσεις εν σειρά.

iii) Συνδέστε την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος 6V με ωμική αντίσταση 100Ω. Μετρήστε την τάση στα άκρα της αντίστασης με την βοήθεια του παλμογράφου και την ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει με τη βοήθεια ενός πολυμέτρου. Επαναλάβετε τις μετρήσεις για άλλες 6 αντιστάσεις (μετράτε την τιμή τους με το πολύμετρο). Καταγράψτε τις τιμές σε πίνακα ανάλογο με τον κάτωθι, και σχεδιάστε τη παράσταση I = f(1/R). Επαληθεύστε από τη γραφική παράσταση το νόμο του Ohm.

α/α	**I (A)**	**R (Ω)**	**1/R ($Ω^{-1}$)**
1			
2			
…..			

iv) Συνδέστε το μικρό μετασχηματιστή με την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Με το πολύμετρο μετρήστε την τάση στην έξοδό του. Υπολογίστε το λόγο των σπειρών N_1/N_2 του μετασχηματιστή. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με τον μεγάλο μετα-Σχηματιστή.

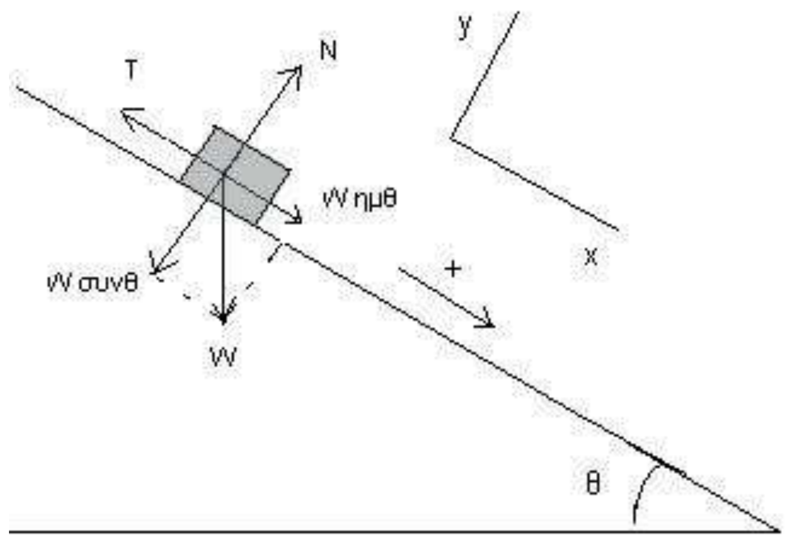
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Newton η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα είναι ανάλογη της μάζας του και της επιτάχυνσης που αυτό αποκτά.

$$\Sigma F = ma$$

Στην περίπτωση που ένα σώμα με ομοιόμορφη κατανομή μάζας κινείται σε ένα κεκλιμένο επίπεδο, οι δυνάμεις που ασκούνται επάνω του είναι το βάρος του W, η κάθετη από το έδαφος δύναμη N και η τριβή T.



Σχήμα 50: Ανάλυση δυνάμεων κατά την ολίσθηση σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο.

Το σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως υλικό σημείο (θεωρούμε ότι όλη η μάζα του είναι συγκεντρωμένη στο κέντρο μάζας του). Συνεπώς οι δυνάμεις που ασκούνται επάνω του έχουν σημείο εφαρμογής το κέντρο μάζας του. Το βάρος W μπορεί να αναλυθεί σε δυο συνιστώσες. Μια κάθετη στο κεκλιμένο επίπεδο με μέτρο Wημθ και φορά αυτή που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, και μια παράλληλη με το κεκλιμένο επίπεδο με μέτρο Wσυνθ. Το σώμα κινείται μόνο κατά την φορά του κεκλιμένου επιπέδου και όχι στο κάθετο προς αυτό επίπεδο. Συνεπώς:

$$W\sigma\upsilon\nu\theta - \mathrm{N} = 0 \text{ και } \mathrm{W}\eta\mu\theta - \mathrm{T} = ma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow mg\eta\mu\theta - \mathrm{T} = ma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{g\eta\mu\theta - \frac{T}{m} = a}$$

Επίσης είναι γνωστό ότι στην ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση το διάστημα χ που διανύει το κινητό είναι:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}at^2$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός του πειράματος είναι η μέτρηση της επιτάχυνσης κινούμενου σώματος και ο υπολογισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας.

Β) Απαραίτητα όργανα για την τέλεση του πειράματος είναι:
i) Ράγα ολίσθησης.
ii) Βάση στήριξης ράγας ολίσθησης.
iii) Αμαξίδιο.
iv) Χρονόμετρο.
v) Μετροταινία.

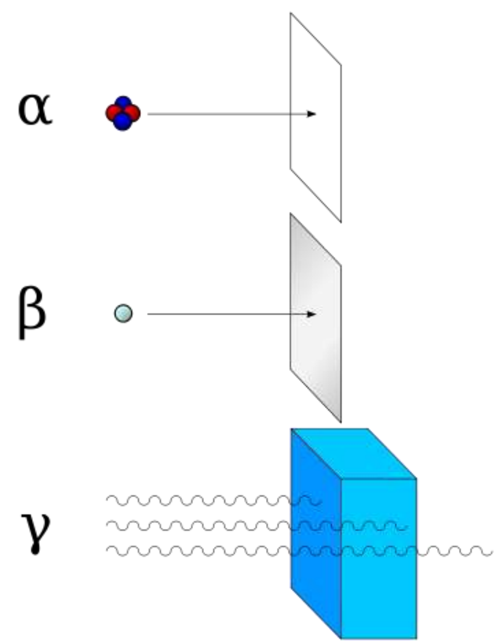
Γ) i)Τοποθετήστε το κεκλιμένο επίπεδο ώστε να έχει τη μέγιστη κλίση. Προσδιορίστε με κατάλληλες μετρήσεις τα ημθ και συνθ. Μετρήστε την μάζα του κινητού.
ii) Τοποθετήστε το κινητό στην αρχή του κεκλιμένου επιπέδου και αφήστε το να ολισθήσει. Μετρήστε την απόσταση χ που διέτρεξε και τον χρόνο t της κίνησης. Επαναλάβετε 10 φορές την διαδικασία μετρώντας τους αντίστοιχους χρόνους. Υπολογίστε την μέση τιμή του t καθώς και το σφάλμα της.
iii) Επαναλάβετε το ii) για τουλάχιστον 10 ακόμα διαφορετικά χ.
iv) Κάντε την γραφική παράσταση $x = f\left(\bar{t}^{\,2}\right)$. Υπολογίστε από αυτή την γραφική παράσταση την επιτάχυνση του κινητού μαζί με το σφάλμα της.
v) Αλλάξτε κλίση στο κεκλιμένο επίπεδο και επαναλάβετε τα προηγούμενα.
vi) Υπολογίστε από τα ερωτήματα iv) και v) την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας.
vii) Δικαιολογήστε τυχών αποκλίσεις από την θεωρητική τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας.
viii) Ποια η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σε κάθε περίπτωση στο κινητό;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Με τον γενικό όρο ραδιενέργεια χαρακτηρίζεται το φαινόμενο της εκπομπής σωματιδίων ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τους πυρήνες ορισμένων χημικών στοιχείων, που γι' αυτό το λόγο ονομάζονται ραδιενεργά. Από τα περίπου 2500 νουκλίδια που είναι γνωστά στην επιστήμη, λιγότερα από 300 είναι ραδιενεργά.

Τα άτομα των ραδιενεργών στοιχείων φέρουν ασταθείς πυρήνες. Τούτο σημαίνει πως αυτοί μπορούν να διασπασθούν αυθόρμητα, απελευθερώνοντας πυρηνική ακτινοβολία, που συνήθως λέγεται ακτινοβολία. Η ακτινοβολία συνίσταται σε σωματίδια άλφα (ή α-κτίνες α), σωματίδια βήτα (ή ακτίνες β) και ακτινοβολία γάμμα (ή ακτίνες γ). Η ακτινοβολία γάμμα φέρει συνήθως την περισσότερη ενέργεια από τα προϊόντα των ραδιενεργών διασπάσεων. Γενικά όλα τα προϊόντα της διάσπασης μπορεί να αποδειχτούν επικίνδυνα για την ισορροπία της λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού. Ο πυρήνας του ατόμου του ραδιενεργού στοιχείου εκπέμποντας ακτίνες α ή β μεταστοιχειώνεται, δηλαδή υφίσταται αλλαγή στον ατομικό του αριθμό, οπότε ο πυρήνας που εξέπεμψε το σωματίδιο άλφα ή βήτα, μετατρέπεται σε πυρήνα κάποιου άλλου χημικού στοιχείου.



Σχήμα 51: Διαπερατότητα ραδιενεργών ακτίνων α, β, γ. Τα σωματίδια α δεν διαπερνούν πέτασμα από χαρτί, τα σωματίδια β δεν διαπερνούν πέτασμα από αλουμίνιο και τα σωματίδια γ δεν διαπερνούν πέτασμα από μόλυβδο πάνω από ορισμένο πάχος μέτρων.

Η ακτινοβολία α

Είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες και μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Το σωματίδιο α είναι σχετικά βαρύ σωμάτιο διότι αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, (είναι δηλαδή πυρήνας του στοιχείου ηλίου, τέσσερις φορές βαρύτερο του πυρήνα του υδρογόνου), και μεταφέρει σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο (+2). Όταν τα σωματίδια α, προσβάλλουν την ύλη, λόγω των προαναφερθέντων φυσικών ιδιοτήτων τους, επιβραδύνονται έντονα διότι αλληλεπιδρούν με τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά πεδία που περιβάλλουν τα άτομα, με αποτέλεσμα την άμεση απορρόφησή τους στα πρώτα κιόλας ελάχιστα πάχη του υλικού που συναντούν. Η ακτινοβολία "α" χαρακτηρίζεται από υψηλό LET και είναι δυνατόν να αποκοπεί πλήρως από ένα και μόνο λεπτό φύλλο χαρτιού.

Η ακτινοβολία β

Είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες ή μπορεί να παραχθεί σε επιταχυντές σωματιδίων. Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια, με μικρή μάζα (7000 φορές περίπου ελαφρύτερη από αυτήν των σωματίων α), και φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο (+1 ή -1, τα θετικά ηλεκτρόνια καλούνται ποζιτρόνια). Οι φυσικές αυτές ιδιότητες επιτρέπουν στην ακτινοβολία β να διεισδύει στην ύλη με μεγαλύτερη ευκολία και να διανύει σημαντικά μεγαλύτερη διαδρομή από ότι η ακτινοβολία α και συνεπώς χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλότερο LET (Linear Energy Transfer). Μερικά χιλιοστά plexiglass είναι ικανά να αποκόψουν την ακτινοβολία β.

Η ακτινοβολία γ

Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, που συνοδεύει τις ραδιενεργές διασπάσεις των πυρήνων. Δεν έχει μάζα και δε μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι η διέλευσή της μέσα από τα πλέγματα των ατόμων της ύλης δεν παρακωλύεται ενώ η πιθανότητά της να αλληλεπιδράσει με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες των ατόμων είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς είναι διεισδυτική ακτινοβολία χαμηλού LET και αποκόπτεται δύσκολα. Συνήθως για την προστασία μας από αυτήν κατά τις ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται μόλυβδος ή σκυρόδεμα το πάχος των οποίων εξαρτάται από την ενέργεια και την ένταση της ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία Χ

Είναι και αυτή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια) υψηλής ενέργειας, της ίδιας φύσης με την ακτινοβολία γ, αλλά διαφορετικής προέλευσης. Παράγεται στις ηλεκτρονικές στιβάδες των ατόμων (χαρακτηριστική ατομική ακτινοβολία), ή σε στόχους επιβράδυνσης ταχέως κινουμένων φορτισμένων σωματιδίων (ακτινοβολία πέδης) σε ειδικές για το σκοπό αυτό διατάξεις (λυχνίες ακτίνων-Χ, επιταχυντές σωματίων). Η ακτινοβολία Χ παρουσιάζει τις ίδιες βασικές φυσικές ιδιότητες με την ακτινοβολία γ σε ό,τι αφορά τη διεισδυτικότητά της.

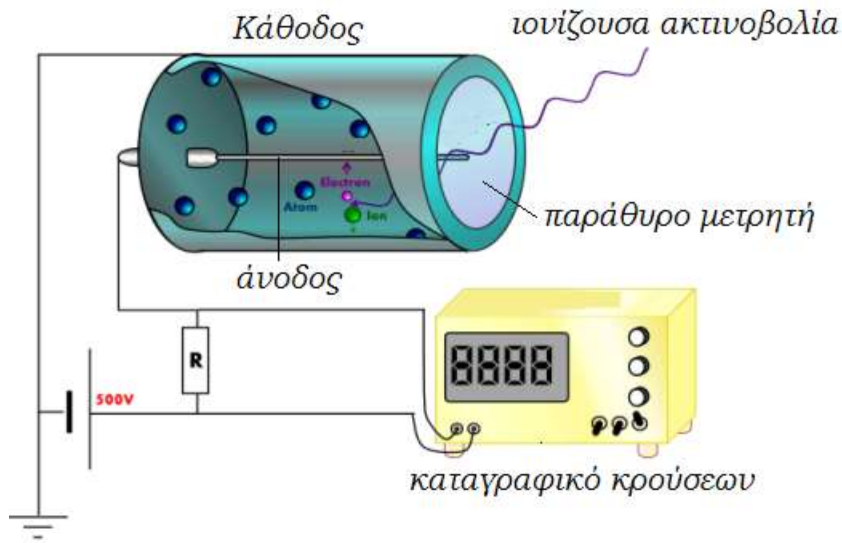
Μετρήσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον απαριθμητή GEIGER –MULLER.

Ακτινοβολία υποβάθρου.

Με τον όρο «ακτινοβολία υποβάθρου» εννοούμε το χαμηλότερο επίπεδο ακτινοβολίας που μπορούμε να μετρήσουμε σε μια περιοχή. Είναι η ακτινοβολία που οφείλεται στα ραδιενεργά υλικά που υπάρχουν στο περιβάλλον (έδαφος, οικοδομικά υλικά, ξύλα, τρόφιμα, αέρας κλπ.), στους ιστούς μας και στην κοσμική ακτινοβολία. Τα επίπεδά της μπορούν να ποικίλουν πολύ. Η ακτινοβολία του εδάφους εξαρτάται από τη γεωλογική σύστασή των πετρωμάτων κάθε περιοχής, λόγου χάρη, όσοι ζουν σε περιοχές με πετρώματα από γρανίτη δέχονται περισσότερη ακτινοβολία, ενώ όσοι ζουν ή εργάζονται σε μεγάλο υψόμετρο περισσότερη κοσμική ακτινοβολία (το μεγαλύτερο ποσοστό έκθεσή μας οφείλεται στο ραδόνιο, ένα αέριο που διαρρέει από το έδαφος και είναι παρόν στον αέρα που αναπνέουμε).

Μετρητής Geiger-Muller.

Ο απαριθμητής Geiger-Muller ελέγχει, μετρά και ειδοποιεί για τα επίπεδα ραδιενέργειας. Αποτελείται από ένα μεταλλικό κύλινδρο που περιέχει αέριο σε χαμηλή πίεση και από μια συσκευή απαρίθμησης. Κατά μήκος του άξονα του κυλίνδρου υπάρχει ένα λεπτό ευθύγραμμο σύρμα, ενώ το μπροστινό τμήμα του κυλίνδρου κλείνεται με μια λεπτή μεμβράνη (παράθυρο). Μια υψηλή τάση διατηρείται μεταξύ του σωλήνα και του σύρματος. Έτσι, όταν ένα σωματίδιο α ή β ή ακτινοβολία γ περνά από το παράθυρο του ανιχνευτή, ιοντίζει τα άτομα αερίου κατά μήκος της πορείας του και προκαλεί μια αλυσίδα ιοντισμών που κάνει προσωρινά ηλεκτρικά αγώγιμο το αέριο. Τότε, ένας ηλεκτρικός παλμός καταγράφεται στη συσκευή απαρίθμησης (και αν η συσκευή φέρει βομβητή, εκπέμπεται ηχητικό σήμα κάθε φορά που καταγράφεται παλμός). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για να λειτουργήσει ο Geiger – Muller ως απαριθμητής πρέπει η τάση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια να είναι αρκετά υψηλή, ώστε η δύναμη που θα ασκηθεί στα παραγόμενα ηλεκτρικά φορτία να τα αποτρέψει από επανασύνδεση πριν προλάβουν να φτάσουν στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια και ο δημιουργούμενος ηλεκτρικός παλμός θα έχει μέγιστη τιμή μεγαλύτερη από μια προκαθορισμένη τιμή (τάση κατωφλίου). Στις χαμηλές λοιπόν τάσεις το φαινόμενο της επανασύνδεσης μπορεί να εμποδίσει την ικανότητα ανίχνευσης σωματιδίων. Καθώς αυξάνεται η τάση τα παραγόμενα ηλεκτρόνια αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και προκαλούν καινούριους ιονισμούς. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί πολλαπλασιασμό των παραγόμενων ηλεκτρικών φορτίων (φαινόμενο χιονοστιβάδας), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία ηλεκτρικού παλμού ο οποίος είναι ικανός να ανιχνευθεί. Η εφαρμογή ακόμα μεγαλύτερης τάσης πρέπει να αποφεύγεται γιατί τότε η δύναμη που θα ασκηθεί στα ηλεκτρόνια των ατόμων του αερίου μπορεί να προκαλέσει την αποκόλλησή τους και τη δημιουργία ηλεκτρικού παλμού, χωρίς την ύπαρξη ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Κάτι τέτοιο οδηγεί και στην καταστροφή του ανιχνευτή. Η περιοχή τάσεων λειτουργίας ενός ανιχνευτή Geiger - Muller ονομάζεται και περιοχή πλατό του ανιχνευτή. Ο απαριθμητής Geiger - Muller δεν αναγνωρίζει το είδος της ακτινοβολίας που τον διαπερνά.



Σχήμα 52: Απαριθμητής Geiger - Muller

Ενεργότητα.

Η μονάδα με την οποία μετρούμε τη χαρακτηριστική ραδιενέργεια φυσικών και άλλων υλικών, δηλαδή την ενεργότητα του δείγματος, είναι το μπεκερέλ (becquerel, Bq). Ένα μπεκερέλ ισούται με τη διάσπαση ενός πυρήνα σε ένα δευτερόλεπτο. Για παράδειγμα, η ενεργότητα 1kg γρανίτη είναι 1000 Bq (όση κι 1kg καφέ), ενώ 1kg ουρανίου είναι 25 εκατομμύρια Bq. Η ενεργότητα της ακτινοβολίας υποβάθρου ποικίλει από περίπου 10 διασπάσεις σε ένα λεπτό στην επιφάνεια του εδάφους (0+ m) έως περίπου 400 διασπάσεις σε ένα λεπτό σε ύψος 10 km.

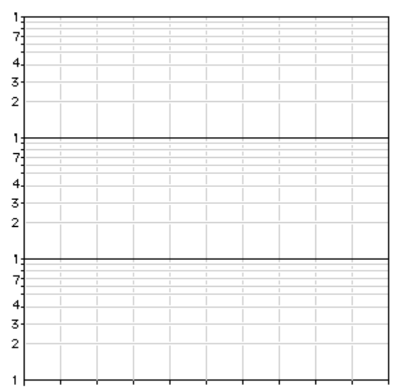
Πηγές εργαστηρίου.

- Πηγή Ραδίου (^{226}Ra). Φέρει κηλίδα κόκκινου χρώματος και η ενεργότητά της είναι 5μCi. Ο χρόνος ημισείας ζωής της είναι 1620 χρόνια και εκπέμπει ακτινοβολίες α, β, γ διαφορετικών ενεργειών.
- Πηγή Στροντίου (^{90}Sr). Γνωστό στο ευρύ κοινό από το δυστύχημα του Τσερνόμπιλ που το απελευθέρωσε σε τεράστιες ποσότητες στο περιβάλλον, το στρόντιο-90 αποτελεί ένα από τα πλέον επιβλαβή υποπροϊόντα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα. Εκπέμπει υψηλή ραδιενέργεια Βήτα και είναι, όπως λέγεται, μακράς ζωής, παραμένοντας ενεργό επί δεκαετίες: η «ημιζωή» του, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να αποσυντεθούν τα μισά ραδιενεργά άτομά του, ανέρχεται σε 28,8 χρόνια, ενώ η διάρκεια της πλήρους αποσύνθεσής του φθάνει στα 96 έτη. Συμπεριφέρεται όπως το ασβέστιο, με αποτέλεσμα να δεσμεύεται κυρίως στα οστά, καταστρέφοντας την οστική μάζα και τον μυελό των οστών, ενώ επιδρά επίσης στα λεμφοκύτταρα, επηρεάζοντας μακροπρόθεσμα το ανοσοποιητικό σύστημα. Η πηγή που διαθέτει το εργαστήριο είναι αμελητέας μάζας και ακίνδυνη για την υγεία του προσωπικού και των φοιτητών.

- Πηγή Αμερίκιου (^{241}Am). Φέρει μαύρη κουκίδα και έχει χρόνο ημίσειας ζωής ίσο με 458 χρόνια. Εκπέμπει κυρίως α σωμάτια ενέργειας 5,44 με 5,48MeV καθώς και ακτίνες γ ενέργειας 0,026 με 0,060MeV. Μετά από α-διάσπαση (ακτινοβολία που απορροφάται από το περίβλημα της πηγής) εκπέμπει ακτινοβολία X και α-κτινοβολία γ. Η ακτινοβολία γ των 60KeV είναι η κυρίως εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Το αμερίκιο-241 χρησιμοποιείται ως πηγή ακτιβολίας γ για μετρήσεις πυκνότητας των ρευστών, σε μετρητές καυσίμων καθώς επίσης για την παρασκευή του κιουρίου-244.

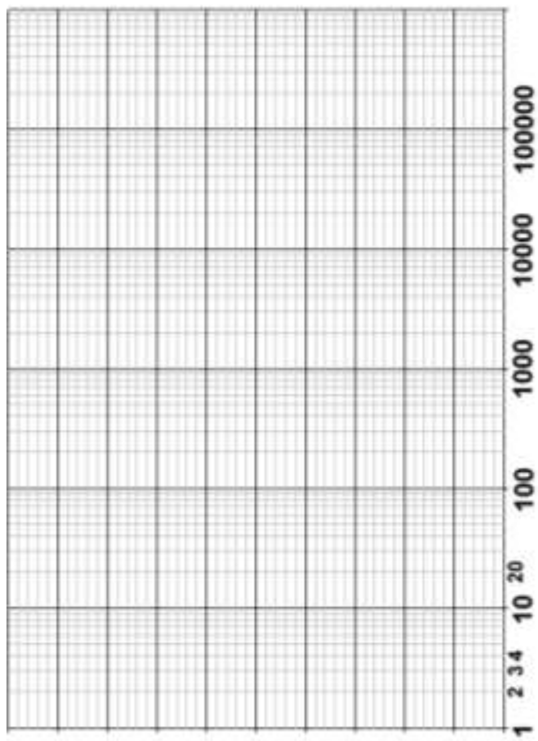
Ημιλογαριθμικό χαρτί.

Μερικές φορές είναι δύσκολο να γίνει λογαριθμοποίηση των τιμών. Έτσι χρησιμοποιούμε έναν πρόσθετο τύπο εγγράφου γραφικών παραστάσεων που κάνει αυτό αυτόματα. Ένα φύλλο αυτού του εγγράφου παρουσιάζεται εδώ. Παρατηρήστε ότι έχει μια γραμμική κλίμακα οριζόντια αλλά μια λογαριθμική κλίμακα κάθετα. Το χαρτί αυτό ονομάζεται ημιλογαριθμικό. Παρατηρήστε ότι η κάθετη κλίμακα πηγαίνει από 1 έως 10. Αυτό το έγγραφο καλείται «ημιλογαριθμικό έγγραφο ενός κύκλου». Η σημασία αυτού του ονόματος θα γίνει προφανής παρακάτω. Παρουσιασμένο εδώ είναι αυτό που είναι γνωστό ως έγγραφο γραφικών παραστάσεων 3 κύκλων. Θα παρατηρήσετε ότι ο κάθετος άξονας είναι πολύ ιδιαίτερος όπως οι αριθμοί ανεβαίνουν μόνο από 1 έως 9 και αρχίζει όλων με 1 πάλι, επανειλημμένως. Αυτό είναι επειδή οι αποστάσεις δείχνουν τις λογαριθμικές αποστάσεις, και δεν υπάρχει σημείο του μηδενός!



Σχήμα 53: Ημιλογαριθμικό έγγραφο3 κύκλων.

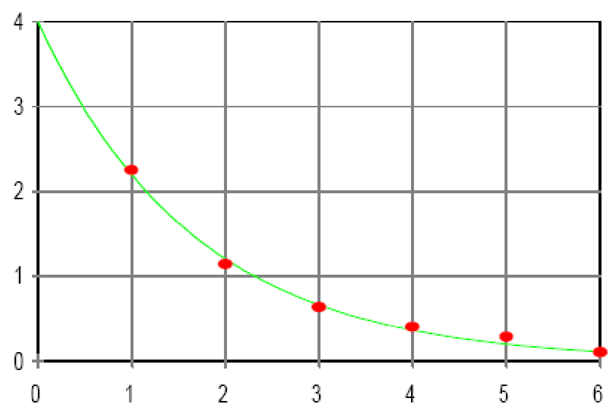
Έχει γίνει σαφές ότι πολλοί σπουδαστές δεν ξέρουν πώς να ονομάσουν και να χρησιμοποιήσουν το άνωθεν έγγραφο γραφικών. Δεν υπάρχει τίποτα δύσκολο σε αυτό. Το μόνο πράγμα που πρέπει να θυμηθείτε είναι ότι ο λογαριθμικός άξονας τρέχει στους εκθετικούς κύκλους. Κάθε κύκλος τρέχει γραμμικά 10 αλλά η αύξηση από έναν κύκλο σε άλλος είναι μια αύξηση από έναν παράγοντα 10. Έτσι μέσα σε έναν κύκλο θα είχατε μια σειρά: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 (αυτό μπόρεσε επίσης να είναι 1-10, ή 0.1-1, κ.λπ.). Ο επόμενος κύκλος αρχίζει πραγματικά με 100 και προχωρεί ως 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000. Ο κύκλος μετά το 1000, θα είναι το 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000. Παρακάτω δίνεται ένα σχήμα ημιλογαριθμικού χαρτιού με 6 κύκλους.



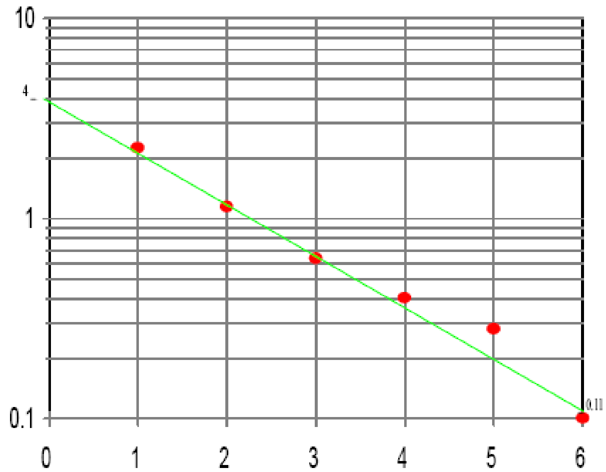
Σχήμα 54: Ημιλογαριθμικό έγγραφο 6 κύκλων.

Παρακάτω δίνετε ένα παράδειγμα:
Συγκέντρωση ενός φαρμάκου στο αίμα σε σχέση με το ρυθμό μεταβολισμού του.

Time (hours)	Conc. (mg/cc)
1	2.25
2	1.143
3	0.63
4	0.396
5	0.279
6	0.09



Σχήμα 55: Γραφική παράσταση σε χιλιοστομετρικό χαρτί.



Σχήμα 56: γραφική παράσταση των τιμών σε ημιλογαριθμικό χαρτί. Κ κλίση δίνεται από τη σχέση

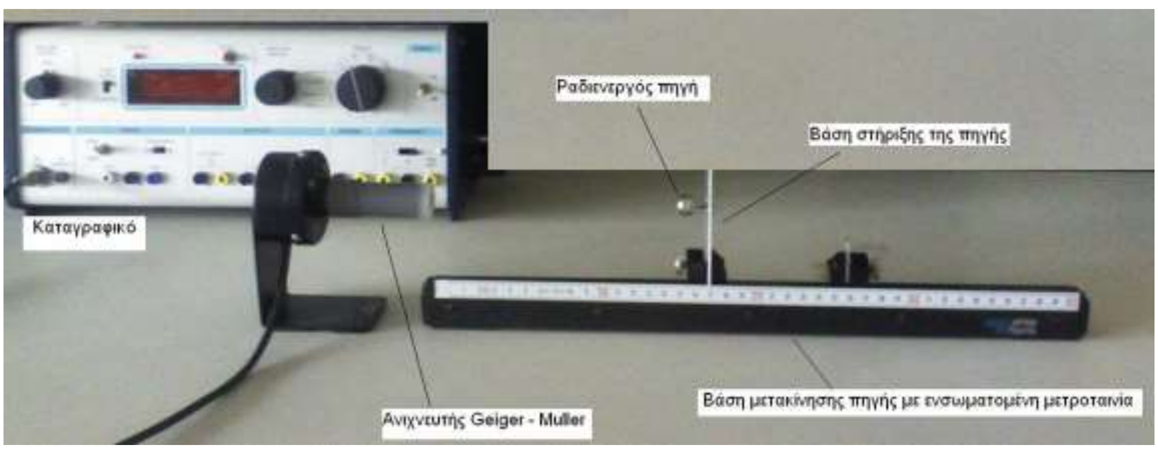
$$k = \frac{\ln 4 - \ln 0.11}{0 - 6} = -0.6$$

Η συνάρτηση είναι της μορφής:

$$y = 4e^{-0.6t}$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι η στατιστική μετρήσεων και η παρατήρηση απορρόφησης της ραδιενέργειας του ^{226}Ra. Ο διαχωρισμός των β και γ του ^{226}Ra με απορρόφηση. Απορρόφηση των α του ^{241}Am.



Σχήμα 57: Πειραματική διάταξη άσκησης.

Β) Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν για την εργαστηριακή άσκηση είναι:
- i) Ανιχνευτής Geiger – Muller.
- ii) Ραδιενεργές πηγές.
- iii) Βάση στερέωσης των πηγών.
- iv) Απορροφητές ξύλου, μολύβδου, σιδήρου και αλουμινίου.

Γ) i) Θέτουμε τον ανιχνευτή Geiger - Muller σε λειτουργία με τάση ίση με 400 V. Το FUNCTION SWITCH στη θέση radioactivity και τον επιλογέα RANGE στη θέση 10s. Θέτουμε το TIMING στο STOP και το TRIGGERED στο OFF. Τοποθετούμε το διακόπτη στη θέση SINGLE READING και χωρίς πηγή πιέζουμε το κουμπί RESET. Ανάβει το φωτάκι με την ένδειξη COUNTING. Καταγράψτε τον αριθμό κρούσεων που έδειξε η οθόνη του μετρητή. Επαναλάβετε την μέτρηση 5 φορές και βγάλτε τον μέσο όρο. Ο αριθμός αυτός των κρούσεων ονομάζεται υπόβαθρο (background). Η τιμή αυτή πρέπει να αφαιρείται από κάθε μέτρηση που λαμβάνουμε με ραδιενεργό πηγή.

ii) Τοποθετείστε τη πηγή Ραδίου στη βάση (στη μεσαία οπή του αλουμινένιου υποδοχέα). Έχοντας την πηγή πάνω στον αριθμημένο κανόνα και μπροστά από το παράθυρο του ανιχνευτή Geiger – Muller, δοκιμάστε διάφορες θέσεις ώστε σε διάστημα 10 sec να έχετε ένα αριθμό κρούσεων ανάμεσα στις 600 με 1000. Σε μια από αυτές τις θέσεις πάρτε 40 μετρήσεις με τον επιλογέα RANGE στη θέση 10s. Αφού αφαιρέσετε το υπόστρωμα βρείτε τον μέσο όρο των κρούσεων, το τυπικό σφάλμα και την τυπική απόκλιση. Κατασκευάστε κατάλληλο πίνακα συχνοτήτων-κλάσεων για αυτές τις τιμές και σχεδιάστε ένα ραβδόγραμμα. Συγκρίνετε το ραβδόγραμμα με την καμπύλη Gauss.

iii) Τοποθετήστε σε απόσταση 10 εκατοστών από το παράθυρο του ανιχνευτή Geiger – Muller την πηγή Ραδίου. Σε απόσταση 5 εκατοστών παρεμβάλετε διάφορους εξασθενητές (φύλα αλουμινίου διαφορετικού πάχους, φύλα μολύβδου διαφορετικού πάχους, ξύλο και σίδηρο). Για κάθε ένα από τους εξασθενητές καταγράψτε τον αριθμό των κρούσεων για 10 δευτερόλεπτα. Καταχωρείστε τις τιμές σε κατάλληλο πίνακα και εξάγετε τα συμπεράσματά σας.

iv) Τοποθετήστε την πηγή Ραδίου σε απόσταση 3 εκατοστά από τον μετρητή Geiger – Muller. Χωρίς εξασθενητή καταγράψτε τις κρούσεις για 10 δευτερόλεπτα. Επαναλάβετε τις μετρήσεις αυξάνοντας την απόσταση (x) πηγής – μετρητή κατά 1 εκατοστό κάθε φορά, μέχρι τα 22 εκατοστά. Από τα 22 εκατοστά έως τα 32 εκατοστά αυξάνετε αυξάνοντας την απόσταση πηγής – μετρητή κατά 2 εκατοστά κάθε φορά. Καταχωρείστε τις τιμές σε πίνακα και αφαιρέστε το υπόστρωμα. Κατασκευάστε διάγραμμα

$$x = f\{\log(cps)\} \text{(όπου cps = κρούσεις ανά δευτερόλεπτο)}$$

Το διάγραμμα μπορεί να γίνει και σε ημιλογαριθμικό χαρτί. Θα διαπιστωθεί η ύπαρξη δυο ευθειών. Η πρώτη με τη μεγαλύτερη κλίση αντιστοιχεί σε σωμάτια β και χαρακτηρίζει την ταχεία μείωση του ρυθμού των κρούσεων σε σχέση με την απόσταση, ενώ η δεύτερη με τη μικρότερη κλίση αντιστοιχεί σε ακτινοβολία γ η οποία έχει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από αυτή των σωματιδίων β.

v) Αφαιρέστε την πηγή Ραδίου και τοποθετήστε την στη θήκη της. Στη θέση της τοποθετήστε την πηγή Αμερίκιου. Τα σωμάτια α που εκπέμπει η πηγή έχουν μικρή εμβέλεια. Για το λόγω αυτό η πηγή πρέπει να τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση από τον ανιχνευτή (2 εκατοστά). Μετρήστε τον αριθμό των κρούσεων για 10 δευτερόλεπτα. Μεταβάλετε την απόσταση πηγής – μετρητή κατά 1 εκατοστό κάθε φορά, μέχρι τα 11 εκατοστά επαναλάβετε τη μέτρηση. Καταγράψτε τις τιμές σε κατάλληλο πίνακα Αφού αφαιρέσετε το υπόβαθρο δημιουργείστε διάγραμμα:

$$\text{κρούσεις/ δευτερόλεπτο} = f(\text{απόσταση})$$

Παρατηρείστε την εκθετική μείωση του ρυθμού των κρούσεων. Που οφείλεται αυτή η μείωση;

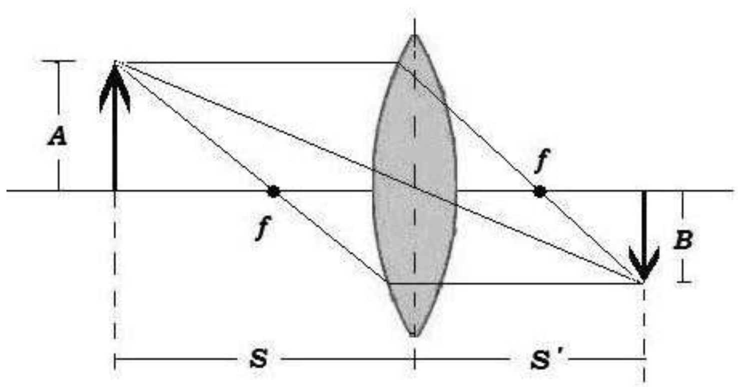
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΦΑΚΟΙ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Λεπτοί φακοί.

Φακός ονομάζεται κάθε διαφανές σώμα, το οποίο περικλείεται από δυο κυρτές επιφάνειες ή από μια καμπύλη επιφάνεια και μία επίπεδη. Μπορούν να διακριθούν σε συγκλίνοντες ή αποκλίνοντες, ανάλογα με το αν οι ακτίνες του φωτός που διέρχονται από αυτούς συγκλίνουν ή αποκλίνουν ως προς τον οπτικό άξονα των φακών.

Ως εστία f του φακού ορίζεται το σημείο όπου συναντώνται μεταξύ τους όλες οι παράλληλες ακτίνες που διέρχονται από τον φακό. Κάθε φακός έχει δυο εστίες. Μία στην αριστερή και μία στην δεξιά πλευρά του. Για τους συγκλίνοντες φακούς η εστία τους είναι θετική, ενώ για τους αποκλίνοντες η εστία τους είναι αρνητική.



Σχήμα 58: Δημιουργία ειδώλου από συγκλίνοντα φακό.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Συνθήκη προσήμων για λεπτούς φακούς
S είναι + εάν το αντικείμενο βρίσκεται μπροστά από τον φακό (πραγματικό αντικείμενο)
S είναι – εάν το αντικείμενο βρίσκεται πίσω από τον φακό (φανταστικό αντικείμενο)
S΄ είναι + αν το είδωλο βρίσκεται πίσω από τον φακό (πραγματικό είδωλο)
S΄ είναι – αν το είδωλο βρίσκεται μπροστά από τον φακό (φανταστικό είδωλο)

Ορίζουμε την εγκάρσια μεγέθυνση M του λεπτού φακού ως τον λόγο του ύψους του ειδώλου h΄ ως προς το ύψος του αντικειμένου h.

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι όταν η μεγέθυνση είναι θετική, τότε το είδωλο είναι όρθιο και βρίσκεται στην ίδια περιοχή του φακού με το αντικείμενο. Άμα η μεγέθυνση είναι αρνητική τότε το είδωλο είναι ανεστραμμένο και βρίσκεται στην αντίθετη από το αντικείμενο περιοχή του φακού.

Η ισχύς P ενός φακού εκφράζεται σε διόπτρες και ισούται με το αντίστροφο της εστιακής του απόστασης εκφραζόμενης σε μέτρα.

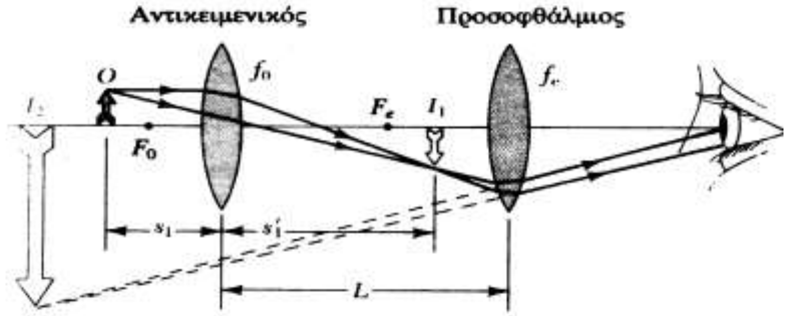
$$P = \frac{1}{f}$$

Οπτικό μικροσκόπιο.

Η αδυναμία του ανθρώπου να παρατηρήσει τα συστατικά των έμβιων οργανισμών (κύτταρα, μεγαλομόρια κτλ.) καθυστέρησε σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των βιολογικών επιστημών και την εύρεση θεραπείας σε διάφορες ασθένειες. Η ανακάλυψη των φακών συντέλεσε στην ανάπτυξη του μικροσκοπίου. Φακός ονομάζεται κάθε διαφανές σώμα που περιορίζεται από δυο καμπύλες επιφάνειες. Οι φακοί χωρίζονται σε συγκλίνοντες και αποκλίνοντες, ανάλογα με τον αν συγκεντρώνουν τις ακτίνες του φωτός που πέφτει επάνω τους, ή τις αποκλίνουν. Οι φακοί περιγράφονται αν γνωρίζουμε την εστία τους. Εστία είναι το σημείο όπου τέμνονται μεταξύ τους όλες οι παράλληλες ακτίνες που διέρχονται από τον φακό.

Όταν ο απλός μεγεθυντικός φακός δεν επαρκεί να παρατηρούμε λεπτομερώς μικρά αντικείμενα, χρησιμοποιούμε το οπτικό όργανο που λέγεται μικροσκόπιο και στο οποίο συνδυάζονται δύο φακοί για να υπάρχει μεγαλύτερη μεγέθυνση. Στο Σχήμα 58 βλέπουμε ένα διάγραμμα της αρχής στην οποία βασίζεται η λειτουργία ενός μικροσκοπίου. Το μικροσκόπιο αποτελείται από τον αντικειμενικό φακό, ο οποίος έχει μικρή εστιακή απόσταση f_α (συνήθως $f_\alpha < 1$cm)και τον προσοφθάλμιο φακό ο οποίος έχει εστιακή απόσταση μερικών εκατοστών. Οι δύο φακοί απέχουν μεταξύ τους L, όπου η απόσταση L είναι πολύ μεγαλύτερη από την f_0 ή την f_e. Τοποθετούμε το αντικείμενο λίγο πιο πέρα από την εστία του αντικειμενικού φακού, οπότε το είδωλο είναι πραγματικό, ανεστραμμένο και σχηματίζεται στο σημείο I_1 που βρίσκεται πάνω ή πολύ κοντά στην εστία του προσοφθάλμιου φακού. Ο προσοφθάλμιος φακός λειτουργεί ως «μεγεθυντικός φακός» και σχηματίζει στο I_2 το είδωλο του I_1. Το είδωλο στο I_2 είναι φανταστικό και ανεστραμμένο Η εγκάρσια μεγέθυνση M_1 του πρώτου ειδώλου ισούται με τον λόγο $-s'_1/s_1$ Ας σημειωθεί ότι από το Σχήμα 58 η απόσταση s'_1είναι σχεδόν ίση προς το L. Ας θυμηθούμε επίσης ότι τοποθετούμε το αντικείμενο πολύ κοντά στην εστία του προσοφθάλμιου, οπότε $s_1 \sim f_0$. Βρίσκουμε λοιπόν ότι η μεγέθυνση του αντικειμενικού φακού ισούται με:

$$\boxed{M_1 \approx -\frac{L}{f_0}}$$



Σχήμα 59: Διάγραμμα μικροσκοπίου, το οποίο αποτελείται από έναν αντικειμενικό φακό και έναν προσοφθάλμιο φακό.

Στην περίπτωση μας, αντικείμενο του προσοφθάλμιου φακού είναι το είδωλο του αντικειμενικού φακού. Το είδωλο αυτό σχηματίζεται στο σημείο I_1 και σχεδόν συμπίπτει με την εστία του προσοφθάλμιου φακού. Έτσι:

$$\boxed{m_e = \frac{25cm}{f_e}}$$

Η ολική μεγέθυνση του μικροσκοπίου ισούται με το γινόμενο της εγκάρσιας μεγέθυνσης M_1 του αντικειμενικού φακού επί την γωνιακή: μεγέθυνση, me, του προσοφθάλμιου φακού:

$$\boxed{M = M_1 m_e = -\frac{L}{f_0}\left(\frac{25cm}{f_e}\right)}$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι το τελικό είδωλο είναι ανεστραμμένο.

Τα μικροσκόπια μας έχουν δώσει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε λεπτομερώς πολύ μικρά αντικείμενα. Και η συνεχής βελτίωση της κατασκευής φακών μας έδωσε την δυνατότητα παρατήρησης όλο και πιο μικρών αντικειμένων. Η ερώτηση όμως που έρχεται στη σκέψη μας είναι η ακόλουθη; Εάν είμαστε αρκετά υπομονετικοί και ικανοί, θα μπορέσουμε να κατασκευάσουμε ένα μικροσκόπιο με το οποίο να δούμε τα άτομα της ύλης; Η απάντηση είναι όχι, εάν πρέπει να φωτίσουμε τα άτομα με φως. Και τούτο διότι, για να δούμε το αντικείμενο, οι διαστάσεις του δεν πρέπει να είναι μικρότερες από το μήκος κύματος του φωτός με το οποίο το φωτίζουμε. Αλλά τα άτομα είναι παρά πολλές φορές μικρότερα από τα μήκη κύματος του ορατού φωτός. Για να δούμε λοιπόν τα άτομα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μικροσκόπια άλλου είδους, τους επιταχυντές σωματιδίων.

Η δυνατότητα παρατήρησης ενός αντικειμένου εξαρτάται από το μέγεθος του σε σύγκριση με το μήκος κύματος του φωτός που το φωτίζει. Επειδή λοιπόν τα άτομα και τα μόρια έχουν διαστάσεις της τάξεως του 0.1 nm και το μήκος κύματος του φωτός είναι περίπου 500 nm, δεν θα μπορέσουμε ποτέ να δούμε άτομα σκεδάζοντας φως επάνω τους.

Τα μέρη του οπτικού μικροσκοπίου (Σχ 60).

1. Σκελετός του μικροσκοπίου: Ο σκελετός αποτελεί το κεντρικό τμήμα επάνω στο οποίο συναρμολογούνται τα μηχανικά και οπτικά συστήματα για να δώσουν το σύνολο του μικροσκοπίου

2. Προσοφθάλμιος σωλήνας: Μέσω του σωλήνα αυτού, γίνεται η μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος. Ένας δεύτερος σωλήνας βοηθάει στην παρατήρηση της μικροσκοπικής εικόνας με τα δύο μάτια

3. Διακόπτης τροφοδοσίας: Μέσω αυτού ανάβουμε ή σβήνουμε τη λυχνία φωτισμού

4. Κοχλίας ρύθμισης της έντασης του φωτός: Μας επιτρέπει να ρυθμίζουμε την ένταση του φωτός σε επιθυμητά επίπεδα

5. Μετασχηματιστής: Προορίζεται για την ελάττωση της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος στο επίπεδο που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία της λυχνίας χαμηλού ηλεκτρικού δυναμικού (6V). Ένα ποτενσιόμετρο επιτρέπει τη ρύθμιση της φωτεινότητας της εικόνας με προοδευτικό τρόπο (4)

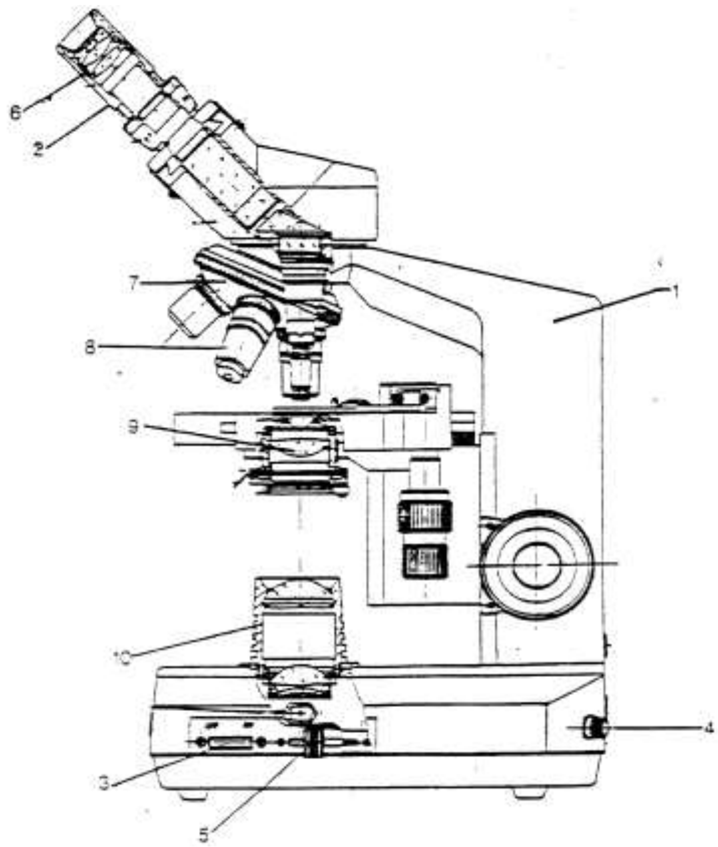
6. Προσοφθάλμιοι φακοί: Με τη βοήθεια του προσοφθάλμιου φακού, η ενδιάμεση εικόνα, που προέρχεται από τον αντικειμενικό, εμφανίζεται μεγεθυσμένη. Οι προσοφθάλμιοι φακοί μπορούν, επίσης, να αντικαταστήσουν πλήρως τα βελτιωτικά γυαλιά όρασης, εκτός από την περίπτωση του αστιγματισμού

7. Δίσκος περιστροφής των αντικειμενικών φακών: Διαθέτει τις υποδοχές για μια σειρά αντικειμενικών φακών, οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν διαδοχικά στην πορεία των φωτεινών ακτινών και να μεταβάλλουν τη μεγέθυνση του παρασκευάσματος

8. Αντικειμενικοί φακοί: Μέσω αυτών επιτυγχάνεται η μεγέθυνση του παρασκευάσματος στο επίπεδο της ενδιάμεσης εικόνας

9. Συμπυκνωτικός φακός: Ο ρόλος του είναι να συλλέγει τη φωτεινή δέσμη και να φωτίζει ομοιόμορφα το παρασκεύασμα. Με τη βοήθεια του διαφράγματος ανοίγματος, ρυθμίζουμε την αντίθεση και το βάθος πεδίου της εικόνας

10. Φωτισμός: Ο φωτισμός χαμηλού δυναμικού βρίσκεται ενσωματωμένος στη βάση του σκελετού του μικροσκοπίου και διαθέτει ένα μηχανισμό ρύθμισης, ο οποίος επιτρέπει τη συνεχή μεταβολή της φωτεινότητας της εικόνας και την προσαρμογή της στις απαιτήσεις της στιγμής.



Σχήμα 60: Τα μέρη του μικροσκοπίου φωτεινού πεδίου

Όρια διακριτικής ικανότητας.

Στον αντικειμενικό φακό με ένδειξη 10/0,25, ο χαραγμένος αριθμός μετά την ένδειξη της μεγέθυνσης (10) υποδεικνύει το αριθμητικό άνοιγμα (0,25) του αντικειμενικού φακού. Ο αριθμός αυτός αποτελεί μια ένδειξη της διακριτικής ικανότητας του αντικειμενικού φακού. Το ανθρώπινο μάτι είναι κατασκευασμένο έτσι που να διακρίνει από μια απόσταση 25cm δύο ξεχωριστά σημεία που έχουν απόσταση μεταξύ τους 0,15mm. Αν, όμως, η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων είναι μικρότερη από 0,15mm, το μάτι δεν μπορεί να τα διακρίνει και συγχέει τα δύο σημεία με ένα. Ο αντικειμενικός φακός δίνει μεγεθυσμένη την εικόνα του αντικειμένου και άρα οι αποστάσεις ανάμεσα στα σημεία του αντικειμένου εμφανίζονται μεγαλύτερες. Για να μπορέσουμε όμως να διακρίνουμε στην πραγματικότητα καθένα από τα σημεία αυτά, δεν είναι μόνο η απόσταση τους που πρέπει να ληφθεί υπόψη αλλά και ο κώνος των φωτεινών ακτινών που περιβάλλεται από τον αντικειμενικό φακό. Με βάση το άνοιγμα του κώνου αυτού και του συντελεστή διάθλασης της ύλης που βρίσκεται μεταξύ του αντικειμένου και του αντικειμενικού φακού, μπορούμε να υπολογίσουμε το αριθμητικό άνοιγμα.

Εκτός από τη μεγέθυνση και το αριθμητικό άνοιγμα, υπάρχουν και άλλες δύο ενδείξεις επάνω στον αντικειμενικό φακό, π.χ. 160/- ή 160/0,17. Ο αριθμός 160 υποδεικνύει το βάθος του σωλήνα σε mm, για το οποίο υπολογίστηκε ο αντικειμενικός φακός. Το σημείο /- δηλώνει αν μπορούμε να παρατηρήσουμε το παρασκεύασμα με ή χωρίς καλυπτρίδα. Ο αριθμός /0,17 δηλώνει το πάχος της καλυπτρίδας που πρέπει να τοποθετηθεί επάνω στο παρασκεύασμα ώστε να πετύχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Μετωπική απόσταση.

Η μικρή απόσταση που χωρίζει το παρασκεύασμα από τον αντικειμενικό φακό ονομάζεται μετωπική απόσταση.

Η χρησιμότητα του ελαιοκαταδυτικού φακού.

Για να διακρίνουμε πολύ μικρές λεπτομέρειες του παρασκευάσματος της τάξης των 0,25μm, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν φακό με πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα και μεγέθυνση. Τα περισσότερα μικροσκόπια διαθέτουν έναν αντικειμενικό φακό με την ένδειξη 100/1,250L. Ο φακός αυτός σε συνδυασμό με τον προσοφθάλμιο φακό 10X μας δίνει μια τελική μεγέθυνση του αντικειμένου 1000:1. προκειμένου να εργαστούμε με τον αντικειμενικό αυτό φακό, πρέπει να προσθέσουμε μεταξύ αυτού και του παρασκευάσματος μια σταγόνα ειδικού λαδιού «κατάδυσης» (κεδρέλαιο). Μόνο με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουμε να επωφεληθούμε της μεγάλης διακριτικής ικανότητας του φακού.

Χρήσιμα μεγέθη στο οπτικό μικροσκόπιο.

Η συνολική μεγέθυνση του μικροσκοπίου είναι το γινόμενο της μεγέθυνσης του προσοφθάλμιου φακού επί του αντικειμενικού.

$$\boxed{\mathrm{M}_{o\lambda} = \mathrm{M}_{\alpha}.\mathrm{M}_{\pi}}$$

Γενικά αν έχουμε ένα σύστημα ν φακών η συνολική μεγέθυνση δίνεται από τη σχέση:

$$\boxed{\mathrm{M}_{\mathrm{o\lambda}} = \mathrm{M}_1.\mathrm{M}_2.\mathrm{M}_3.....\mathrm{M}_{\nu}}$$

Το αριθμητικό άνοιγμα μας βοηθάει στον καθορισμό της διακριτικής ικανότητας του αντικειμενικού φακού. Αυτή ορίζεται σαν την ελάχιστη δυνατή απόσταση ανάμεσα σε δυο αντικείμενα των οποίων τα είδωλα μπορούν πλήρως να διακριθούν ως δυο διαφορετικά. Η διακριτική ικανότητα ΔΙ δίνεται από τη σχέση:

$$\boxed{\Delta\mathrm{I} = \frac{0,61\lambda}{\mathrm{AA}}}$$

όπου λ το μήκος του φωτός που διέρχεται μέσα από τον φακό και ΑΑ το αριθμητικό του άνοιγμα.

Η διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού κυμαίνεται από 100 έως 300μm. Θεωρώντας ως διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου ματιού την μέγιστη δυνατή, τότε μπορούμε να ορίσουμε το μέγεθος της χρήσιμης μεγέθυνσης ως εξής:

$$\boxed{XM = \frac{300}{\Delta I}}$$

Απόσταση εργασίας ονομάζεται η απόσταση που χωρίζει το δείγμα από τον αντικειμενικό φακό. Η απόσταση εργασίας είναι ανάλογη της εστιακής απόστασης του φακού. Μπορεί τέλος να ορισθεί το μέγεθος του οπτικού πεδίου ως το εμβαδόν της επιφάνειας του δείγματος που απεικονίζει το μικροσκόπιο. Εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την μεγέθυνση του φακού. Όσο μεγαλύτερη είναι η εστιακή απόσταση του φακού τόσο μεγαλύτερο είναι και το οπτικό του πεδίο.

Το βάθος ευκρινούς απεικόνισης του μικροσκοπίου (το εύρος μέσα στο οποίο μπορεί να διακριθεί η μικροσκοπική εικόνα) δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta l(\mu m) = \frac{\lambda}{n \cdot \sin^2 \frac{a}{2}} + \frac{1}{7 \cdot M \cdot \sin \frac{a}{2}} \quad \Delta l(\mu m) = \frac{\lambda}{n \cdot \sin^2 \frac{a}{2}} + \frac{1}{7 \cdot M \cdot \sin \frac{a}{2}}$$

n: ο δείκτης διάθλασης.
λ: το μήκος κύματος της χρησιμοποιούμενης ακτινοβολίας.
α: το γωνιακό άνοιγμα του αντικειμενικού φακού.

Οδηγίες για σωστή μικροσκοπική παρατήρηση.

1. Ανοίγουμε τον διακόπτη του μικροσκοπίου, που βρίσκεται συνήθως κάτω δεξιά στη βάση του.

2. Αν το μικροσκόπιο είναι εφοδιασμένο με τράπεζα διασταυρωμένων κινήσεων, μετακινούμε προς τα αριστερά τον μοχλό που χρησιμεύει για τη σταθεροποίηση της αντικειμενοφόρου πλάκας, τοποθετούμε την αντικειμενοφόρο στην υποδοχή και ξαναβάζουμε τον μοχλό στην αρχική του θέση. Μετακινούμε την αντικειμενοφόρο με τη βοήθεια του κοχλία που βρίσκεται κάθετα τοποθετημένος στο κάτω δεξιό μέρος της τράπεζας. Αν το μικροσκόπιο δεν διαθέτει τον παραπάνω μηχανισμό, τοποθετούμε την αντικειμενοφόρο πλάκα και τη σταθεροποιούμε με τη βοήθεια των δύο ελασμάτων.

3. Για την αρχική παρατήρηση του παρασκευάσματος χρησιμοποιούμε πάντοτε τον αντικειμενικό φακό με τη μεγαλύτερη μετωπική απόσταση. Είναι ο μόνος από τους αντικειμενικούς φακούς με τον οποίο μπορούμε να έχουμε το μεγαλύτερο οπτικό πεδίο πάνω από το παρασκεύασμα, ώστε να βρίσκουμε με άνεση το σημείο του παρασκευάσματος που μας ενδιαφέρει και να το ελέγχουμε ως την τελική μεγέθυνση. Πάντοτε περνάμε διαδοχικά από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη μεγέθυνση.

4. Τα μικροσκόπια είναι εφοδιασμένα με ένα σύστημα φωτισμού του οποίου η λυχνία είναι προεστιασμένη. Με τον τρόπο αυτό είμαστε σίγουροι ότι το πεδίο δέχεται τον κα-

λύτερο δυνατό φωτισμό. Ρυθμίζουμε τη φωτεινότητα του πεδίου με τη βοήθεια του κοχλία που βρίσκεται κάτω δεξιά στο πίσω μέρος της βάσης του μικροσκοπίου.

5. Φροντίζουμε ώστε ο συμπυκνωτικός φακός να είναι στο υψηλότερο δυνατό σημείο και ανοίγουμε το διάφραγμα ανοίγματος. Ρυθμίζουμε το φωτισμό, ώστε να ανταποκρίνεται στις καλύτερες δυνατές συνθήκες παρατεταμένης παρατήρησης για τα δικά μας μάτια.

6. Ρυθμίζουμε τους προσοφθάλμιους φακούς με τα δυο μας χέρια, ώστε να τους προσαρμόσουμε στο δικό μας οπτικό πεδίο. Η ρύθμιση γίνεται πάντοτε παρατηρώντας την εικόνα του παρασκευάσματος και έχει επιτευχθεί όταν οι δύο εικόνες που διακρίνουμε μέσω των προσοφθάλμιων σωλήνων γίνουν μία.

7. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός από τα συστήματα κοχλιών που βρίσκονται αριστερά και δεξιά του σκελετού του μικροσκοπίου, ρυθμίζουμε το ύψος της τράπεζας έως ότου διακρίνουμε το παρασκεύασμα. Μόλις το επιτύχουμε εστιάζουμε με τον μικρομετρικό κοχλία ρυθμίζοντας την καθαρότητα της εικόνας.

8. Αν το μικροσκόπιο διαθέτει προσοφθάλμιο φακό μεταβλητής εστιακής απόστασης, κοιτάμε στο μικροσκόπιο με το ανάλογο μάτι από αυτόν και προσπαθούμε να πετύχουμε τη βέλτιστη εικόνα μεταβάλλοντας την εστιακή του απόσταση.

9. Για να χρησιμοποιήσουμε τον αντικειμενικό φακό «κατάδυσης» εργαζόμαστε ως εξής: Εντοπίζουμε πρώτα το μέρος του παρασκευάσματος που μας ενδιαφέρει με τον φακό 40/0,65 και το μεταφέρουμε στο κέντρο του μικροσκοπικού πεδίου. Στη συνέχεια, περνάμε στον μικρότερο αντικειμενικό φακό του μικροσκοπίου και τοποθετούμε μια σταγόνα λαδιού πάνω στην καλυπτρίδα στο σημείο που μας ενδιαφέρει (το λάδι έχει συντελεστή διάθλασης 1,515). Περνάμε στον αντικειμενικό φακό 100/1,250L και ρυθμίζουμε την καθαρότητα της εικόνας. Μετά το τέλος της παρατήρησης επιβάλλεται να καθαρίσουμε τον αντικειμενικό φακό με τη βοήθεια ενός πανιού εμβαπτισμένου σε ξυλόλη.

ΤΟ ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ

ΟΡΙΣΜΟΙ

Η τέχνη της στερεοσκοπίας συνίσταται στην χρήση της διοφθαλμικής όρασης, ώστε να βλέπουμε τρισδιάστατα αντικείμενα. Ένα στερεοσκοπικό ζεύγος φωτογραφιών (στερεοζεύγος) αποτελείται από δύο συνεχόμενες, επικαλυπτόμενες φωτογραφίες που έχουν παρθεί στην ίδια ευθεία. Εάν κόψουμε κατάλληλα την μια από τις δύο φωτογραφίες του στερεοσκοπικού ζεύγους και την τοποθετήσουμε δίπλα στην άλλη, ώστε να μπορούμε να δούμε στερεοσκοπικά, λέμε ότι έχουμε ένα στερεόγραμμα. Για να πάρουμε μια στερεοσκοπική εικόνα, χρησιμοποιούμε το στερεοσκόπιο, που είναι ένα διοφθαλμικό οπτικό όργανο, που με την κατάλληλη τοποθέτηση φωτογραφιών, μας δημιουργεί την νοητή εντύπωση μιας τρισδιάστατης εικόνας. Υπάρχουν το απλό, με φακούς, στερεοσκόπιο, το στερεοσκόπιο με καθρέφτες, το στερεοσκόπιο σάρωσης με καθρέπτες και το μεγεθυντικό στερεοσκόπιο.

Το όργανο αυτό βρίσκει εφαρμογές εκεί που χρειαζόμαστε να παρατηρήσουμε σε μεγέθυνση την εξωτερική μορφολογία ενός αντικείμενου, ιστού κλπ όταν χρησιμοποιείται προσπίπτων ή πλάγιος φωτισμός οργανισμού, ή και την εσωτερική μορφολογία διαφανών ή διαφανοποιημένων παρασκευασμάτων όταν αυτά φωτίζονται από κάτω. Με αυτό το όργανο πετυχαίνουμε στερεοσκοπική τμήμα του δείγματος από διαφορετική γωνία. Τα στερεοσκόπια είτε έχουν αντικειμενικούς φακούς σταθερής εστιακής απόστασης (μεγέθυνσης) είτε μεταβαλλόμενης (zoom). Συνήθως τα όργανα αυτά μπορούν να μεγεθύνουν μέχρι περίπου 80X γιατί μεγαλύτερες μεγεθύνσεις έχουν πολύ μικρό βάθος εστίασης και επομένως οι εικόνες δε μπορούν πλέον να θεωρηθούν στερεοσκοπικές. Το παρασκεύασμα συνήθως δε χρειάζεται καμία προετοιμασία και μπορεί να παρατηρηθεί αρκεί να μπορεί να τοποθετηθεί στο οπτικό πεδίο του μικροσκοπίου. Στα στερεοσκόπια ο φωτισμός του παρασκευάσματος μπορεί να γίνει και από πάνω και από κάτω. Τα πιο σύγχρονα στερεοσκόπια διαθέτουν και σύστημα φωτισμού με υπεριώδη ακτινοβολία για μετατροπή τους σε μικροσκόπια φθορισμού. Τα στερεοσκόπια έχουν πολλές εφαρμογές στη γεωπονία όπως είναι η μελέτη και προσδιορισμό εντόμων, μικρών καρπών, ασθενειών σε φυτά, πλαγκτονικών οργανισμών κλπ. Για καλύτερη παρατήρηση συνιστάται η χρήση ισχυρής φωτεινής πηγής με λαμπτήρα αλογόνου και οπτικές ίνες.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση της δημιουργίας ειδώλου από συγκλίνοντα φακό, της χρήσης δυο συγκλινόντων φακών ως συσκευή μεγέθυνσης και της σωστής χρήσης του μικροσκοπίου.

Β) Τα απαραίτητα όργανα που χρειάζονται για την εκτέλεση της άσκησης είναι:

i) Λυχνία πυρακτώσεως.
ii) Σχισμή σε σχήμα βέλους.
iii) Δυο συγκλίνοντες φακοί.
iv) Οπτικό μικροσκόπιο.
v) Πλακίδια μικροσκοπίου με ενσωματωμένη κλίμακα.
vi) Πέτασμα.

Γ) i) Τοποθετήστε τον πρώτο φακό σε απόσταση από την λυχνία πυρακτώσεως μεγαλύτερη της εστιακής του απόστασης. Μετακινώντας το πέτασμα εστιάστε το είδωλο (το νήμα της λυχνίας). Μετρήστε την απόσταση του νήματος από τον φακό και την απόσταση του ειδώλου του από τον φακό. Επαληθεύστε τον νόμο των φακών.

ii) Τοποθετήστε μπροστά από την λυχνία τη σχισμή σε σχήμα βέλους. Σε απόσταση μεγαλύτερη από την εστιακή του απόσταση τοποθετήστε τον συγκλίνοντα φακό και προσπαθήστε να εστιάσετε ευκρινών το είδωλο πάνω στο πέτασμα. Μετρήστε την απόσταση του αντικειμένου από τον φακό και την απόσταση του ειδώλου του από τον φακό. Επαληθεύστε τον νόμο των φακών. Υπολογίστε την μεγέθυνση του φακού μετρώντας τα ύψη του αντικειμένου και του ειδώλου.

iii) Τοποθετήστε μπροστά από την λυχνία τη σχισμή σε σχήμα βέλους. Σε απόσταση μεγαλύτερη από την εστιακή του απόσταση τοποθετήστε τον συγκλίνοντα φακό με τη μεγαλύτερη εστιακή απόσταση. Σε απόσταση από τον πρώτο φακό μεγαλύτερη από την εστιακή απόσταση του δεύτερου φακού τοποθετήστε τον δεύτερο συγκλίνοντα φακό. Προσπαθήστε να εστιάσετε το είδωλο της σχισμής στο πέτασμα. Αποδείξτε πειραματικά ότι $M=m_1 \cdot m_2$.

iv) Ταυτοποιήστε τα διάφορα μέρη του μικροσκοπίου και εξοικειωθείτε με τον χειρισμό. Ανοίξτε το λαμπτήρα του μικροσκοπίου στη θέση 3. Τοποθετήστε στην τράπεζα του μικροσκοπίου το πλακίδιο. Κλείστε το διάφραγμα του αντικειμενικού φακού και με τον αντικειμενικό φακό με τη μικρότερη μεγέθυνση βρείτε το είδωλο. Βρείτε το βάθος ευκρινούς απεικόνισης του μικροσκοπίου.

v) Επαναλάβετε τα άνωθεν με ανοικτό το διάφραγμα του αντικειμενικού φακού.

vi) Επαναλάβετε τα δυο προηγούμενα ερωτήματα χρησιμοποιώντας το φακό με τη μεγαλύτερη μεγέθυνση. Δώστε θεωρητική εξήγηση των ερωτήσεων iv, v, vi.

vii) Χρησιμοποιώντας τον φακό με τη μικρότερη μεγέθυνση βρείτε το μέγεθος του οπτικού πεδίου και για τις τρεις κλίμακες.

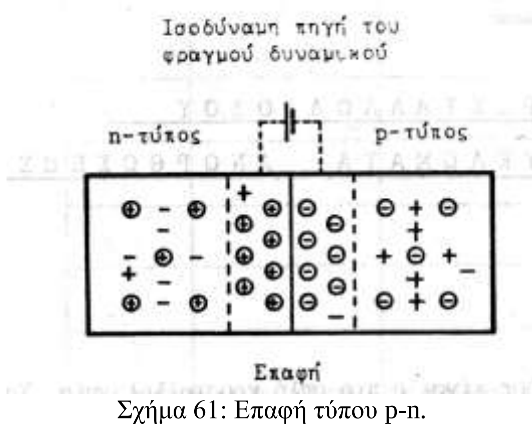
viii) Όταν χρησιμοποιούμε ακτινοβολία ερυθρού χρώματος το βάθος ευκρινούς απεικόνισης είναι το ίδιο με εκείνο που προκύπτει όταν χρησιμοποιούμε ακτινοβολία κυανού χρώματος; Εξηγήστε την απάντησή σας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΔΙΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η κρυσταλλοδίοδος είναι η πιο απλή κρυοταλλολυχνία. Χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές, στις οποίες παλιότερα χρησιμοποιείτο η δίοδος λυχνία κενού, επειδή συγκριτικά με αυτήν παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Αποτελείται από έναν ημιαγωγό τύπου ρ και έναν ημιαγωγό τύπου n σε επαφή. Η επαφή αυτή δεν είναι μηχανική. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα κομμάτι ημιαγωγού υλικού (συνήθως Si ή Ge) , στο ένα τμήμα του οποίου έχουν χημικά προστεθεί προσμίξεις τρισθενούς στοιχείου (ρ-τύπος) και στο υπόλοιπο προσμίξεις πεντασθενούς στοιχείου (η-τύπος). Στην περιοχή της επαφής ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου-n διαχέονται προς τον ημιαγωγό τύπου-ρ και εξουδετερώνονται από ισάριθμες οπές. Αντίστοιχα οπές από τον ημιαγωγό τύπου-ρ διαχέονται προς τον ημιαγωγό τύπου-η και εξουδετερώνονται από ισάριθμα ηλεκτρόνια. Απομένουν έτσι στον ημιαγωγό τύπου-ρ και κοντά στην επαφή ακίνητα αρνητικά φορτισμένα ιόντα και αντίστοιχα στον ημιαγωγό τύπου-n ακίνητα θετικά φορτισμένα ιόντα. Έτσι ο η-τύπου ημιαγωγός αποκτά ένα μικρό θετικό φορτίο +Q και ο ρ-τύπου ημιαγωγός ένα μικρό αρνητικό φορτίο -Q.

Η κατανομή αυτή των φορτίων στη διαχωριστική ζώνη μεταξύ των δύο ημιαγωγών έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου έντασης E και την εμφάνιση μιας διαφοράς δυναμικού, που ονομάζεται φραγμός ή λόφος δυναμικού. Εξ αιτίας του φραγμού αυτού, που είναι της τάξης δεκάτων του Volt, εμποδίζεται η περαιτέρω διάχυση φορέων και αποκαθίσταται μια κατάσταση ηλεκτρικής ισορροπίας. Είναι ευνόητο, ότι στην κατάσταση αυτή της ισορροπίας ελάχιστοι είναι οι κινητοί φορείς, που υπάρχουν στην περιοχή επαφής. Μπορούμε λοιπόν σε πρώτη προσέγγιση να δεχτούμε, ότι οι κινητοί φορείς απουσιάζουν τελείως και ότι υπάρχουν μόνο ακίνητα θετικό(στον η-τύπο) και αρνητικά (στον ρ-τύπο) ιόντα. Εξ αιτίας αυτού η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή εκκενώσεως ή απογύμνωσης ή περιοχή φορτίου χώρου.



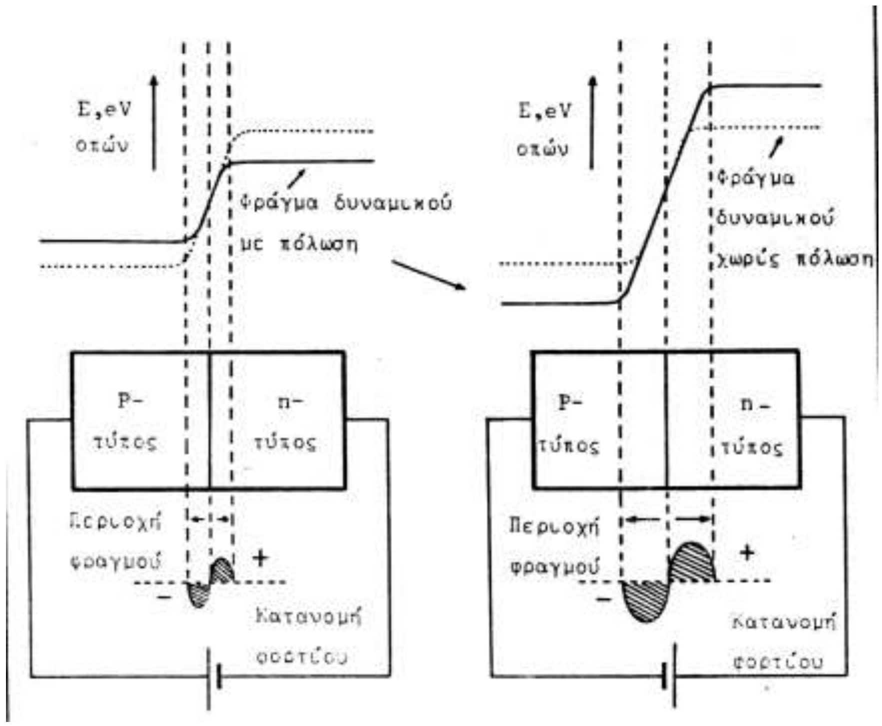
Σχήμα 61: Επαφή τύπου p-n.

Προκύπτει λοιπόν σε μια επαφή p-n η παρακάτω κατάσταση για το κάθε είδος φορέων:
α) Οι φορείς πλειονότητας του n-τύπου (ηλεκτρόνια) απωθούνται από το αρνητικό φορτίο -Q του ρ-τύπου.
β) Οι φορείς πλειονότητας του ρ-τύπου (οπές) απωθούνται από το θετικό Φορτίο ^ του n-τύπου.

γ) Οι φορείς μειονότητας του n-τύπου (οπές) έλκονται από το αρνητικό φορτίο -Q του p-τύπου.
δ) Οι φορείς μειονότητας του p-τύπου (ηλεκτρόνια) έλκονται από το θετικό φορτίο +Q του n-τύπου.
Όπως αναφέρεται και παραπάνω η παντελής απουσία κινητών φορέων από την περιοχή απογυμνώσεως αποτελεί μια ιδανική κατάσταση. Στην πραγματικότητα λόγω της θερμικής ενέργειας του κρυστάλλου υπάρχει μια σταθερή ροή φορέων δια της επαφής. Η ροή αυτή συνίσταται από φορείς μειονότητας, οι οποίοι, έλκονται (σαρώνονται) δια μέσου της επαφής και από ένα πολύ μικρό ποσοστό φορέων πλειονότητας, οι οποίοι στατιστικά έχουν αρκετή ενέργεια, ώστε να υπερνικήσουν το φραγμό δυναμικού. Τα δύο αυτά ρεύματα είναι αντίθετα, οπότε το ολικό ρεύμα δια της επαφής είναι μηδέν. Όλα τα παραπάνω ισχύουν, όταν στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου δεν εφαρμόζεται καμιά τάση, διότι, αν εφαρμοσθεί κάποια, η κατάσταση αλλάζει ριζικά.

Συγκεκριμένα:
Αν η επαφή p-n πολωθεί ορθά (εφαρμοσθεί δηλαδή θετικό δυναμικό στον ημιαγωγό p-τύπου και αρνητικό στον ημιαγωγό n-τύπου), το εξωτερικό πεδίο αντιτίθεται στο εσωτερικό πεδίο της περιοχής απογυμνώσεως με αποτέλεσμα η έκταση της περιοχής αυτής να περιορίζεται και ο φραγμός δυναμικού να ελαττώνεται (σχήμα 3-2 α). Αποτέλεσμα αυτού είναι οι φορείς πλειονότητας να μπορούν ευκολότερα να διέρχονται δια της περιοχής απογυμνώσεως υπερνικώντας το φραγμό δυναμικού. Δημιουργείται έτσι ένα ρεύμα φορέων πλειονότητας ορθής φοράς (οι οπές κινούνται από τον p-τύπο προς τον n-τύπο και τα ηλεκτρόνια αντίστροφα). Το ρεύμα των φορέων μειονότητας παραμένει ανεπηρέαστο από την εξωτερική πόλωση, επειδή η φορά του εσωτερικού πεδίου δεν αλλάζει, αλλάζει μόνον η ένταση του. Το ρεύμα αυτό (I_r) σύμφωνα με τα προαναφερθέντα έχει αντίθετη φορά από το ρεύμα των φορέων πλειονότητας (I_f) και αφαιρείται από αυτό. Έτσι κατά την ορθή πόλωση η κρυσταλλοδίοδος διαρρέεται από το ρεύμα ορθής πολώσεως, που είναι ίσο προς $I_o = I_f - I_r$ ή κατά προσέγγιση $I_o \approx I_f$ επειδή το I_r είναι πολύ μικρό (περίπου 1% του I_f).

Αν τώρα η επαφή p-n πολωθεί ανάστροφα (εφαρμοσθεί δηλαδή θετικό δυναμικό στον ημιαγωγό n-τύπου και αρνητικό στον ημιαγωγό p-τύπου) το εξωτερικό πεδίο είναι ομόρροπο με το εσωτερικό με αποτέλεσμα η έκταση της περιοχής απογυμνώσεως να μεγαλώνει και ο φραγμός δυναμικού να αυξάνει. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι φορείς πλειονότητας να εμποδίζονται ακόμη περισσότερο να διέλθουν την περιοχή απογυμνώσεως, ενώ για τους φορείς μειονότητας δεν συμβαίνει καμιά αλλαγή. Το ρεύμα λοιπόν των φορέων πλειονότητας ελαττώνεται δραστικά και γίνεται αρκετές φορές μικρότερο από το ρεύμα των φορέων μειονότητας, που παραμένει αναλλοίωτο. Έτσι το ρεύμα ανάστροφης πολώσεως προκύπτει ίσο προς: $I_\alpha = I_r - I_f$,- και κατά προσέγγιση $I\alpha \approx I_r$·



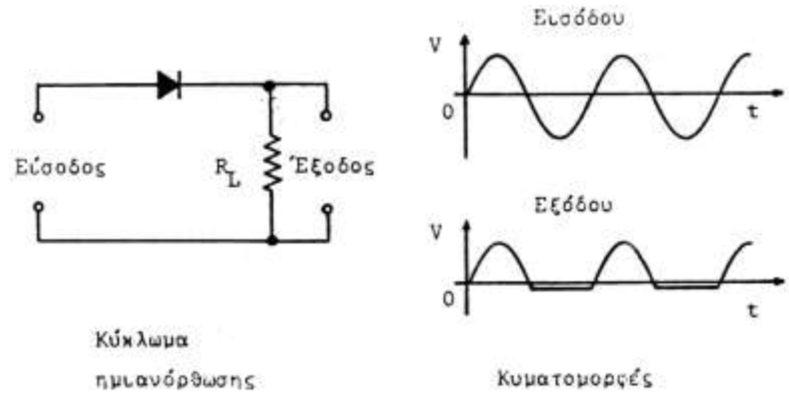
Σχήμα 62: Ορθή και ανάστροφη πόλωση p –n επαφής.

Ανόρθωση.

Οι κρυσταλλοδίοδοι χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα φώρασης, σταθεροποίησης και διάφορα άλλα, κύρια όμως χρησιμοποιούνται, σε κυκλώματα ανορθωτής. Έτσι ονομάζονται, όπως είναι γνωστό, τα κυκλώματα μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Μια ιδανική κρυσταλλοδίοδος παρουσιάζει μηδενική αντίσταση κατά την ορθή φορά (πρακτικά πολύ μικρή) και άπειρη κατά την ανάστροφη (πρακτικά πολύ μεγάλη). Την ιδιότητα ακριβώς αυτή εκμεταλλευόμαστε στα ανορθωτικά κυκλώματα. Αν συνδέσουμε μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης στην είσοδο του κυκλώματος του σχήματος 63, κατά τη θετική ημιπερίοδο, οπότε η δίοδος είναι πολωμένη ορθά, το ρεύμα διέρχεται σχεδόν ανεμπόδιστα δια μέσου της και έτσι στα άκρα της αντιστάσεως φόρτου R_L, αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού ανάλογης (ημιτονοειδούς) μορφής. Αντίθετα κατά την αρνητική ημιπερίοδο η σχεδόν άπειρη αντίσταση της διόδου εμποδίζει τη διέλευση ρεύματος δια του κυκλώματος και έτσι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντιστάσεως R_L είναι μηδέν (πρακτικά λόγω του ανάστροφου ρεύματος κόρου υπάρχει μια μικρή αρνητική σχεδόν σταθερή τάση). Έτσι στην έξοδο του κυκλώματος η τάση είναι ημιανορθωμένη. Για την ημιανορθωμένη αυτή τάση, στην ιδανική της μορφή, η ανάλυση κατά Fourier δίνει:

$$V = \frac{V_o}{\pi}\cdot\left(1+\frac{\pi}{2}\sin\omega t-\frac{2}{3}\cos 2\omega t-...\right)$$

$$V = \frac{2V_o}{\pi}\left(1-\frac{2}{3}\cos 2\omega t-\frac{2}{15}\cos 4\omega t-...\right) \quad V_o = \frac{E_o}{1+\dfrac{R_0}{R_L}}$$



Σχήμα 63: Ημιανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το Ro παριστά την ολική αντίσταση του κυκλώματος, δηλαδή το αθροίσματα αντιστάσεων φόρτου, κρυσταλλοδιόδου, πηγής κλπ και το E_o το πλάτος της τάσης εισόδου. Από τις σχέσεις αυτές συμπεραίνουμε ότι: α) Υπάρχει στην τάση εξόδου συνεχής συνιστώσα ίση προς: Eo/π (1 + Ro/R_L.) και β) Η συνεχής αυτή συνιστώσα αυξάνει όσο αυξάνει η αντίσταση φόρτου. Εκτός βέβαια από τη συνεχή υπάρχουν και οι ανεπιθύμητες εναλλασσόμενες συνιστώσες. Η συνεισφορά τους στην τελική μορφή της τάσης εκφράζεται συνήθως με μια παράμετρο, που ονομάζεται βαθμός κυμάτωσης ή απλά κυμάτωση (ripple) και ορίζεται από τη σχέση:

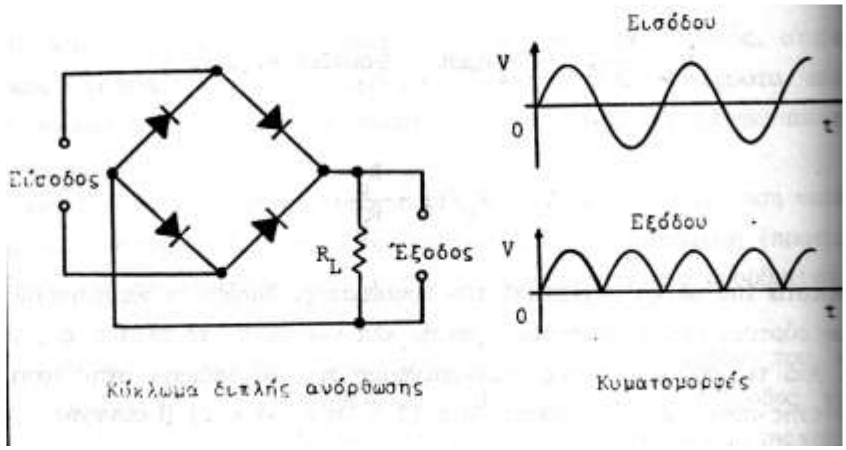
$$V = \frac{V_{\varepsilon\nu}}{V_{\sigma\upsilon\nu}} \quad V = \frac{V_{\varepsilon\nu}}{V_{\sigma\upsilon\nu}}$$

όπου Vεν η ενεργός τιμή όλων των εναλλασσομένων συνιστωσών και V η συνεχής συνιστώσα. Για απλή ανόρθωση η κυμάτωση έχει τιμή γ = 1,21.

Προκειμένου να πετύχουμε καλύτερα ανορθωτικά αποτελέσματα, δηλαδή μεγαλύτερη συνεχή συνιστώσα και μικρότερη κυμάτωση, χρησιμοποιούμε τα κυκλώματα διπλής ανόρθωσης, όπως το κύκλωμα γέφυρας (Σχ64). Με το κύκλωμα αυτό επιτυγχάνεται ανόρθωση και των δύο ημιπεριόδων του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η ανάλυση κατά Fourier δίνει στην περίπτωση αυτή:

$$V = \frac{2V_o}{\pi}\left(1 - \frac{2}{3}\cos 2\omega t - \frac{2}{15}\cos 4\omega t - ...\right)$$

Η συνεχής συνιστώσα προκύπτει ίση προς: 2Eo/π(1 + Ro/R_L,), δηλαδή διπλάσια από ότι στην απλή ανόρθωση και η κυμάτωση: 0,48 (δηλαδή λιγότερη από υποδιπλάσια).



Σχήμα 64: Διπλή ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η διπλή ανόρθωση μπορεί να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο με την προσθήκη των λεγόμενων φίλτρων εξομαλύνσεως. Το πιο απλό από τα φίλτρα αυτά αποτελείται από έναν πυκνωτή με σταθερά χρόνου πολύ μεγαλύτερη από την ημιπερίοδο της τάσης, που ανορθώνεται, παράλληλα συνδεσμολογημένο προς την αντίσταση φόρτου. Η προσθήκη ενός τέτοιου πυκνωτή-φίλτρου ελαττώνει την κυμάτωση και αυξάνει τη συνεχή συνιστώσα. Υπάρχουν βέβαια και αποτελεσματικότερα φίλτρα. Είναι όμως πιο πολύπλοκα και πρέπει να αναζητηθούν σε εξειδικευμένες βιβλιογραφικές πηγές.

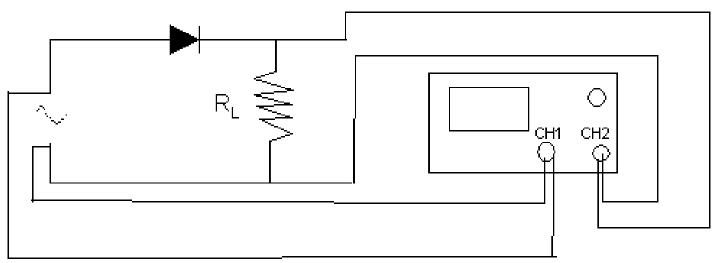
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Α) Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση της λειτουργίας των κρυσταλλοδιόδων ως απαραίτητα εξαρτήματα στη σύγχρονη ηλεκτρονική και κυρίως στην απλή και διπλή α-νόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

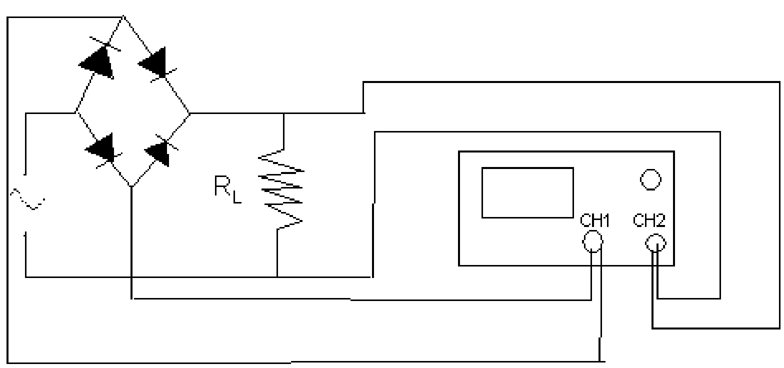
Β) Τα απαραίτητα όργανα για την τέλεση της άσκησης είναι:

i) Πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.
ii) Κρυσταλλοδίοδοι πυριτίου.
iii) Πυκνωτές.
iv) Αντιστάσεις.
v) Καθοδικό παλμογράφο.

Γ) i) Συνδέστε το παρακάτω κύκλωμα. Στο ένα κανάλι του παλμογράφου θα παίρνετε την τάση της πηγής και στο άλλο κανάλι την τάση στα άκρα της αντίστασης. Σχεδιάστε τις δυο κυματομορφές.



ii) Συνδέστε το παρακάτω κύκλωμα. Στο ένα κανάλι του παλμογράφου θα παίρνετε την τάση της πηγής και στο άλλο κανάλι την τάση στα άκρα της αντίστασης. Σχεδιάστε τις δυο κυματομορφές.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1) Χ. Παπαγεωργόπουλος, "Εισαγωγή στα πειράματα Φυσικής", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, 1983.

2) Π. Α. Ασημακόπουλος, "Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία και Πρακτική", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, 1984.

3) R. Serway, "Physics for Scientists and Engineers", Greek Translation: L. K. Resvanis.

5) Ι. Γ. Φίλης, "Εργαστήρια Πειραματικής Φυσικής", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, 1992.

6) Taylor, "An Introduction to Error Analysis", University Science Books, 1982.

7) Αλεξόπουλος Καίσαρ, Δ. Μαρίνος , Διονύσιος Ι. “Γενική φυσική”. Αθήνα : Ολύμπια 1992-1995.

8) Αλεξόπουλος Καίσαρ, Δ. Μαρίνος “Οπτική”. Αθήνα : Ολύμπια 1992-1995.

9) Χριστοδουλίδης Αλέξανδρος Α. “Σύγχρονη οπτική και εφαρμογές”. Ιωάννινα : Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων 2000.

10) Βερίλλης Παναγιώτης. “Βασικές αρχές οπτικής και ηλεκτρονικής μικροσκοπίας”. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας 2008.

11) Δημήτρη Μ. Μηλιώτη, Γιώργου Ε. Γιακουμάκη. “Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτρονικής φυσικής”. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, 1999.