

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
2018**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ Παναγιώτης Κουνάβης

Στοιχεία Φοιτητή

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΑΜ

ΤΜΗΜΑ εργαστηρίου / ΗΜΕΡΑ / ΩΡΑ : / /

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Αυτό το έντυπο : είναι απαραίτητο για τη διεξαγωγή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Φυσικής το οποίο είναι μάθημα που διδάσκεται στο εαρινό εξάμηνο του πρώτου έτους του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών. Είναι προσωπικό του φοιτητή που αναγράφεται στο εξώφυλλο και φυλάσσεται τουλάχιστον μέχρι ο φοιτητής να πάρει προβιβάσιμο βαθμό στο εργαστηριακό μάθημα.

Χωρίς το έντυπο αυτό δεν μπορεί ο φοιτητής να προσέλθει και να διεξάγει τις ασκήσεις του εργαστηρίου που είναι υποχρεωτικές.

Οι ΑΣΚΗΣΕΙΣ : είναι αντιπροσωπευτικές και εφαρμογές ενός μεγάλου μέρους της ύλης του μαθήματος Εφαρμοσμένη Φυσική που διδάχτηκαν οι πρωτοετής φοιτητές στο χειμερινό εξάμηνο. Σκοπών των ασκήσεων αυτών είναι να κατανοήσει σε πρακτικό επίπεδο ο φοιτητής αυτά που διδάχτηκε στο μάθημα, να κατανοήσει τις αρχές της μέτρησης και των πειραμάτων που είναι τα θεμέλια της Φυσικής στην οποία βασίζονται όλες οι επιστήμες του Μηχανικού. Τέλος δε ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με βασικά όργανα μετρήσεων που θα χρησιμοποιεί στα Μηχανικός.

Ο φοιτητές:

Πριν από το εργαστήριο ο κάθε φοιτητής θα πρέπει να προετοιμάζεται καλά και να μελετάει την άσκηση που είναι προγραμματισμένη να εκτελέσει.

Πριν προσέλθει στο εργαστήριο θα έχει απαντήσει γραπτώς στα ερωτήματα που υπάρχουν στην άσκηση στη παράγραφο : **Β. ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ, στα οποία μπορεί να εξετάζεται και προφορικά μέσα στο εργαστήριο. Ο βαθμός που θα λαμβάνει από αυτό το τμήμα της άσκησης θα υπολογίζεται στο 20 % του τελικού βαθμού του μαθήματος, όταν λάβει προβιβάσιμο βαθμό στην τελική εξέταση.**

Στο εργαστήριο προσέρχεται ο φοιτητής έχοντας οπωσδήποτε το έντυπο αυτό, ΜΟΛΥΒΙ, γόμα, στυλό και χάρακα και διεξάγεται η άσκηση σύμφωνα με τις οδηγίες που είναι γραμμένες στο έντυπο αυτό στη παράγραφο : **Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού).** Εκεί θα συμπληρώνονται οι απαραίτητοι Πίνακες, θα γίνεται η απαραίτητη επεξεργασία των μετρήσεων, θα γίνονται οι απαραίτητες γραφικές παραστάσεις και θα απαντώνται γραπτώς οι σχετικές ερωτήσεις. **Αυτό το τμήμα θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέσα στις δύο ώρες όπου διεξάγεται η άσκηση, στο τέλος της οποίας ελέγχεται και θα υπογράφεται θα βαθμολογείται από τους διδάσκοντες και ο βαθμός θα υπολογίζεται στο 20 % του τελικού βαθμού του μαθήματος αφού λάβει προβιβάσιμο βαθμό στην τελική εξέταση.**

ΑΠΟΥΣΙΕΣ : Δεν επιτρέπονται απουσίες. *Μόνο μία απουσία* επιτρέπεται μόνο για *σοβαρούς λόγους* και η άσκηση που θα έχει απουσιάσει θα αναπληρώνεται στο τέλος του εξαμήνου μετά από σχετική ανακοίνωση.

ΔΙΚΑΙΩΜΑ ΓΙΑ ΣΥΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ : **ΜΟΝΟ** οι φοιτητές που έχουν ολοκληρώσει όλες τις ασκήσεις έχουν δικαίωμα να λάβουν μέρος στην τελική εξέταση για να ολοκληρώσουν με επιτυχία το μάθημα. Αν ο φοιτητής δεν ολοκληρώσει όλες τις ασκήσεις με επιτυχία δεν έχει δικαίωμα να προσέλθει στη τελική εξέταση και θα πρέπει να επαναλάβει όλες τις ασκήσεις σε επόμενη χρονιά.

Η ΤΕΛΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ θα γίνεται στο τέλος του εξαμήνου όταν ολοκληρωθούν όλες οι ασκήσεις και θα γίνεται εξέταση σε όλες τις ασκήσεις που έγιναν. *Θα πρέπει ο φοιτητής να λάβει στην εξέταση αυτή βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 5.* Ο βαθμός αυτός θα υπολογίζεται σε ποσοστό 60 % στο τελικό βαθμό του μαθήματος μαζί με τους βαθμούς που έλαβε στο εργαστήριο.

Αν ο φοιτητής στη τελική εξέταση *λάβει βαθμό μικρότερο του 5, τότε θα λαμβάνει μόνο το βαθμό της τελικής εξέτασης στο μάθημα και θα πρέπει να εξεταστεί και πάλι σε επόμενη επαναληπτική εξέταση χωρίς να επαναλάβει τα εργαστήρια αφού τα έχει ήδη ολοκληρώσει.* Αν σε επαναληπτική εξέταση λάβει προβιβάσιμο βαθμό, τότε αυτός θα συνυπολογίζεται σε ποσοστό 60 % του τελικού βαθμού μαζί με τους βαθμούς που έλαβε στο εργαστήριο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΑΣΚΗΣΗ 1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ-ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	5
ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Εύρεση πυκνότητας σωμάτων με χρήση διαστημομέτρου και ζυγού ακριβείας και ταυτοποίηση των σωμάτων.	
ΑΣΚΗΣΗ 2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΒΑΘΜΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ με χρήση πολυμέτρου	17
ΑΣΚΗΣΗ 3 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ με χρήση πολυμέτρου	29
ΑΣΚΗΣΗ 4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ με χρήση παλμογράφου ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Αποστασιόμετρο-radar	41
ΑΣΚΗΣΗ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RC ΕΦΑΡΜΟΓΗ: χαμηλοπερατό-υψηλοπερατό φίλτρο (low-high pass filter) με χρήση παλμογράφου	53
ΑΣΚΗΣΗ 6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: Βαθμολογία μαγνητομέτρου, προσδιορισμός της σταθεράς μ_0 , εύρεση μαγνητικού πεδίου από το διάνυσμα της μαγνητικής δύναμης σε ηλεκτρικό αγωγό	67

ΑΣΚΗΣΗ 1

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ-ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

Σκοπός: Να κατανοήσουμε τι είναι σημαντικά ψηφία, τι είναι ακρίβεια ή σφάλμα μετρήσεως, πως υπολογίζουμε τη μετάδοση σφάλματος από υπολογισμούς. Όλα αυτά εφαρμόζονται στη μέτρηση πυκνότητα σώματος.

Τα παρακάτω είναι πολύ σημαντικά και πρέπει να τα ακολουθούμε σε κάθε εργαστηριακή άσκηση.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

1. Ζυγός ακριβείας
2. Διαστημόμετρο.

A. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΗ

1. Όταν κάνω μια μέτρηση γράφω όλα τα ψηφία που μετρώ μέχρι και το τελευταίο ψηφίο, το λεγόμενο **αβέβαιο ψηφίο**, το οποίο καθορίζεται από την ακρίβεια του οργάνου ή από το σφάλμα της μέτρησης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : ΚΑΝΕΝΑ ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΣΟ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝ ΕΙΝΑΙ **ΠΑΝΤΑ** ΕΧΕΙ ΜΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΑΒΕΒΑΙΟ ΨΗΦΙΟ, ΠΕΡΑΝ ΤΟΥ ΟΠΟΙΟΥ ΔΕΝ ΓΝΩΡΙΖΩ ΚΑΙ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΝΟΗΜΑ ΚΑΙ **ΕΙΝΑΙ ΕΣΦΑΛΜΕΝΟ** ΝΑ ΓΡΑΦΩ ΨΗΦΙΑ.

2. Έστω ότι μετράω το μήκος L ενός σώματος χρησιμοποιώντας ένα χάρακα που έχει ακρίβεια $\Delta L=0,1$ cm. Έστω ότι βρίσκω $L=5,3$ cm. Τότε λέμε ότι η μέτρηση του μήκους έχει 2 σημαντικά ψηφία ($\Sigma\Psi$), το αβέβαιο ψηφίο είναι το 3 και γράφω $L\pm\Delta L=(5,3\pm 0,1)$ cm.

Η ακρίβεια του οργάνου και γενικότερα το σφάλμα το γράφω πάντα με 1 ΣΨ δεν έχουν νόημα και είναι λάθος να γράφω περισσότερα από 1 ΣΨ στην ακρίβεια ή το σφάλμα, γιατί δηλώνει το αβέβαιο ψηφίο και έτσι εξ' ορισμού έχει 1 ΣΨ.

3. Αν μετρήσω 15,3 cm τότε έχω 3 ΣΨ.

4. Αν μετρήσω 0,5 cm, τότε έχω 1 ΣΨ, γιατί στην αρχή του αριθμού τα μηδενικά δεν είναι ΣΨ.

Έτσι τον αριθμό 5,3 μπορώ να τον γράψω

$0,53 \times 10$ το οποίο γράφεται ακόμα σαν $0,053 \times 10^2$ ή $0,0053 \times 10^3$ ή

γιατί σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα ΣΨ παραμένουν 3. Έτσι μπορώ να προσθέτω εμπρός από τον αριθμό όσα μηδενικά θέλω γιατί πάντα γράφεται με κατάλληλη δύναμη του 10 χωρίς να αλλάζουν τα ΣΨ.

5. Αντίθετα δεν μπορώ να προσθέτω αυθαίρετα μηδενικά στο τέλος, γιατί αυξάνω αυθαίρετα τα σημαντικά ψηφία. Παράδειγμα το 5,3 δεν μπορώ να το γράψω σαν

5,30 (3 ΣΨ) ή 5,300 (4 ΣΨ) ή 5,30000 (6 ΣΨ).....

6. Φυσικά τα μηδενικά ενδιάμεσα στα ψηφία του αριθμού είναι πάντα ΣΨ,

παράδειγμα ο 5,03 έχει 3 ΣΨ.

7. Αν στη μέτρηση με το χάρακα έβρισκα ακριβώς 5 cm τότε πρέπει να γράψω 5,0 cm ή στη μορφή $L \pm \Delta L = (5,0 \pm 0,1)$ cm. Αν έγραφα 5, τότε θα εννοούσα εσφαλμένα ότι έχω ακρίβεια στα cm και όχι στο δέκατο 0,1 cm.

Αν η ακρίβεια του χάρακα ήταν μεγαλύτερη, τότε την τιμή 5 ακριβώς θα την έγραφα προσθέτοντας και τα απαραίτητα μηδενικά π.χ. αν $\Delta L = 0.002$ cm, τότε θα έγραφα $(5,000 \pm 0,002)$ cm

8. Αν μέτραγα L 340 m, με ακρίβεια 10 m, τότε δεν μπορώ να γράψω 340 m γιατί θα εννοούσα εσφαλμένα ότι έχω ακρίβεια στο μέτρο (1 m) ή μερικά μέτρα. Το σωστό θα είναι να γράψω: $L \pm \Delta L = (3,4 \pm 0,1) \times 10^2$ m.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΑΠΟ ΠΡΑΞΕΙΣ

Γενικά όταν κάνω πράξεις πρόσθεση, αφαίρεση, πολ/σμό, διαίρεση ισχύει ο κανόνας ότι κρατώ τόσα σημαντικά ψηφία (ΣΨ) όσα ο αριθμός με τα λιγότερα ΣΨ.

Παραδείγματα:

Πρόσθεση : 213,54 (5 ΣΨ)

+504,3?(4 ΣΨ)

=717,8?(4 ΣΨ)

προφανώς το 5^ο ΣΨ δεν το γνωρίζω στον 2^ο προσθετέο, οπότε αυτό το ψηφίο δεν μπορώ να το υπολογίσω στη πρόσθεση και για αυτό γράφω το αποτέλεσμα με μόνο 4 ΣΨ, δηλ όσα ο αριθμός (504,3) με τα λιγότερα ΣΨ.

Στον πολ/σμό $845,32 \times 2.3$ το κομπιουτεράκι θα μου δώσει αποτέλεσμα 1691,236.

Όμως θα γράψω σαν αποτέλεσμα

$$735,32 \times 2,3 = 1,7 \times 10^3$$

(5 ΣΨ) (2ΣΨ) (2ΣΨ)

γιατί ο αριθμός με τα λιγότερα ΣΨ είναι ο 2,3 (2ΣΨ) άρα το αποτέλεσμα θα έχει 2 ΣΨ, δηλ. 1,7

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής:

Ο 2,3 έχει 2ΣΨ και δηλώνει ακρίβεια τουλάχιστον 0,1. Εάν κάνω σφάλμα 0,1, δηλ αν αντί για 2,3 πολλαπλασιάσω με το 2,4 τότε θα πάρω αποτέλεσμα

$$735,32 \times 2,4 = 1764,768 \text{ αντί για } 1691,236.$$

Δηλ. το σφάλμα μεταδίδεται στο 2^ο ΣΨ του γινομένου και για αυτό γράφω το αποτέλεσμα $1,7 \times 10^3$ με μόνο 2ΣΨ, δηλ όσα και ο αριθμός (2,3) με τα λιγότερα ΣΨ.

ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Έστω ότι υπολογίζω την ταχύτητα $v=x/t$ ενός σώματος που προκύπτει από μετρήσεις του διαστήματος x και του χρόνου t .

Όμως το διάστημα μετρείται με ακρίβεια Δx και ο χρόνος μετρείται με ακρίβεια Δt Επομένως έχω κάποια ακρίβεια Δv στον υπολογισμό της ταχύτητας.

Επομένως πρέπει να υπολογίσω πόσο σφάλμα Δv μεταδίδεται στον υπολογισμό της v από τα Δx και τα Δt .

Παράδειγμα

Έστω ότι μετρώ το $x=54,3$ m με ακρίβεια $\Delta x=0,1$ m και

$t=12,35$ s με ακρίβεια $\Delta t=0,02$ s.

Υπολογίζω $v=54,3 \text{ m} / 12,35 \text{ s} = 4,3967611336 \dots \text{ m/s}$

Με πόσα ΣΨ μπορώ να γράψω το αποτέλεσμα της v ?

Δηλ. θα πρέπει να υπολογίσω πόση είναι η ακρίβεια Δv στον υπολογισμό της v .

Πρακτικά,

μπορώ να εκτιμήσω το σφάλμα Δv_x που μεταδίδεται στον υπολογισμό της v από το σφάλμα $\Delta x=0,1$ m υπολογίζοντας π.χ. την

$$v = (x+\Delta x)/t = (54,3+0,1) \text{ m} / 12,35 \text{ s} = 4,404858299 \dots \text{ m/s}$$

δηλ κάνω σφάλμα $\Delta v_x = 4,404858299 - 4,3967611336 = 0,0518 \text{ m/s}$

ή $\Delta v_x = 0,05 \text{ m/s}$.

Μπορώ επίσης να εκτιμήσω το σφάλμα Δv_t που μεταδίδεται στον υπολογισμό της v από το σφάλμα $\Delta t=0,02$ s υπολογίζοντας τη

$$v = x/(t+\Delta t) = 54,3 \text{ m} / (12,35+0.02) \text{ s} = 4,38965238 \dots \text{ m/s}$$

$$\text{δηλ. κάνω σφάλμα } \Delta v_t = 4,3967611336 \text{ m/s} - 4,38965238 \text{ m/s} = 0,071086 \text{ m/s.}$$

$$\text{ή } \Delta v_t = 0.07 \text{ m/s}$$

Επομένως θα υπολογίσω το πιθανό σφάλμα στη ταχύτητα

$$\Delta v = [(\Delta v_x)^2 + (\Delta v_t)^2]^{0.5} = (0,0518^2 + 0,071086^2)^{0.5} \text{ m/s} =$$

$$= (0.005005 + 0.002683)^{0.5} \text{ m/s} = 0.087955 \text{ m/s} \text{ δηλ. } \Delta v = 0.09 \text{ m/s}$$

Ακριβής υπολογισμός μετάδοσης σφάλματος

Όμως μπορώ να υπολογίσω με ακρίβεια θεωρητικά τα Δv , Δv_x και Δv_t

Παρατηρώ πως το Δv_x το υπολόγισα πριν από

$$\Delta v_x = (x+\Delta x)/t - x/t = (\text{ρυθμός που αλλάζει η ταχύτητα ανά μονάδα μήκους}) \Delta x$$

(ρυθμός που αλλάζει η ταχύτητα ανά μονάδα μήκους) = παράγωγος της v ως προς x .

Επειδή έχουμε 2 μεταβλητές $v(x,t)$ τότε η παράγωγος ως προς x είναι η μερική παράγωγος της v ως προς x δηλ. $\partial v/\partial x$ όπου παραγωγίζω κανονικά ως προς x θεωρώντας το t σταθερό.

$$\text{Άρα } \Delta v_x = \partial v/\partial x \Delta x = [\partial/\partial x (x/t)] \Delta x = 1/t \Delta x = (1/12,35) 0.1 \text{ m/s} = 0.080971 \text{ m/s}$$

Ανάλογα

$$\Delta v_t = \partial v/\partial t \Delta t = [\partial/\partial t (x/t)] \Delta t = x/t^2 \Delta t = 54,3/(12,35)^2 0.02 \text{ m/s} = 0.07149 \text{ m/s}$$

Επομένως θα υπολογίσω το πιθανό σφάλμα στη ταχύτητα

$$\Delta v = [(\Delta v_x)^2 + (\Delta v_t)^2]^{0.5} = (0.080971^2 + 0.07149^2)^{0.5} \text{ m/s} =$$

$$= (0.006556 + 0.0051108)^{0.5} \text{ m/s} = 0.1080129 \text{ m/s} \text{ δηλ. } \Delta v = 0.1 \text{ m/s}$$

Άρα $v \pm \Delta v = 54,3 \text{ m} / 12,35 \text{ s} \pm 0.1 = (4,3967611336 \pm 0.1) \text{ m/s}$, όπου το τελευταίο ψηφίο στρογγυλοποιείται αν το επόμενο ψηφίο είναι 5 και μεγαλύτερο όπως παραπάνω το 4,39 γίνεται 4,4

$$v \pm \Delta v = (4,4 \pm 0,1) \text{ m/s}$$

B. ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

Θα πρέπει να έχετε μελετήσει και κατανοήσει όλα τα παραπάνω εισαγωγικά στοιχεία.

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις κατανόησης.

Σημειώστε δίπλα στους παρακάτω αριθμούς πόσα σημαντικά ψηφία έχουν.

23,54

13,540

1800.000

0.000018000

Γράψτε τα αποτελέσματα των παρακάτω πράξεων με τα σωστά ΣΨ.

$$245,2734 \times 56,21 =$$

$$846,7235 + 76,79 =$$

$$0,0234 \times 5,4857 =$$

Έστω ότι ζυγίζω τη μάζα ενός σώματος και το βρίσκω ενάμιση τόνο (1500 Kg) με ακρίβεια 100 Kg. Γράψτε τη μάζα του σώματος στη μορφή :

$$m \pm \Delta m = (\dots \pm \dots) \text{ Kg}$$

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

Θα προσδιοριστεί η πυκνότητα διαφόρων σωμάτων και ακολούθως από τις μετρούμενες τιμές γίνεται η ταυτοποίηση του υλικού.

Μάζα σωμάτων

- 1.** Με τη βοήθεια του ζυγού ζυγίστε τη μάζα m_i ενός από τα σώματα σφαίρα, κύβος και κύλινδρος που σας διατίθενται για μέτρηση.
- 2.** Καταγράψτε τη τιμή της μάζας στο Πίνακα I και σημειώστε την ακρίβεια της κάθε μέτρησης Δm_i . Είναι συνήθως η ακρίβεια του οργάνου, το τελευταίο ψηφίο που αλλάζει μεταξύ δύο τιμών.

Διαστάσεις σωμάτων

1. Μετρήστε και καταγράψτε τις απαραίτητες διαστάσεις L, (μήκος, ύψος, πλάτος, , διάμετρος) των σωμάτων για τον προσδιορισμό του όγκου των.
2. Σημειώστε την ακρίβεια της κάθε μέτρησης ΔL_i (συνήθως είναι η ακρίβεια του διαστημομέτρου αν οι διαστάσεις του σώματος δεν μεταβάλλονται περισσότερο από αυτή την ακρίβεια).
3. Σε κάθε μέτρηση προσέξτε να γράψτε τουλάχιστον τόσα σημαντικά ψηφία ώστε ο αριθμός να συμφωνεί με την ακρίβεια της κάθε μέτρησης (δεν κόβω κανένα ψηφίο, αν το 0 είναι στο τέλος του αριθμού το γράφω, ούτε προσθέτω αυθαίρετα ψηφία).

Πίνακας 1

Μάζα $\Delta m = \dots\dots\dots g$ $m = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots g$	Μήκος $\Delta L = \dots\dots\dots cm$ $L = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots cm$	Μήκος $\Delta h = \dots\dots\dots cm$ $h = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots cm$	Μήκος $\Delta d = \dots\dots\dots cm$ $d = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots cm$
---	---	--	--

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Υπολογισμός πυκνότητας.

1. Υπολογίστε τη πυκνότητα ρ του σώματος.
2. Υπολογίστε το σφάλμα $\Delta \rho_i$ που μεταδίδεται στον υπολογισμό της ρ_i (κανόνες μετάδοσης σφάλματος ακολουθώντας ανάλογη διαδικασία με τα παρακάτω παραδείγματα).

Παραδείγματα

Υπολογισμού του σφάλματος της μέτρησης πυκνότητας σώματος

1^ο Παράδειγμα

Θέλω να υπολογίσω τη πυκνότητα μιας σφαίρας. Έτσι ζύγισα τη μάζα $m=4.17654 g$, με ακρίβεια $\Delta m=\pm 0.00003 g$, και την διάμετρο $d=4.28$, με ακρίβεια $\Delta d=\pm 0.02 cm$ άρα η ακτίνα είναι $R=d/2=2.14 cm$ και η ακρίβεια $\Delta R=\Delta d/2=\pm 0.01 cm$. ($V_{σφαίρας} = 4/3\pi R^3$)

Να υπολογιστεί η ακρίβεια (σφάλμα) $\Delta\rho$ στον υπολογισμό της πυκνότητας.

Γράψτε το αποτέλεσμα σαν $\rho \pm \Delta\rho$ με τα σωστά ΣΨ.

Υπόδειξη : Να υπολογίσετε το σφάλμα $\Delta\rho_m$ που μεταδίδεται στη ρ όταν μεταβάλλεται η m κατά $\Delta m=0.00003$ g και το σφάλμα $\Delta\rho_R$ που μεταδίδεται στη ρ όταν μεταβάλλεται η ακτίνα R κατά $\Delta R=0.02$ cm.

$$\Delta\rho_m = (\partial\rho/\partial m) \Delta m = (\partial (m/(\pi R^2)) / \partial m) \Delta m = 1/(\pi R^2) \Delta m = \dots\dots$$

$$\Delta\rho_R = (\partial\rho/\partial R) \Delta R = (\partial(m/(\pi R^2)) / \partial R) \Delta R = \dots\dots$$

Τότε το (σφάλμα) $\Delta\rho$ στον υπολογισμό της πυκνότητας θα είναι

$$\Delta\rho = (\Delta\rho_m^2 + \Delta\rho_R^2)^{0.5}$$

Θα στρογγυλέψετε το $\Delta\rho$ στο 1 ΣΨ, π.χ. αν $\Delta\rho=0.0023492$ g/cm³ τότε θα πρέπει να γράψετε $\Delta\rho=0.002$ g/cm³

Αν βρείτε $\rho=0.01736$ g/cm³, τότε θα γράψετε τόσα Σ.Ψ. στη ρ μέχρι το 1ΣΨ της $\Delta\rho=0.002$ g/cm³ δηλ.

$$\rho \pm \Delta\rho \quad (0.01736 \pm 0.002) \text{ g/cm}^3 \text{ \u2192 \u00acra } (0.017 \pm 0.002) \text{ g}$$

το 2 στο σφάλμα αντιστοιχεί στο ψηφίο 7 της ρ

2^o Παράδειγμα

Παράδειγμα υπολογισμού μετάδοσης σφάλματος στον υπολογισμό της πυκνότητας ενός ορθογώνιου παραλληλογράμμου μάζας $m=3.253\text{g}\pm 0.001\text{g}$, διαστάσεων $L_1=(5.35\pm 0.05)\text{mm}$,

$L_2=(9.20\pm 0.05)\text{mm}$, $L_3=(2.75\pm 0.05)\text{mm}$, ποιο από τα παραπάνω σφάλματα συνεισφέρει περισσότερο στο σφάλμα της $\Delta\rho$?

Η πυκνότητα υπολογίζεται από $\rho=m/V$ όπου

$$V=L_1L_2L_3=5.35 \times 9.20 \times 2.75 \text{ mm}^3=135.355 \text{ mm}^3.$$

Γράφω όλα τα ψηφία του αποτελέσματος χωρίς να στρογγυλεύω πριν από τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος της ρ , γιατί θα έχω επιπλέον σφάλμα από τις ενδιάμεσες στρογγυλοποιήσεις.

\u00acρα η πυκνότητα θα είναι

$$\rho = 3.253/135.355 \text{ g/mm}^3 \text{ \u2264 } \rho = 0.024033\text{g/mm}^3 \pm \Delta\rho$$

Π\u00f3σο \u00f3μως \u00e9ιναι το αναμεν\u00f3μενο σφάλμα $\Delta\rho$ στον υπολογισμό της ρ ?

Στο $\Delta\rho$ μεταδίδεται ένα σφάλμα $\Delta\rho_m$ από τη ακρίβεια Δm μέτρησης της μάζας και τρία σφάλματα $\Delta\rho_{L1}$, $\Delta\rho_{L2}$, $\Delta\rho_{L3}$ από τη ακρίβειες ΔL_i των μετρήσεων των 3 διαστάσεων του σώματος δηλ.

$$\Delta\rho = [(\Delta\rho_m)^2 + (\Delta\rho_{L1})^2 + (\Delta\rho_{L2})^2 + (\Delta\rho_{L3})^2]^{1/2}$$

Γενικώς η κάθε συμβολή $\Delta\rho_i$ υπολογίζεται ως εξής :

Η $\Delta\rho_m$ είναι ανάλογος του ρυθμού μεταβολής της πυκνότητας ως προς τη μεταβολή της ρ από τη

μάζα $\frac{\Delta\rho}{\Delta m}$ πολλαπλασιασμένο με την ακρίβεια μέτρησης της μάζας Δm

$$\Delta\rho_m = \frac{\Delta\rho}{\Delta m} \Delta m$$

Στη πραγματικότητα ο ρυθμός $\frac{\Delta\rho}{\Delta m}$ είναι η παράγωγος της ρ ως προς m ή πιο καλλίτερα η μερική παράγωγος της ρ ως προς m που γράφεται $\frac{\partial\rho}{\partial m}$ άρα

$$\Delta\rho_m = \frac{\partial\rho}{\partial m} \Delta m$$

Μερική παράγωγος είναι πρακτικά ότι και η απλή παράγωγος αλλά εφαρμόζεται σε συνάρτηση που περιέχει περισσότερες της μιας μεταβλητής όπως στη περίπτωση της πυκνότητας ρ η οποία περιέχει 4 μεταβλητές m , L_1 , L_2 , L_3 αφού

$$\rho(m, L_1, L_2, L_3) = m / (L_1 L_2 L_3)$$

Άρα $\frac{\partial\rho}{\partial m} = \frac{\partial}{\partial m} \left(\frac{m}{L_1 L_2 L_3} \right) = \left(\frac{1}{L_1 L_2 L_3} \right)$ δηλ παραγωγίζω ως προς m όπως ξέρω θεωρώντας τις υπόλοιπες μεταβλητές L_1 , L_2 , L_3 σαν σταθερές. Άρα

$$\Delta\rho_m = \frac{\partial\rho}{\partial m} \Delta m = \frac{\partial}{\partial m} \left(\frac{m}{L_1 L_2 L_3} \right) \Delta m = \left(\frac{1}{L_1 L_2 L_3} \right) \Delta m = \left(\frac{1}{5.35 \times 9.20 \times 2.75 \text{ mm}^3} \right) 0.001 \text{ g}$$

$\Delta\rho_m = 0.0000073 \text{ g/mm}^3$ και επειδή πάντα το σφάλμα στρογγυλεύεται σε 1 σημαντικό ψηφίο (ΣΨ) γράφω $\Delta\rho_m = 0.000007 \text{ g/mm}^3$

Επαναλαμβάνω τα ίδια και για τις άλλες συμβολές $\Delta\rho_{L1}$, $\Delta\rho_{L2}$, $\Delta\rho_{L3}$ στο συνολικό σφάλμα $\Delta\rho$ δηλ.

στρογγυλεύοντας σε 1 ΣΨ

Επαναλαμβάνοντας τα ίδια βρίσκω και

$$\text{Επομένως } \Delta\rho = [(\Delta\rho_m)^2 + (\Delta\rho_{L1})^2 + (\Delta\rho_{L2})^2 + (\Delta\rho_{L3})^2]^{1/2}$$

$$\Delta\rho = [(0.000007)^2 + (-0.004)^2 + (-0.003)^2 + (-0.009)^2]^{1/2}$$

Παρατηρώ πως τη μεγαλύτερη συμμετοχή στο σφάλμα την έχει η μέτρηση του L_3 και τη μικρότερη η μέτρηση της m .

Βρίσκω τελικά

$$\Delta\rho = 0.0078 \text{ g/mm}^3 \text{ στρογγυλεύοντας σε 1 ΣΨ } \Delta\rho = 0.008 \text{ g/mm}^3 .$$

Άρα

$$\rho = 0.024033 \text{ g/mm}^3 \pm 0.008 \text{ g/mm}^3 \text{ βλέπω πως το σφάλμα είναι τελικά στο 3}^\circ \text{ ψηφίο}$$

μετά την υποδιαστολή της τιμής του ρ άρα τα υπόλοιπα ψηφία αγνοούνται και πρέπει να παραλείπονται δηλ.

$$\rho = 0.024 \text{ g/mm}^3 \pm 0.008 \text{ g/mm}^3$$

Αν θέλω να βρω σε πιο πιθανό στοιχείο του περιοδικού πίνακα αντιστοιχεί η πυκνότητα που βρήκα θα αντιστοιχίσω όλα τα στοιχεία που παρουσιάζουν πυκνότητες στο διάστημα $0.024 \text{ g/mm}^3 \pm 0.008 \text{ g/mm}^3$

δηλ μεταξύ 0.016 και 0.032 g/mm^3 και μεταξύ αυτών θα επιλέξω το πιο κατάλληλο που ταιριάζει από άλλες ιδιότητες όπως πχ χρώμα του σώματος.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ του Δρ

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

3. Γράψτε τον κάθε υπολογισμό με τη τελική μορφή ρ_i Δρ_i με τα σωστά σημαντικά ψηφία.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

ρ Δρ:.....

4. Συγκρίνατε τις πυκνότητες που υπολογίσατε με τις πυκνότητες των σωμάτων με τις τιμές των πυκνοτήτων των στοιχείων στο πίνακα που υπάρχει παρακάτω και βρείτε ποιο είναι το πιθανό υλικό του σώματος από τα υλικά του παρακάτω πίνακος που εμπίπτουν στο παραπάνω διάστημα τιμών ρ Δρ.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Density	Element	Όνομασία		
			7.54 Sm	Σαμάριο
0.53 Li	Λίθιο		7.87 Fe	Σίδηρος
0.86 K	Κάλιο		7.89 Gd	Γαδολίνιο
0.97 Na	Νάτριο		8.25 Tb	Τέρβιο
1.53 Rb	Ρουβίδιο		8.56 Dy	Δυσπρόσιο
1.54 Ca	Ασβέστιο		8.58 Nb	Νιόβιο
1.74 Mg	Μαγνήσιο		8.64 Cd	Κάδμιο
1.82 P	Φώσφορος		8.78 Ho	Όλμιο
1.85 Be	Βήρυλλιο		8.89 Co	Κοβάλτιο
1.9 Cs	Καίσιο		8.91 Ni	Νικέλιο
2.07 S	Θείο		8.92 Cu	Χαλκός
2.33 Si	Πυρίτιο		9.05 Er	Έρβιο
2.35 B	Βόριο		9.2 Po	Πολώνιο
2.63 Sr	Στρόντιο		9.32 Tm	Θούλιο
2.7 Al	Αλουμίνιο		9.8 Bi	Βισμούθιο
2.99 Sc	Σκάνδιο		9.84 Lu	Λουτίσιο
3.14 Br	Βρώμιο		10.07 Ac	Ακτίνιο
3.51 C	Άνθρακας		10.28 Mo	Μολυβδαίνιο
3.65 Ba	Βάριο		10.49 Ag	Άργυρος

4.19 Se	Σέληνιο	11.34 Pb	Μόλυβδος
4.47 Y	Ύτριο	11.49 Tc	Τεχνήτιο
4.51 Ti	Τιτάνιο	11.72 Th	Θόριο
4.94 I	Ιώδιο	11.85 Tl	Θάλλιο
5.25 Eu	Ευρώπιο	12.02 Pd	Παλλάδιο
5.32 Ge	Γερμάνιο	12.41 Rh	Ρόδιο
5.5 Ra	Ράδιο	12.45 Ru	Ρουθένιο
5.72 As	Αρσενικό	13.25 Bk	Μπερκέλιο
5.91 Ga	Γάλλιο	13.31 Hf	Άφνιο
6.09 V	Βανάδιο	13.51 Cm	Κιούριο
6.16 La	Λανθάνιο	13.55 Hg	Υδράργυρος
6.25 Te	Τελλούριο	13.67 Am	Αμερίκιο
6.48 Pr	Πρασεοδύμιο	15.1 Cf	Καλιφόρνιο
6.51 Zr	Ζιρκόνιο	15.37 Pa	Πρωτακτίνιο
6.69 Sb	Αντιμόνιο	16.68 Ta	Ταντάλιο
6.77 Ce	Δημήτριο	18.97 U	Ουράνιο
6.97 Yb	Υπέρβιο	19.26 W	Βολφράμιο(Τανγκοστένιο)
7 Nd	Νεοδύμιο	19.32 Au	Χρυσός
7.14 Cr	Χρώμιο	19.74 Pu	Πλουτώνιο
7.14 Zn	Ψευδάργυρος	20.48 Np	Νεπτούνιο(Ποσειδώνιο)
7.22 Pm	Προμήθειο	21.03 Re	Ρήνιο
7.29 Sn	Κασσίτερος	21.45 Pt	Λευκόχρυσος
7.31 In	Ίνδιο	22.61 Os	Όσμιο
7.44 Mn	Μαγγάνιο	22.65 Ir	Ιρίδιο

(σε g/cm³)

Κόκκινα=υγρά

ΑΣΚΗΣΗ 2

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΒΑΘΜΙΔΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

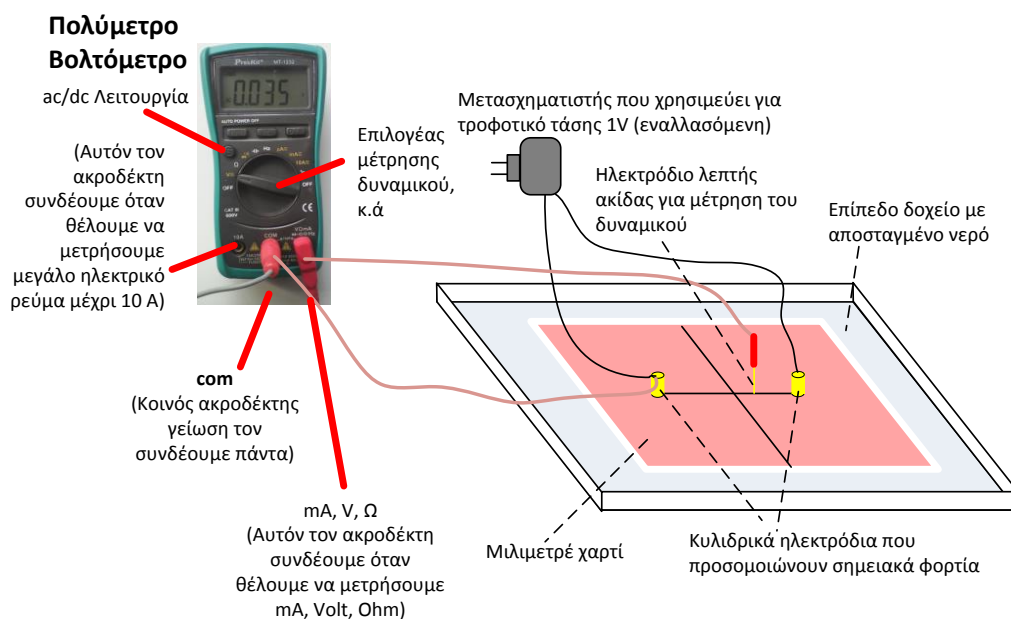
με χρήση πολυμέτρου

ΣΚΟΠΟΣ : Προσδιορισμός Ηλεκτρικού πεδίο από τη βαθμίδα δυναμικού.

- Κατά μήκος δυο σημειακών φορτίων.
- Κατά μήκος δύο επίπεδων παράλληλων αγώγιμων πλακών.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

- Επίπεδο δοχείο με αποσταγμένο νερό.
- Τροφοδοτικό τάσης.
- Επίπεδα και κυλινδρικά ηλεκτρόδια.
- Βολτόμετρο με 2 ακροδέκτες.

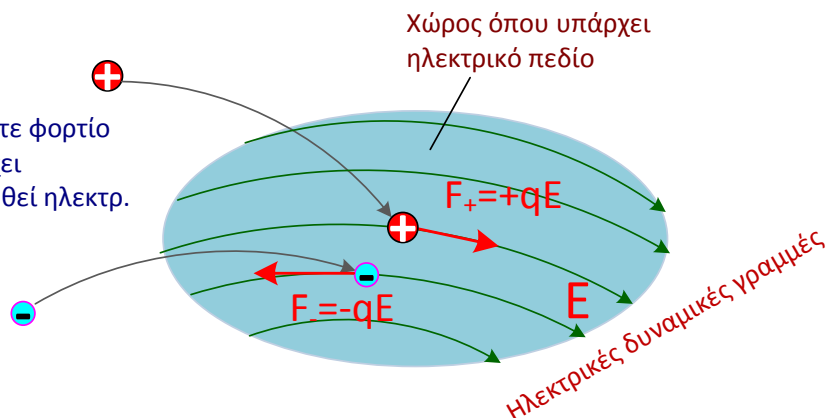


Σχήμα 1 Πειραματική διάταξη.

A. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Τι είναι ηλεκτρικό πεδίο. Είναι ο χώρος όπου όταν εισάγουμε ηλεκτρικό φορτίο q τότε ασκείται από το ηλεκτρικό πεδίο E ηλεκτρική δύναμη $F=qE$.

Αν τοποθετήσω ένα οποιοδήποτε φορτίο (+q ή -q) στο χώρο όπου υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο E τότε θα ασκηθεί ηλεκτρ. δύναμη : $F = (+,-) qE$



Τι είναι ηλεκτρική δυναμική γραμμή. Είναι η γραμμή όπου σε κάθε σημείο της το ηλεκτρικό πεδίο είναι εφαπτόμενο στη γραμμή. Οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από τα θετικά φορτία και καταλήγουν στα αρνητικά φορτία.

Τι είναι δυναμικό V(r) σε μια τυχαία θέση r του ηλεκτρικού πεδίου E. Είναι η δυναμική ενέργεια U(r) του πεδίου στη θέση r ανά μονάδα φορτίου Cb (Coulomb) $V(r)=U(r)/q$, όπου q το φορτίο που έχει τοποθετηθεί στη θέση r και έχει μονάδα μέτρησης 1Volt (V) δηλ. $1V=1J/Cb$

Τι είναι διαφορά δυναμικού ΔV(r12) μεταξύ δύο θέσεων r1 και r2 ενός ηλεκτρικού πεδίου. Είναι η διαφορά δυναμικού ή δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα φορτίου μεταξύ των δύο θέσεων $\Delta V(r_{12})= V(r_1)-\Delta V(r_2)=U(r_1)/q-U(r_2)/q= \Delta U(r_{12})/q$

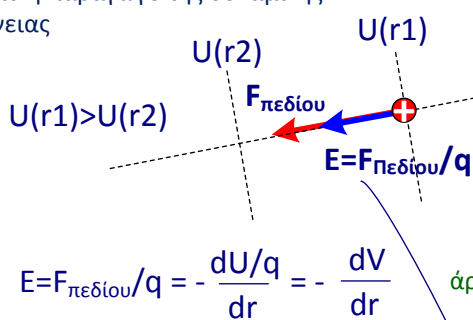
Γνωρίζω πως σε συντηρητικό πεδίο, όπως είναι το ηλεκτρικό πεδίο, η δύναμη του πεδίου δίδεται από την αρνητική παράγωγο της δυναμικής ενέργειας

$$F_{\text{πεδίου}} = - \frac{dU}{dr} \quad \text{Που είναι η αρνητική παράγωγος ή βαθμίδα της δυναμικής ενέργειας}$$

$$dw = F_{\text{πεδίου}} dr = -dU$$

Αυτό εκφράζει το γεγονός πως η δύναμη του ηλεκτρ. πεδίου θα μετακινήσει ένα θετικό φορτίο +q, και επομένως έτσι θα παράγει έργο $0 < dw = F_{\text{πεδίου}} dr$, μεταφέροντας το φορτίο από υψηλή U(r1) σε χαμηλή δυν ενέργεια U(r2), γιατί έτσι ελαττώνεται η ενέργεια $\Delta U < 0$ ώστε:

$$0 < dw = F_{\text{πεδίου}} dr = -dU \quad \text{με} \quad dU < 0$$



Άρα $E = - \frac{dV}{dr}$ Δηλ η αρνητική παράγωγος του δυναμικού V ως προς τη μετατόπιση r μας παρέχει την ένταση του ηλεκτρ. πεδίου E

Αυτό σημαίνει πως το διάνυσμα έχει διεύθυνση και φορά προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται το δυναμικό $dV < 0$

Επομένως αν μετράμε τη διαφορά δυναμικού ΔV, Π.χ. με ένα βολτόμετρο, κατά μήκος μιας μικρής διαδρομής Δr, τότε το ηλεκτρικό πεδίο Er κατά τη διεύθυνση r θα δίνεται από το αρνητικό ηλίκο :

$$E_r = - \frac{\Delta V}{\Delta r} \quad \text{Και μετρείται σε μονάδες V/cm ή V/m}$$

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Όταν τοποθετήσουμε ηλεκτρόδια μέσα σε αποσταγμένο νερό, και εφαρμόσουμε μια συνεχή τάση σε αυτά, τότε εφαρμόζεται κάποιο ηλεκτρικό πεδίο E με το οποίο θετικά ιόντα του νερού έλκονται από το

αρνητικό ηλεκτρόδιο και αρνητικά ιόντα του νερού έλκονται από το θετικό ηλεκτρόδιο. Από αυτές τις κινήσεις των ιόντων παράγεται ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο νερό και εμφανίζεται πτώση τάσεως ΔV δοχείο με το νερό και στο χώρο ανάμεσα στα ηλεκτρόδια.

Με τη βοήθεια ενός βολτομέτρου (πολύμετρο) μετρούμε τη πτώση τάσεως ΔV ανάμεσα σε γειτονικά σημεία που απέχουν μικρή απόσταση Δx και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο από τη βαθμίδα δυναμικού $E_x = -\Delta V / \Delta x$.

Όμως όταν εφαρμόζουμε συνεχή (dc) τάση τροφοδοσίας στα ηλεκτρόδια τότε παρατηρούμε πως η πτώση τάσεως ΔV που μετρούμε τοποθετώντας την ακίδα από το βολτόμετρο (Βλέπε Σχήμα 1) μέσα στο νερό, τότε παρατηρούμε τη τιμή της ΔV να αλλάζει συνεχώς με τη πάροδο του χρόνου, πιθανότατα από συγκέντρωση ιόντων γύρω από την ακίδα. Το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει όταν εφαρμόζουμε εναλλασσόμενη (ac) τάση στα ηλεκτρόδια, γιατί με τη γρήγορη εναλλαγή της πολικότητας της τάσης δεν προλαβαίνουν να αποκριθούν τα ιόντα και να συσσωρευτούν. Έτσι η μετρούμενη ΔV είναι σταθερή με το χρόνο και έτσι μπορεί να μετρηθεί εύκολα.

B. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20% του βαθμού)

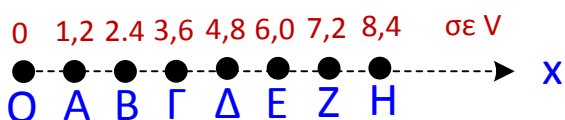
Θα πρέπει να μελετήσετε και να γνωρίζετε τα εξής :

Ηλεκτρικό πεδίο, Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, Δυναμικό, Διαφορά Δυναμικού Εύρεση ηλεκτρικού πεδίου από την βαθμίδα δυναμικού.

ΑΠΑΝΤΗΣΤΕ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1.

Κατά μήκος των σημείων A, B, Γ, Δ, E, Z, H, Θ στη παρακάτω γραμμή Ox τα οποία ισαπέχουν κατά 0.5 cm μετράμε με ένα βολτόμετρο τη διαφορά δυναμικού σε V ως προς την αρχή του άξονα O ως εξής:



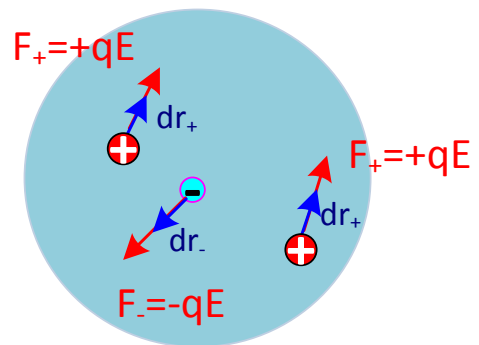
Σημειώστε στο παραπάνω σχήμα τη διεύθυνση και τη φορά του διανύσματος E του ηλεκτρικού πεδίου

Πόση είναι η τιμή του ηλεκτρικού πεδίου? $E = \dots\dots\dots V/cm$

2. Στο διπλανό σχήμα.

Τα δύο θετικά και το ένα αρνητικό φορτίο δέχονται τις δυνάμεις F_+ και F_- από το ηλεκτρικό πεδίο και μετατοπίζονται κατά μικρές αποστάσεις dr_+ και dr_- όπως στο διπλανό σχήμα.

Να σχεδιάσετε από μια πιθανή δυναμική γραμμή του ηλεκτρικού πεδίου που θεωρείτε εσείς ότι περνάει από κάθε ένα από αυτά τα φορτία, καθώς και τη φορά του ηλεκτρικού πεδίου.



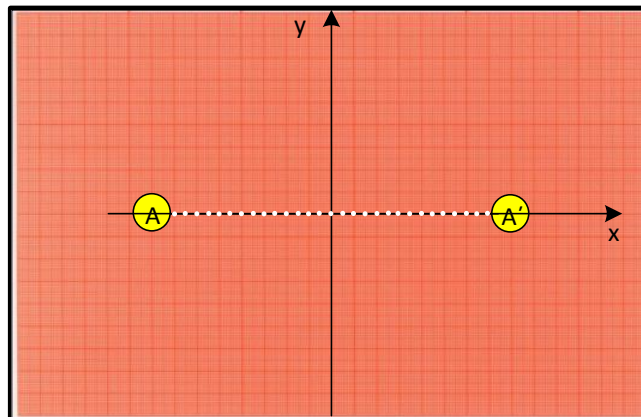
3. Γιατί στην άσκηση αυτή θα προτιμήσουμε να εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη (ac) τάση στα ηλεκτρόδια για να μετρήσουμε από τη βαθμίδα δυναμικού το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο νερό?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

I. Ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο σημειακών φορτίων

1. Έχουμε τοποθετήσει τα δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια που προσομοιώνουν δύο σημειακά φορτία στις θέσεις A και A' που απέχουν 16 cm σε μια επίπεδη λεκάνη που περιέχει αποσταγμένο νερό (Σχήμα 1).



Σχήμα 2 Διάταξη για μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος του ευθύγραμμου τμήματος AA' μεταξύ των δύο κυλινδρικών αγωγών που προσομοιώνουν δύο σημειακά φορτία.

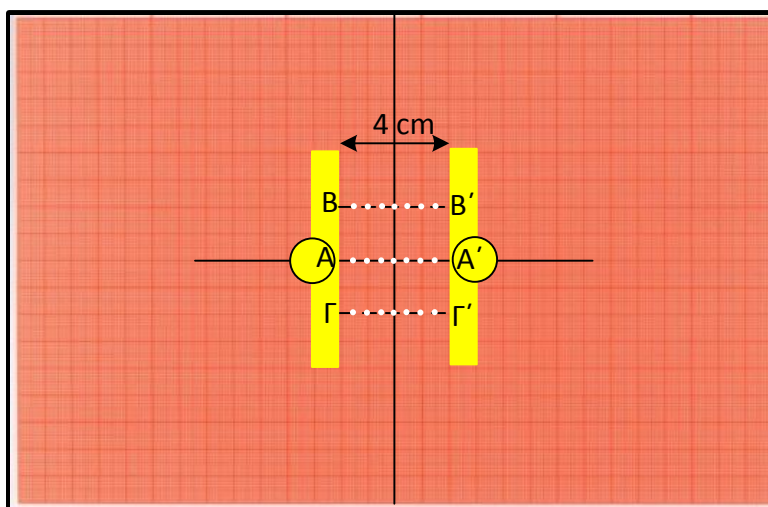
2. Συνδέουμε τους κυλινδρικούς αγωγούς με την έξοδο του τροφοδοτικού (μετασχηματιστής που λειτουργεί στη κατώτερη ac τάση 1.0 V). Χρειάζεται προσοχή ώστε οι αγωγοί να μη έλθουν σε επαφή και βραχυκυκλώσουν το τροφοδοτικό.

3. Συνδέστε το βολτόμετρο με το ένα κυλινδρικό ηλεκτρόδιο (Σχήμα 1) ενώ τον άλλο ακροδέκτη με την ακίδα τοποθετείται κατά μήκος της διεύθυνσης x του ευθύγραμμου τμήματος AA' και σε αποστάσεις που ισαπέχουν κατά 0.5 cm όπως δείχνεται με τις λευκές κουκίδες στο Σχήμα 2 (ξεκινώντας εμπρός από το ηλεκτρόδιο που συνδέουμε τον ένα ακροδέκτη του βολτομέτρου). Τις ενδείξεις $V(x)$ που μετράει το βολτόμετρο καταγράφουμε στο Πίνακα I.

ΠΡΟΣΟΧΗ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είσαστε πολύ προσεκτικοί ώστε να μη κουνήσετε τα ηλεκτρόδια γιατί τότε θα χρειαστεί να επαναλάβετε τις μετρήσεις.

II. Ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο παράλληλων επίπεδων μεταλλικών πλακών

1. Τοποθετούμε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες σε απόσταση μεταξύ τους 4 cm όπως στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3 Διάταξη για μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος παράλληλων πλακών

2. Τοποθετούμε επάνω στις μεταλλικές πλάκες τους κυλινδρικούς αγωγούς που είναι ήδη συνδεδεμένοι με τους πόλους του τροφοδοτικού (μετασχηματιστής που λειτουργεί στη κατώτερη τάση περίπου 1.0 V) για να εξασφαλίσουμε ηλεκτρική επαφή με τις παράλληλες πλάκες. Χρειάζεται προσοχή ώστε τα ηλεκτρόδια να στερεωθούν καλά ώστε να μη κουνηθούν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

3. Συνδέστε το βολτόμετρο με το ένα ηλεκτρόδιο ενώ τον άλλο ακροδέκτη με την ακίδα τον τοποθετείται κατά μήκος της μεσοκαθέτου των δύο παράλληλων πλακών και σε θέσεις x_i που ισαπέχουν κατά $0,5\text{ cm}$ κατά μήκος της AA' (ξεκινώντας εμπρός από το A το ηλεκτρόδιο που συνδέουμε τον ένα ακροδέκτη του βολτομέτρου) και καταγράφεται στο Πίνακα II τη τιμή $V(x_i)$ που μετράει το βολτόμετρο.

4. Επαναλαμβάνεται το ίδιο για τις δύο παράλληλες γραμμές (BB') και ($\Gamma\Gamma'$) που είναι 2 cm επάνω και 2 cm κάτω, αντίστοιχα, από τη AA' και καταγράψτε τις μετρήσεις του $V(x_i)$ στους Πίνακες III και IV, αντίστοιχα.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

A. Ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο σημειακών φορτίων

1. Να υπολογίσετε στο Πίνακα I το $\Delta V(x_{\text{μέσο}}) = V_{i+1} - V_i$ αφαιρώντας από την επόμενη V_{i+1} τιμή τη προηγούμενη V_i τιμή καθώς και το $E_x = \left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right|$, κατόπιν κανονικοποιήστε το E_x διαιρώντας το E_x με τη μεγαλύτερη E_{max} τιμή από τις δύο τιμές του E_x κοντά στα ηλεκτρόδια και το αποτέλεσμα E_x/E_{max} γράψτε το στο Πίνακα I.

2. Στο παρακάτω Διάγραμμα 1 (μιλλιμετρέ χαρτί) να σχεδιάσετε τα πειραματικά σημεία (κύκλοι περίπου 2 mm μέγεθος) της κανονικοποιημένης τιμής του ηλεκτρικού πεδίου E_x/E_{max} (στο y άξονα) έναντι του $x_{\text{μέσο}}$ (στο x άξονα).

3. Γιατί το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνεται κοντά στο κάθε ένα ηλεκτρόδιο?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

3. Θεωρώντας ότι η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου ακολουθεί τον νόμο του $1/x^2$, όπου x η απόσταση από το κάθε ηλεκτρόδιο, στο παραπάνω Διάγραμμα 1 (μιλλιμετρέ χαρτί) έχουν ήδη σχεδιαστεί οι κανονικοποιημένες μεταβολές $1/x^2$ για το αριστερό ηλεκτρόδιο, $1/(16-x)^2$ για το δεξιό ηλεκτρόδιο και η συνολική μεταβολή $1/x^2 + 1/(16-x)^2$ και από τα δύο ηλεκτρόδια έναντι του $x_{\text{μέσο}}$.

4. Το ηλεκτρικό πεδίο συμφωνεί με τον νόμο του $1/x^2$?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5. Θεωρώντας ότι η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου ακολουθεί τον νόμο του $1/x$, στο παραπάνω Διάγραμμα 1 (μιλλιμετρέ χαρτί) έχουν ήδη σχεδιαστεί οι κανονικοποιημένες μεταβολές $1/x$ για το αριστερό ηλεκτρόδιο, $1/(16-x)$ για το δεξιό ηλεκτρόδιο και η συνολική μεταβολή $1/x + 1/(16-x)$ και από τα δύο ηλεκτρόδια έναντι του $x_{\text{μέσο}}$.

6. Το ηλεκτρικό πεδίο συμφωνεί με τον νόμο του $1/x$? Αν ναι προσπαθήστε να το εξηγήσετε.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

B. Ηλεκτρικό πεδίο δύο παράλληλων επίπεδων μεταλλικών πλακών

1. Να υπολογίσετε στους Πίνακες II, III και IV το $\Delta V(x_{\text{μέσο}}) = V_{i+1} - V_i$ αφαιρώντας από την επόμενη V_{i+1} τιμή τη προηγούμενη V_i τιμή καθώς και το $E_x = \left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right|$.

2. Στο παρακάτω Διάγραμμα 2 να κάνετε τη γραφική παράσταση του ηλεκτρικού πεδίου που υπολογίσατε στους Πίνακες II, III, IV, χρησιμοποιώντας διαφορετικά σύμβολα για το ηλεκτρικό πεδίο κατά μήκος της κάθε γραμμής AA', BB' και ΓΓ'.

3. Τι παρατηρείτε για τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος των γραμμών AA', BB', ΓΓ', είναι το ηλεκτρικό πεδίο όπως το περιμένουμε?

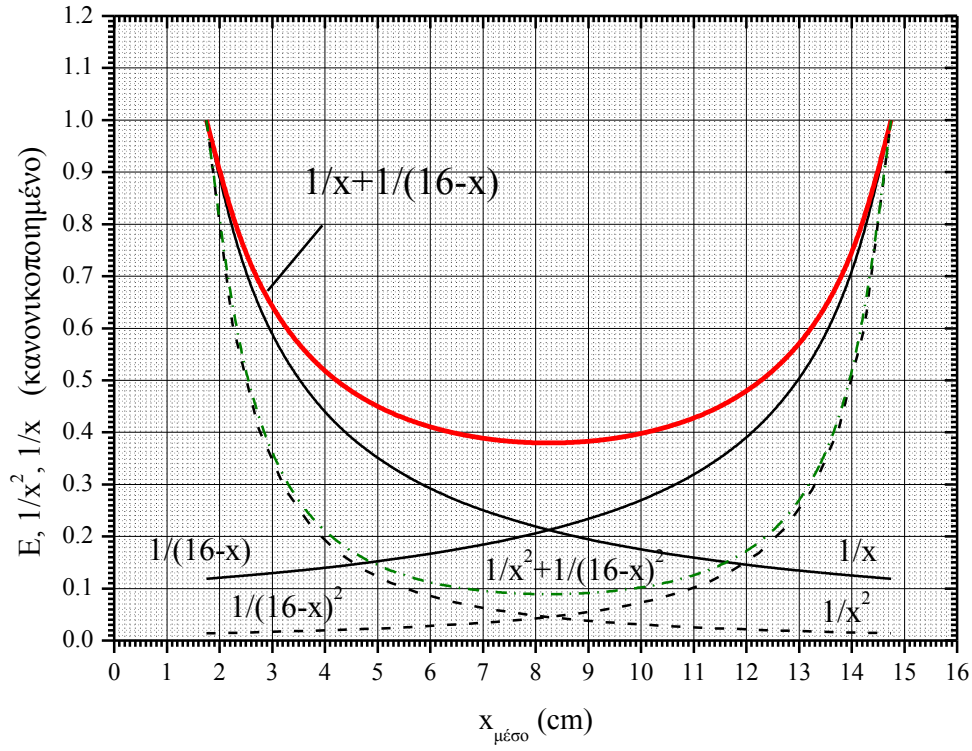
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

 $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$

i	x_i (cm)	$V(x_i)$ (V)	$x_{\text{μέσο}} =$ $x_i + 0.25$ (cm)	$\Delta V(x_{\text{μέσο}}) =$ $= V_{i+1} - V_i$ (V)	$E_x =$ $\left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)	E_x / E_{max}
1	1.5		1.75			
2	2.0		2.25			
3	2.5		2.75			
4	3.0		3.25			
5	3.5		3.75			
6	4.0		4.25			
7	4.5		4.75			
8	5.0		5.25			
9	5.5		5.75			
10	6.0		6.25			
11	6.5		6.75			
12	7.0		7.25			
13	7.5		7.75			
14	8.0		8.25			
15	8.5		8.75			
16	9.0		9.25			
17	9.5		9.75			
18	10.0		10.25			
19	10.5		10.75			
20	11.0		11.25			
21	11.5		11.75			
22	12.0		12.25			
23	12.5		12.75			
24	13.0		13.25			
25	13.5		13.75			
26	14.0		14.25			
27	14.5		-----	-----	-----	-----

Διάγραμμα 1



ΠΙΝΑΚΑΣ II Δυναμικό κατά μήκος ΑΑ' Δx=0.5 cm

i	x_i (cm)	$V(x_i)$ (V)	$x_{\text{μέσο}} =$ $x_i+0.25$ (cm)	$\Delta V(x_{\text{μέσο}})=$ $=V_{i+1}-V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)
1	0.5		1.75		
2	1.0		2.25		
3	1.5		2.75		
4	2.0		3.25		
5	2.5		3.75		
6	3.5		4.75		

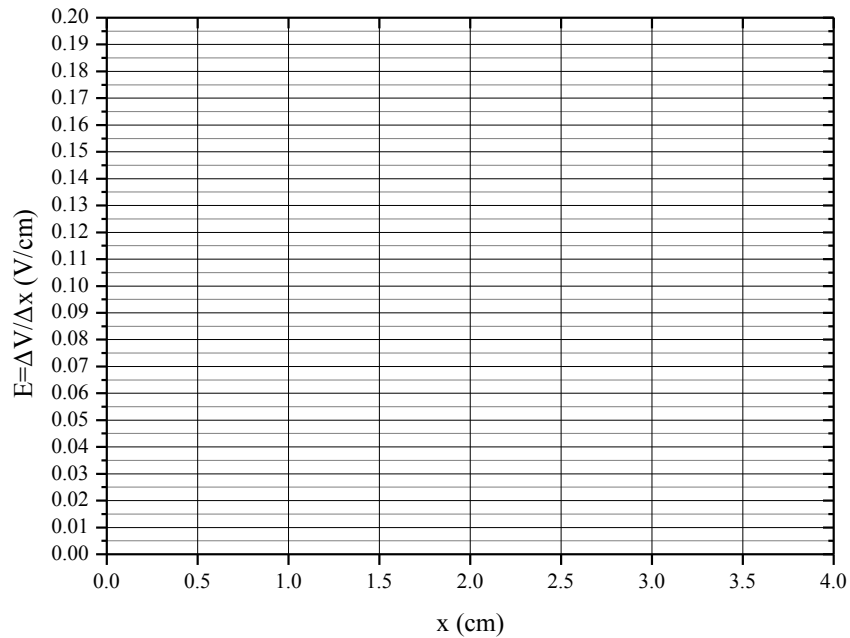
ΠΙΝΑΚΑΣ III Δυναμικό κατά μήκος ΒΒ' Δx=0.5 cm

i	x_i (cm)	$V(x_i)$ (V)	$x_{\text{μέσο}} =$ $x_i+0.25$ (cm)	$\Delta V(x_{\text{μέσο}})=$ $=V_{i+1}-V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)
1	0.5		1.75		
2	1.0		2.25		
3	1.5		2.75		
4	2.0		3.25		
5	2.5		3.75		
6	3.5		4.75		

ΠΙΝΑΚΑΣ IV Δυναμικό κατά μήκος ΓΓ' Δx=0.5 cm

i	x_i (cm)	$V(x_i)$ (V)	$x_{\text{μέσο}} =$ $x_i+0.25$ (cm)	$\Delta V(x_{\text{μέσο}})=$ $=V_{i+1}-V_i$ (V)	$E_x = \left \frac{\Delta V}{\Delta x} \right $ (V/cm)
1	0.5		1.75		
2	1.0		2.25		
3	1.5		2.75		
4	2.0		3.25		
5	2.5		3.75		
6	3.5		4.75		

Διάγραμμα 2



ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Ηλεκτρικό πεδίο, Δυναμική ενέργεια, Δυναμικό, Διαφορά Δυναμικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημειώσεις παραδόσεων Εφαρμοσμένης Φυσικής: Ενότητες 4, 5 και 6.

<http://www.des.upatras.gr/physics/kounavis/Lectures/Sem1/LeucturesAPPL.htm>

Halliday-Resnick-Walter

Serway Physics for Scientists & Engineers τόμος II

Πανεπιστημιακή Φυσική Young τόμος B

ΑΣΚΗΣΗ 3

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

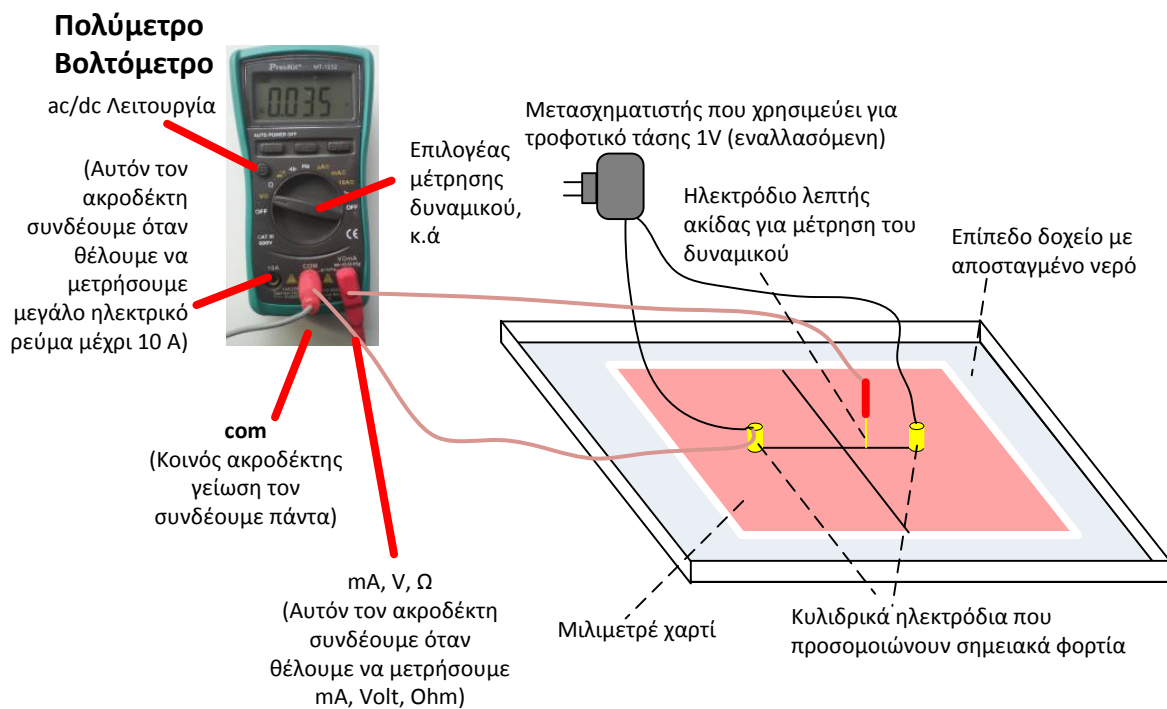
με χρήση πολυμέτρου

ΣΚΟΠΟΣ : Προσδιορισμός Ηλεκτρικού πεδίο από τις ισοδυναμικές γραμμές.

- α) Μεταξύ δυο σημειακών φορτίων.
- β) Μεταξύ ενός σημειακού φορτίου κα επίπεδης μεταλλικής πλάκας
- γ) Μεταξύ δύο επίπεδων παράλληλων φορτισμένων αγώγιμων πλακών.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

- 1. Επίπεδο δοχείο με αποσταγμένο νερό.
- 2. Τροφοδοτικό τάσης.
- 3. Ηλεκτρόδια.
- 4. Βολτόμετρο με 2 ακροδέκτες.

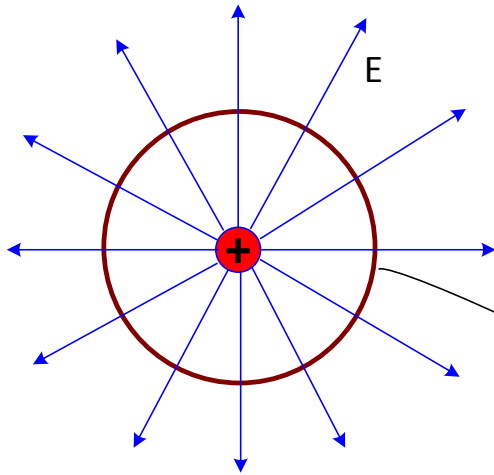


Σχήμα 1 Πειραματική διάταξη

Α. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Τι είναι ισοδυναμική γραμμή ή επιφάνεια?

Είναι η γραμμή ή η επιφάνεια όπου επάνω σε αυτή το δυναμικό είναι σταθερό.



Το δυναμικό σημειακού φορτίου $V(R)$

$$V(R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

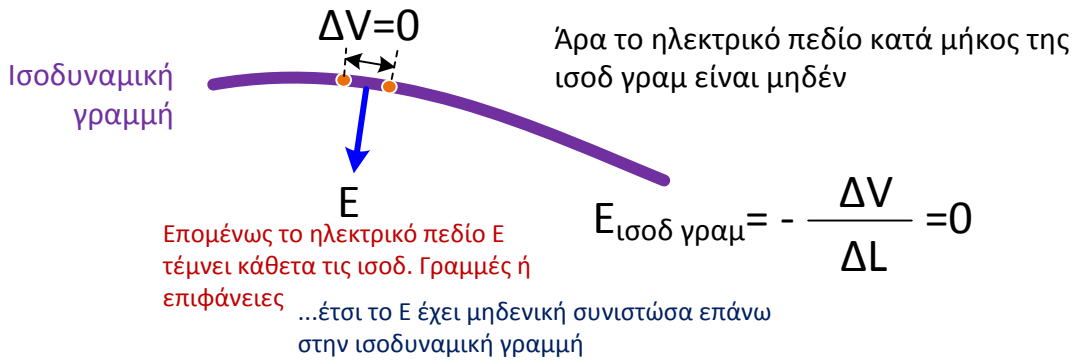
...,είναι σταθερό σε σταθερή απόσταση R από σημειακό φορτίο q

Άρα οι ισοδυναμικές επιφάνειες πέριξ σημειακού φορτίου είναι σφαίρες με κέντρο το σημειακό φορτίο q

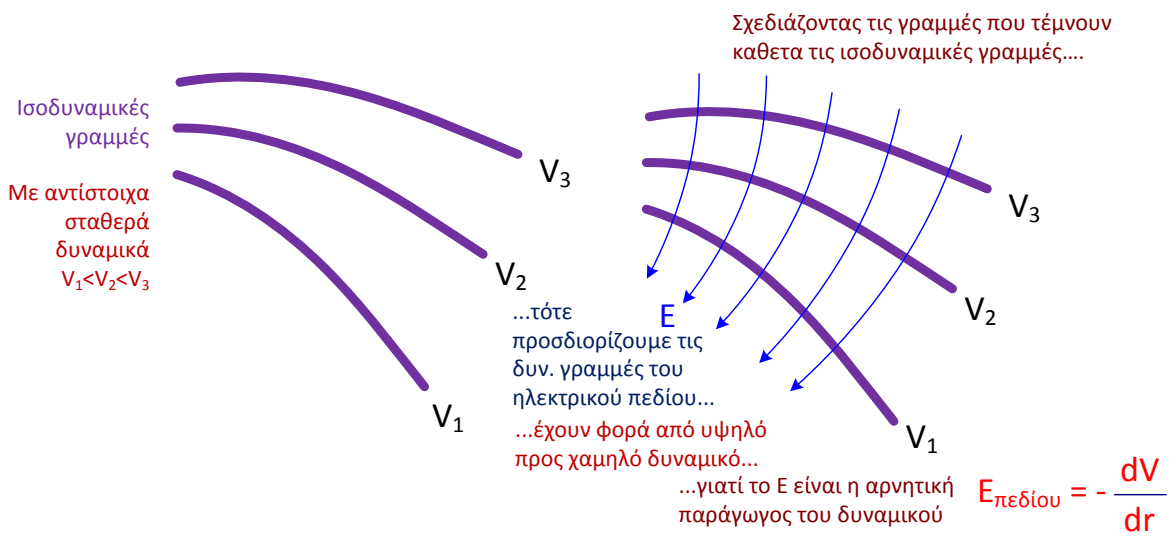
Μια ισοδυναμική επιφάνεια (σφαίρα)

Το ηλεκτρικό πεδίο είναι πάντα κάθετο στην ισοδυναμική γραμμή ή επιφάνεια

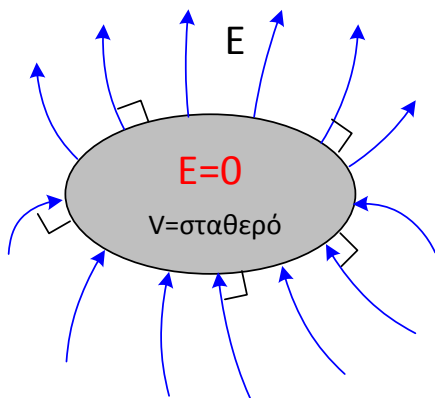
Η διαφορά δυναμικού μεταξύ 2 οποιοδήποτε γειτονικών σημείων της ισοδυν. γραμμής είναι 0



Επομένως αν ξέρουμε τις ισοδυναμικές γραμμές-επιφάνειες, τότε μπορούμε να χαράξουμε κάθετες γραμμές που θα είναι οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.



Μεταλλικό αντικείμενο (αγωγός) μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο



Ο χώρος που καλύπτει το μέταλλο καθώς και η επιφάνειά του είναι **πάντα ισοδυναμικός**...

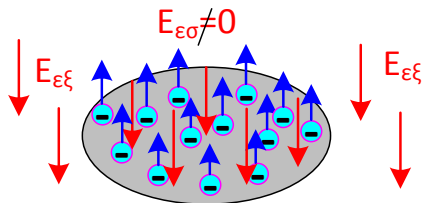
...γιατί το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό και στην επιφάνειά του είναι **πάντα $E=0$** ...

...και στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού η συνολική δύναμη είναι $F=0$ και ισορροπούν...

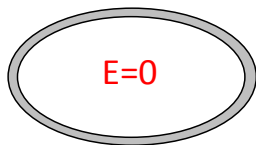
...διαφορετικά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν θα ισορροπούσαν και θα εκινούντο παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, πράγμα που δεν συμβαίνει.

Και οι ηλεκτρικές δυν. γραμμές τέμνουν πάντα κάθετα την επιφάνεια του αγωγού, γιατί αλλιώς θα υπήρχε συνιστώσα του E στην επιφάνεια του αγωγού που θα έθετε σε κίνηση τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της επιφάνειας και θα υπήρχε ηλεκτρικό ρεύμα που όμως δεν συμβαίνει

Αν το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του αγωγού διατραχθεί από την κατάσταση όπου ήταν $E=0$ και έτσι δεν είναι μηδέν, λόγω πχ της εφαρμογής ενός εξωτερικού πεδίου $E_{εξ}$

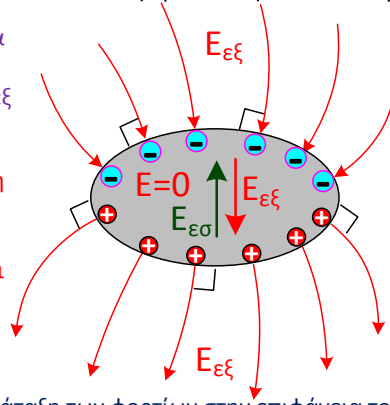


...στο εσωτερικό του αγωγού και σε κάθε ένα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού θα ασκηθεί παροδικά ηλεκτρική δύναμη $F=-eE_{εξ}$ αιτίας της οποίας τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν...



Ακόμα και στη περίπτωση που ο αγωγός είναι κούφιος και λεπτότοιχος εξασφαλίζεται ότι $E=0$ και στον εσωτερικό κενό χώρο του, είναι ο λεγόμενος **Κλωβός Faraday**

...σε αυτή τη περίπτωση τότε τα ηλεκτρόνια στιγμιαία θα κινηθούν πάρα πολύ γρήγορα όπως φαίνεται παρακάτω προς την επάνω πλευρά του αγωγού ώστε να συσσωρευτεί εκεί αρνητικό φορτίο που αντισταθμίζεται από ίση περίσσεια θετικού φορτίου στην κάτω πλευρά του αγωγού.



Έτσι πολύ γρήγορα θα δημιουργηθεί αντίθετο ηλεκτρικό εσωτερικό πεδίο $E_{εσ}$ που θα αντισταθμίσει το $E_{εξ}$ δημιουργώντας ισορροπία με συνολική $F=0$ σε κάθε ηλεκτρόνιο. Επομένως το ηλεκτρικό πεδίο οπουσδήποτε και αστραπιαία θα γίνει $E=E_{εσ}+E_{εξ}=0$ στο εσωτερικό του αγωγού.

Η διάταξη των φορτίων στην επιφάνεια του αγωγού εξασφαλίζει ότι το δυναμικό είναι σταθερό και έτσι το εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο θα τέμνει κάθετα την επιφάνεια του αγωγού.

Β. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20% του βαθμού)

Θα πρέπει να μελετήσετε και να γνωρίζετε τα εξής :

Ηλεκτρικό πεδίο, Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές, Δυναμικό, ισοδυναμικές γραμμές-επιφάνειες,

ΑΠΑΝΤΗΣΤΕ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Με βάση τις ισοδυναμικές γραμμές του παρακάτω σχήματος να σχεδιάσετε με μολύβι τις ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές καθώς και τη σωστή φορά του E .

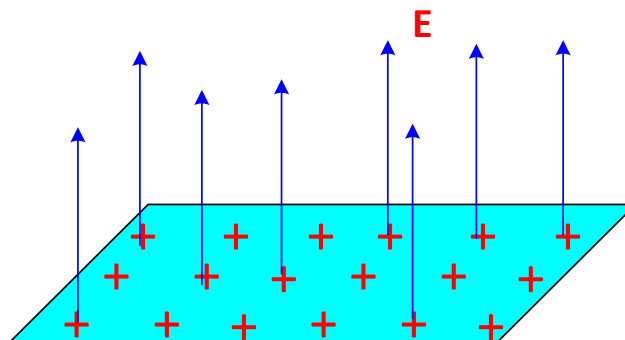


2. Εξηγήστε γιατί στο εσωτερικό των αγωγών το ηλεκτρικό πεδίο είναι πάντα μηδέν και όλος ο αγωγός είναι ισοδυναμικός χώρος?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

3. Γνωρίζουμε πως το ηλεκτρικό πεδίο ομοιόμορφα θετικά φορτισμένης επίπεδης πλάκας μεγάλων διαστάσεων είναι ομογενές και κάθετο στην επιφάνεια της φορτισμένης πλάκας όπως στο παρακάτω σχήμα. Περιγράψτε πως θα είναι μια ισοδυναμική επιφάνεια επάνω από αυτή τη πλάκα και σχεδιάστε την με μολύβι στο παρακάτω σχήμα.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

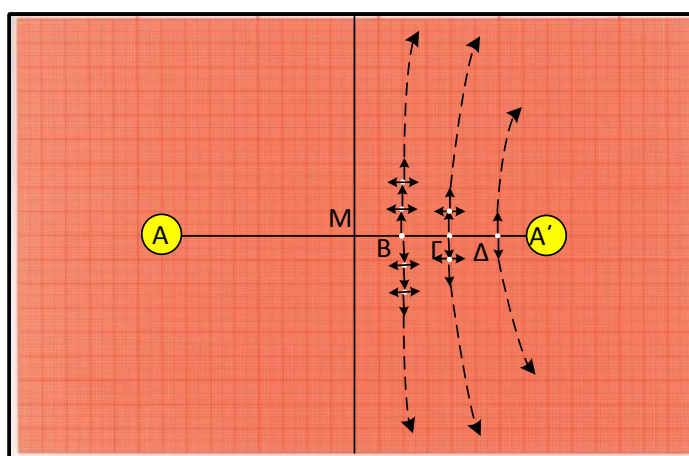


Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

I. Ισοδυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο σημειακών φορτίων

1. Έχουμε τοποθετήσει τα δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια που προσομοιώνουν δύο σημειακά φορτία στις θέσεις A και A' σε μια επίπεδη λεκάνη που περιέχει αποσταγμένο νερό (Σχήμα 1).

2. Συνδέουμε τους κυλινδρικούς αγωγούς με τους πόλους του τροφοδοτικού (μετασχηματιστής που λειτουργεί στη κατώτερη τάση 1.0 V). Χρειάζεται προσοχή ώστε οι αγωγοί να μη έλθουν σε επαφή και βραχυκυκλώσουν το τροφοδοτικό.

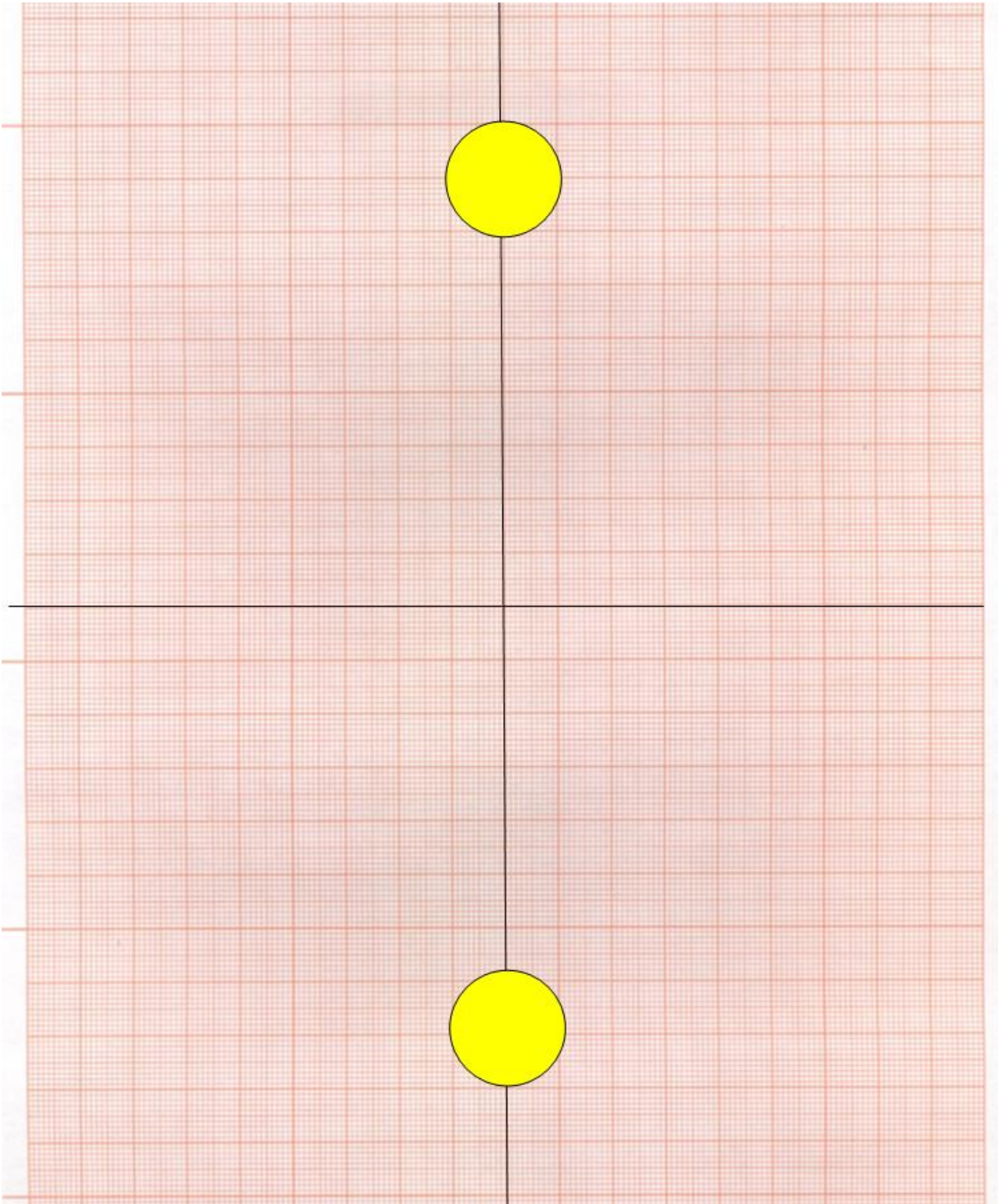


Σχήμα 2 Διάταξη για μέτρηση των ισοδυναμικών γραμμών μεταξύ 2 σημειακών φορτίων

3. Συνδέστε το βολτόμετρο με το ένα κυλινδρικό ηλεκτρόδιο (Σχήμα 1) ενώ τον άλλο ακροδέκτη με την λεπτή ακίδα τοποθετήστε στο σημείο B που είναι 2 cm εμπρός από το μέσον M της AA' (Σχήμα 2) και διαβάστε την ένδειξη του βολτομέτρου σε αυτή τη θέση.

4. Ακολουθώντας μετατοπίστε το παραπάνω ακροδέκτη κατά μήκος της κάθετης διεύθυνσης στο ευθύγραμμο τμήμα AA' και σε απόσταση 1 cm επάνω από το B όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 (κατακόρυφο βελάκι) και βρείτε και σημειώστε στο παρακάτω Διάγραμμα 1 με μολύβι το σημείο (περίπου 1 mm κύκλος) το οποίο έχει το ίδιο δυναμικό με το σημείο B μετακινώντας τον λεπτό ακροδέκτη παράλληλα προς την AA' (διπλό βέλος στο Σχήμα 2).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



5. Επαναλαμβάνουμε τα ίδια με ένα άλλο σημείο που απέχει 1 cm προς τα επάνω κατακόρυφα στο Σχήμα 2 και έτσι μέχρι να φθάσουμε το άνω άκρο.

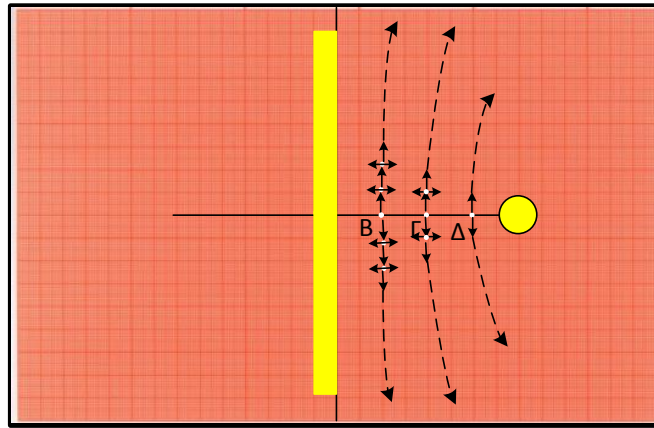
6. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία προς τα κάτω το Β. Με αυτό τον τρόπο τα ισοδυναμικά σημεία που σημειώνουμε στο διάγραμμα Ι ορίζουν την ισοδυναμική γραμμή που διέρχεται από το Β. Σχεδιάζουμε με μολύβι ώστε να μπορούμε να διορθώνουμε, τη βέλτιστη γραμμή που διέρχεται ανάμεσα από τα ισοδυναμικά σημεία που βρήκαμε. Αυτή θα είναι μια ισοδυναμική γραμμή.

7. Επαναλαμβάνουμε τη ίδια διαδικασία και βρίσκουμε την ισοδυναμική γραμμή που διέρχεται από το σημείο Γ που απέχει 2 cm από το Β και την ισοδυναμική γραμμή που διέρχεται από το Δ που απέχει 2 cm από το Γ.

ΠΡΟΣΟΧΗ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί ώστε να μη κουνήσετε τα ηλεκτρόδια γιατί τότε θα χρειαστεί να επαναλάβετε τις μετρήσεις.

II. Ισοδυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ ενός σημειακού φορτίου και επιφάνειας

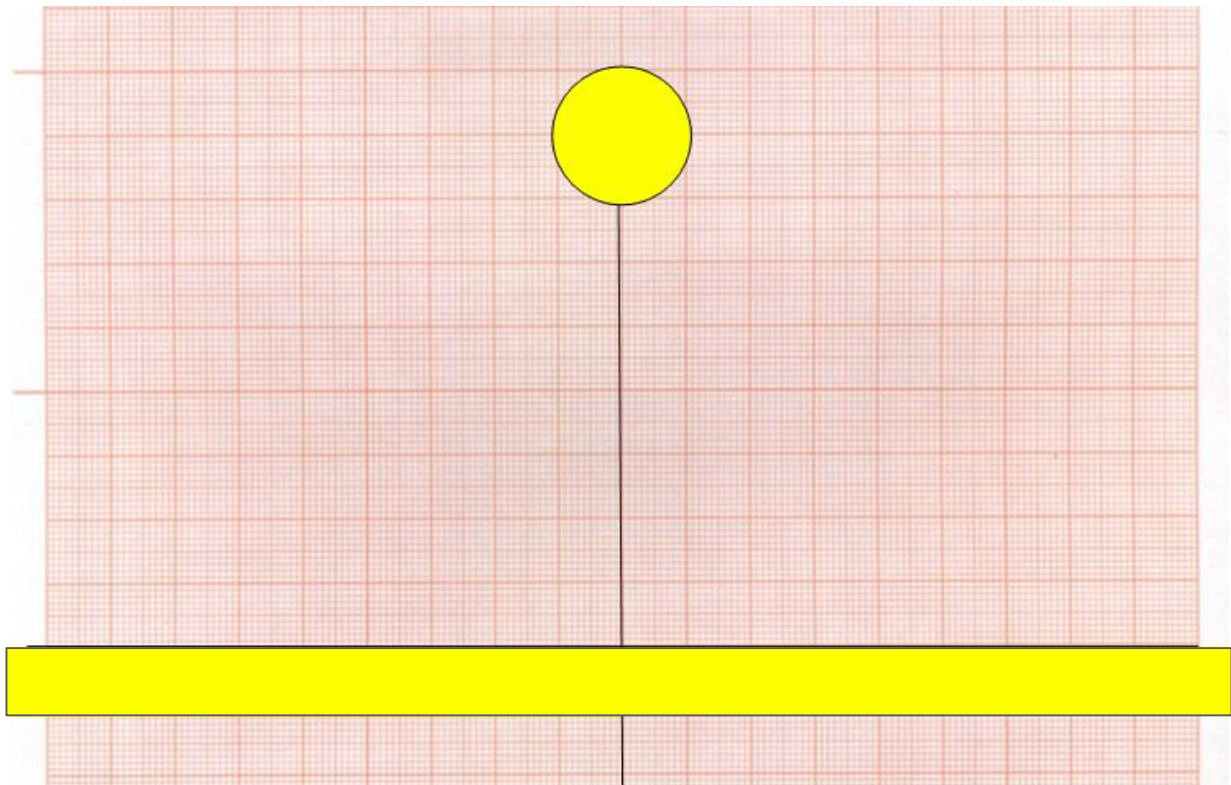
1. Αντικαθιστούμε το ένα δύο κυλινδρικό ηλεκτρόδιο με μια επίπεδη επιφάνεια όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Την επιφάνεια αυτή συνδέουμε με το ένα καλώδιο τροφοδοσίας του μετασχηματιστή.



Σχήμα 3 Διάταξη για μέτρηση των ισοδυναμικών γραμμών μεταξύ ενός σημειακού φορτίου και μιας επίπεδης επιφάνειας

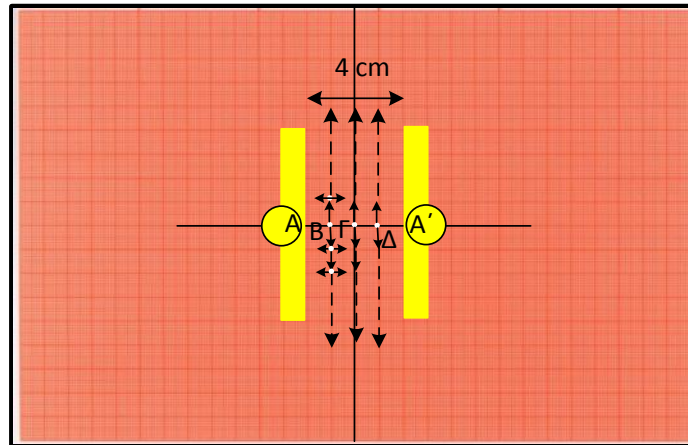
2. Όπως κάναμε και προηγουμένως βρίσκουμε τις ισοδυναμικές γραμμές που διέρχονται από τα σημεία Β, Γ και Δ και τις σχεδιάζουμε στο παρακάτω Διάγραμμα 2.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2



III. Ισοδυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο επίπεδων πλακών

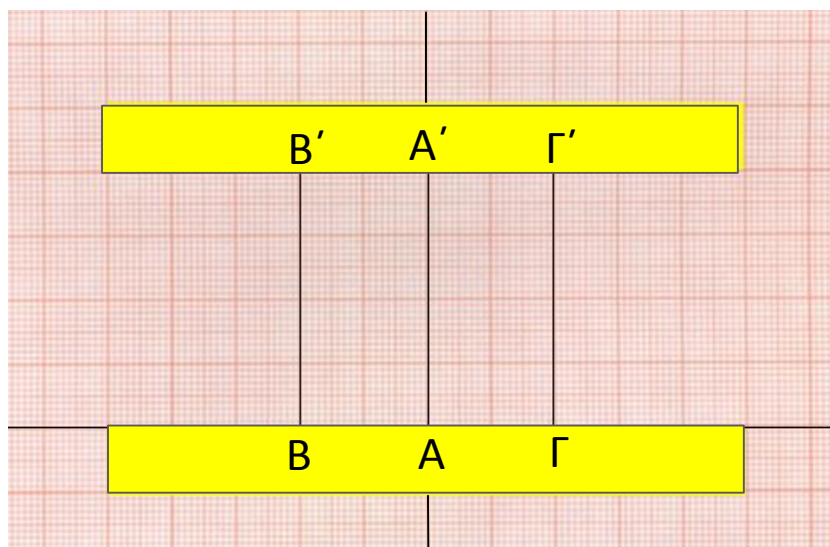
1. Τοποθετούμε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες σε απόσταση μεταξύ τους 4 cm όπως στο Σχήμα 3 και συνδέουμε τη κάθε μία με τη έξοδο του μετασχηματιστή στο Σχήμα 3. Την επιφάνεια αυτή συνδέουμε με το ένα καλώδιο του μετασχηματιστή.



Σχήμα 4 Διάταξη για μέτρηση των ισοδυναμικών γραμμών μεταξύ δύο επίπεδων πλακών

2. Όπως κάναμε και προηγουμένως βρίσκουμε τις ισοδυναμικές γραμμές που διέρχονται από τα σημεία Β, Γ και Δ καλύπτοντας και την περιοχή 1-2 cm εκτός της περοχής ανάμεσα στις πλάκες, και τις σχεδιάζουμε στο παρακάτω Διάγραμμα 3.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Χαρτογράφηση του ηλεκτρικού πεδίου των παραπάνω περιπτώσεων

1. Με βάση τις ισοδυναμικές γραμμές των Διαγραμμάτων 1, 2 και 3 να σχεδιάσετε σε κάθε περίπτωση με μολύβι (ώστε να μπορείτε να διορθώνετε) 6 περίπου ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές που τέμνουν κάθετα τις ισοδυναμικές γραμμές.

2. Σχολιάστε ξεχωριστά τη μορφή των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών του

Διαγράμματος 1

ΣΧΟΛΙΑ

Διαγράμματος 2

ΣΧΟΛΙΑ

Διαγράμματος 3

ΣΧΟΛΙΑ

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ - ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρικό πεδίο, Δυναμική ενέργεια, Δυναμικό, Διαφορά Δυναμικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημειώσεις παραδόσεων Εφαρμοσμένης Φυσικής: Ενότητες 4, 5 και 6.

<http://www.des.upatras.gr/physics/kounavis/Lectures/Sem1/LeucturesAPPL.htm>

Halliday-Resnick-Walter

Serway Physics for Scientists & Engineers τόμος II

Πανεπιστημιακή Φυσική Young τόμος B

ΑΣΚΗΣΗ 4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ : Χρήση παλμογράφου

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Αποστασιόμετρο-radar

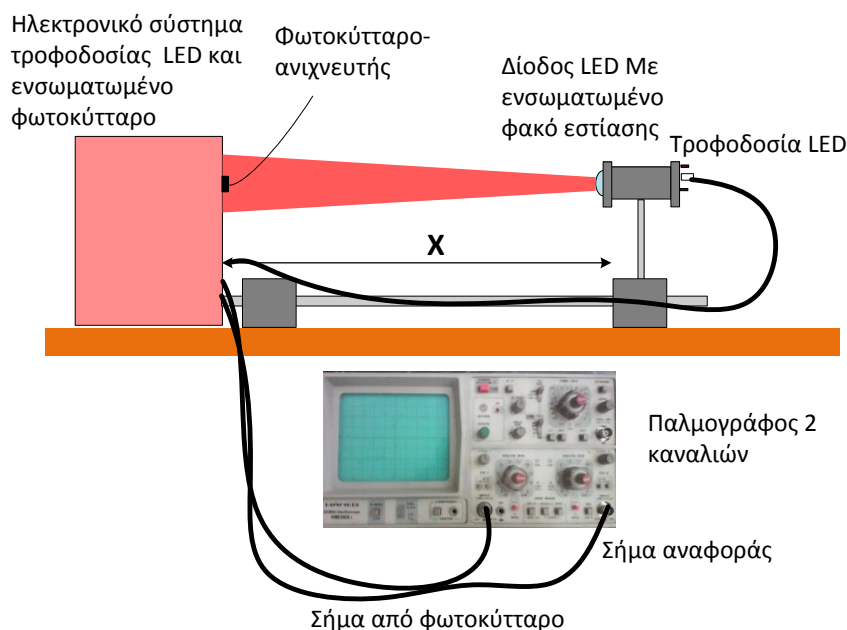
ΣΚΟΠΟΣ : Να μετρηθεί η ταχύτητα του φωτός στον αέρα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

1. Δίοδος που εκπέμπει κόκκινο φως $\lambda=630\text{nm}$, Light Emitted Diode (LED) με ενσωματωμένο φακό εστίασης.
2. Τροφοδοτικό διόδου **LED** με έξοδο εναλλασσόμενου σήματος συχνότητας 60 MHz και ενσωματωμένο ανιχνευτή ακτινοβολίας, **φωτοδίοδος** πυριτίου (c-Si).
3. Παλμογράφος 2 καναλιών.
4. 3 ομοαξονικά καλώδια με BNC.

ΘΕΩΡΙΑ

Η ταχύτητα του φωτός είναι $c=2.998 \times 10^8$ m/s. Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα του παρατηρητή και είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα στο σύμπαν και τίποτα δεν μπορεί να τη φθάσει ή να τη ξεπεράσει. Σε 1 s κάνει 300000 km ή 5 φορές το γύρο της Γής και χρειάζεται 8 λεπτά να διανύσει τη απόσταση Γη-Ήλιος. Επομένως δεν και εύκολο να τη μετρήσουμε στο εργαστήριο. Στη άσκηση αυτή μετρώντας μια δεδομένη απόσταση Δx της τάξεως μικρότερης του μέτρου που διανύει το φως δια του χρόνου Δt , που χρειάζεται να διανύσει αυτή την απόσταση ο οποίος είναι πάρα πολύ μικρός της τάξεως του 1 ns, θα υπολογίσουμε τη **ταχύτητα του φωτός c** στον αέρα δηλ. $c=\Delta x/\Delta t$.



Σχήμα 1. Πειραματική διάταξη μέτρησης της ταχύτητας του φωτός

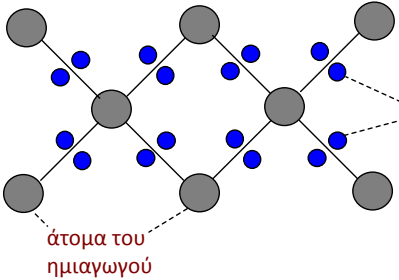
Για τη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός χρησιμοποιείται φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπεται από μία δίοδο (LED) με μήκος κύματος $\lambda=630$ nm η οποία ανιχνεύεται με τη βοήθεια φωτοκυττάρου όπως φαίνεται στην παραπάνω πειραματική διάταξη (Σχήμα 1).

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ LED & ΦΩΤΟΚΥΤΤΑΡΟΥ

Εισαγωγικά στοιχεία για ημιαγωγούς

Ενδογενής ημιαγωγός Είναι ο ημιαγωγός στη δομή του οποίου δεν έχουν εισαχθεί σκόπιμα προσμίξεις ξένων ατόμων.

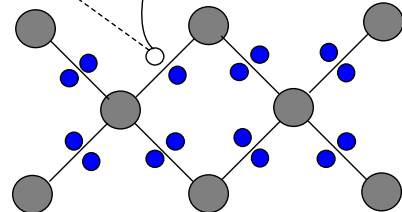
Δομή ενδογενούς (χωρίς προσμίξεις) ημιαγωγού με ομοιοπολικούς δεσμούς



Τι είναι ελεύθερα ηλεκτρόνια-οπές σε ένα ενδογενή ημιαγωγό χωρίς προσμίξεις

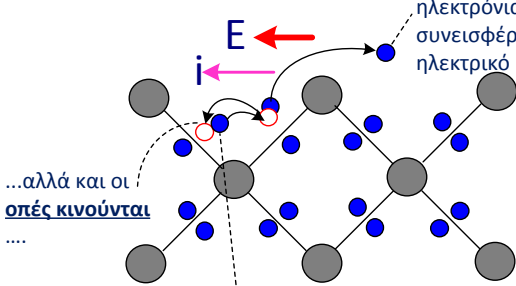
..κάθε ένα από τα διεγερμένα ηλεκτρόνια αφήνει πίσω του ένα κενό που λέγεται οπή, η οποία είναι ελεύθερη να κινηθεί.

Λόγω της θερμοκρασίας μερικά ηλεκτρόνια διεγείρονται θερμικά και καθίστανται ελεύθερα να κινηθούν....



Με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου E τα διεγερμένα ηλεκτρόνια και οπές που αφήνουν πίσω τους κινούνται προς αντίθετες διευθύνσεις

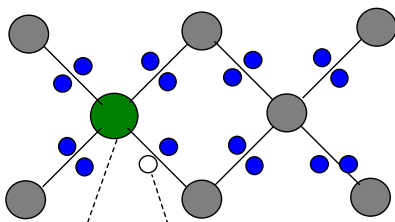
...τα θερμικά διεγερμένα ηλεκτρόνια κινούνται συνεισφέροντας στο ηλεκτρικό ρεύμα i



...γιατί κάποιο ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό δεσμό μπορεί να καλύψει το κενό της κάθε οπής... και έτσι το κενό δηλ. η οπή μεταναστεύει στην θέση από όπου έφυγε το γειτονικό ηλεκτρόνιο, κινούμενη προς αντίθετη διευθύνση από τα ηλεκτρόνια. Έτσι οι οπές συνεισφέρουν και αυτές στο ηλεκτρικό ρεύμα i .

Ημιαγωγός p-τύπου

Προκύπτει εισάγοντας στον ημιαγωγό πολύ μικρή συγκέντρωση ατόμων πρόσμιξης με σθένος μικρότερο αυτού των ατόμων του ημιαγωγού.



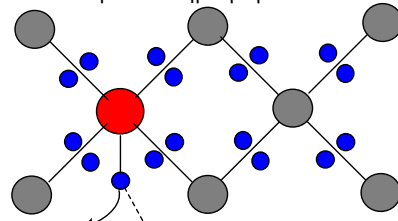
Έτσι τα άτομα της πρόσμιξης αντικαθιστούν από ένα άτομο του ημιαγωγού.

Επειδή το άτομο της πρόσμιξης έχει έλλειμμα ενός ηλεκτρονίου σθένους, τότε σε ένα από τους ομοιοπολικούς δεσμούς που δημιουργεί υπάρχει κενό, δηλ. οπή, η οποία μπορεί να κινηθεί εύκολα ελεύθερα και να συνεισφέρει στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Αφού για κάθε διεγερμένο ηλεκτρόνιο δημιουργείται μια ελεύθερη οπή, η συγκέντρωση, P , των οπών και η συγκέντρωση, N , των ηλεκτρονίων είναι ίσες στους ενδογενής ημιαγωγούς ($N=P$).

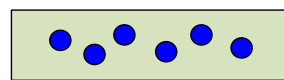
Ημιαγωγός n-τύπου

Προκύπτει εισάγοντας στον ημιαγωγό πολύ μικρή συγκέντρωση ατόμων πρόσμιξης με σθένος μεγαλύτερο αυτού των ατόμων του ημιαγωγού.



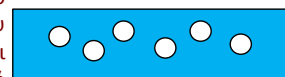
Το επιπλέον ηλεκτρόνιο σθένους του ατόμου της πρόσμιξης που αντικαθιστά ένα άτομο του ημιαγωγού δεν μπορεί να έχει επιπλέον άλλο γειτονικό άτομο για να κάνει δεσμό και έτσι είναι ελεύθερο να κινηθεί πολύ εύκολα και να συνεισφέρει στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από τα επιπλέον ελεύθερα ηλεκτρόνια της πρόσμιξης τα οποία είναι πολύ περισσότερα ($N \gg P$) από τις οπές



Ημιαγωγός n-τύπου

Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από τις επιπλέον ελεύθερες οπές που δημιουργούνται από τη πρόσμιξη, οι οποίες είναι πολύ περισσότερες από τα ηλεκτρόνια ($P \gg N$)

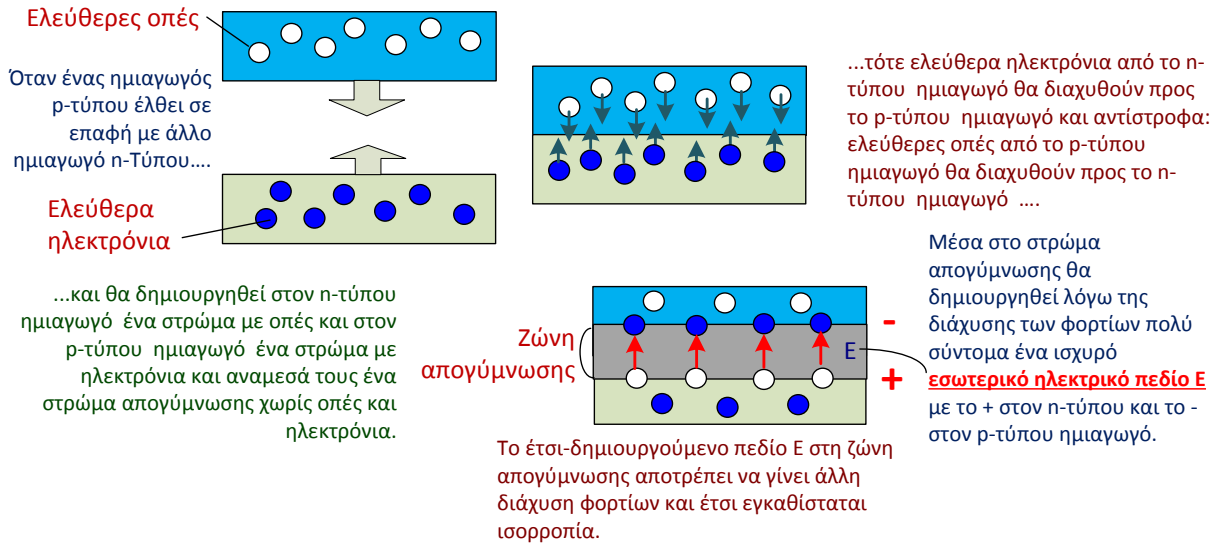


Ημιαγωγός p-τύπου

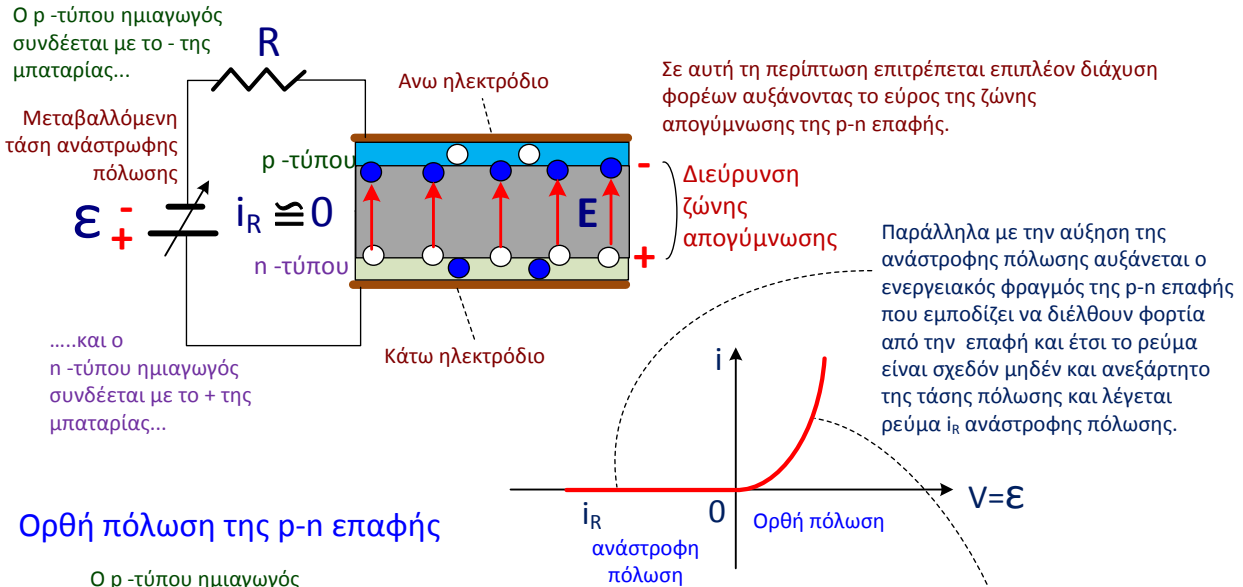
Στη πράξη δεν υπάρχουν ενδογενής ημιαγωγοί χωρίς προσμίξεις, γιατί είτε την ώρα που παρασκευάζονται ή κατόπιν αφού παρασκευαστούν λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων, στη δομή των εισέρχονται μη επιθυμητές ξένα άτομα-προσμίξεις όπως άτομα H, O, N, C, κ.ά. και έτσι ανάλογα με το σθένος της πρόσμιξης, ακόμα και οι ενδογενής ημιαγωγοί είναι n- ή p-τύπου.

Η δίοδος p-n επαφή

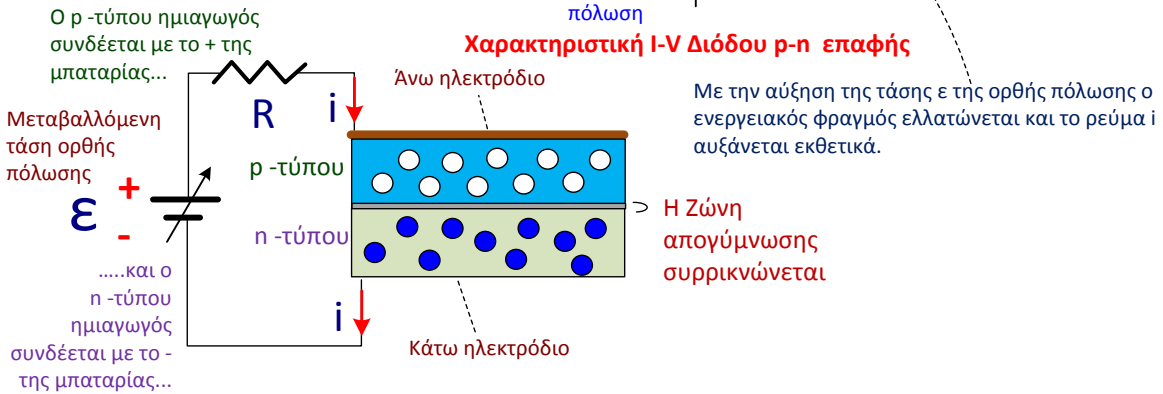
Δημιουργείται από την επαφή ενός ημιαγωγού τύπου-p με ένα ημιαγωγό τύπου-n



Ανάστροφη πόλωση της p-n επαφής



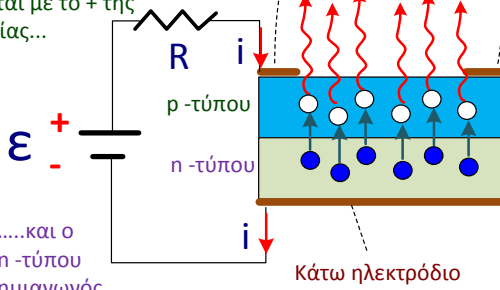
Ορθή πόλωση της p-n επαφής



Δίοδος LED (Light Emitted Diode)

Ορθή πόλωση της p-n επαφής

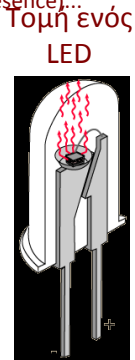
Ο p-τύπου ημιαγωγός συνδέεται με το + της μπαταρίας...



...και ο n-τύπου ημιαγωγός συνδέεται με το - της μπαταρίας...

Πολώνοντας ορθά την επαφή, μπορεί να εκπέμπεται φως τη λεγόμενη ηλεκτροφωταύγεια (Electroluminescence)...

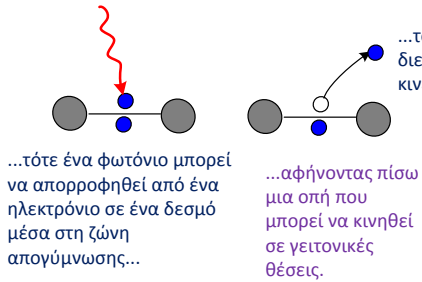
...γιατί ηλεκτρόνια περνούν την επαφή από το p-τύπου στο n-τύπου υλικό και επανασυνδέονται με τις οπές ελευθερώνοντας ενέργεια με μορφή φωτονίων που αποτελούν το εκπεμπόμενο φως



Φωτοκύτταρο-φωτοβολταϊκό ή ηλιακό στοιχείο (Solar cell)

Η p-n επαφή μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα: Φωτίζοντάς τη τότε μπορεί να παράγει ρεύμα και να λειτουργήσει σαν φωτοανχνευτής ή φωτοβολταϊκό στοιχείο για τη μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Φωτίζοντας την p-n επαφή με φωτόνια ενέργειας μεγαλύτερης του ενεργειακού χάσματος

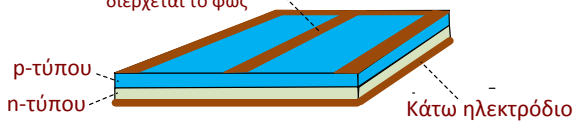


...τότε ένα φωτόνιο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σε ένα δεσμό μέσα στη ζώνη απογύμνωσης...

...αφήνοντας πίσω μια οπή που μπορεί να κινηθεί σε γειτονικές θέσεις.

Διάταξη φωτοκυττάρου

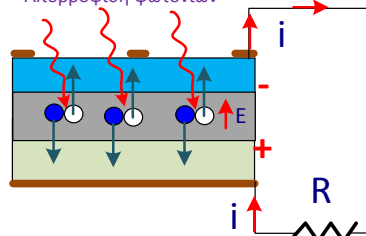
Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια είναι λεπτά αφήνοντας μεγάλα ανοίγματα για να διέρχεται το φως



Λειτουργία φωτοκυττάρου

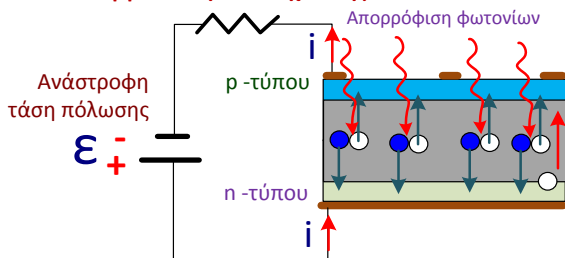
Απορρόφηση φωτονίων

Τα ζευγάρια οπής-ηλεκτρονίου που δημιουργούνται από την απορρόφηση του φωτός στη ζώνη απογύμνωσης διαχωρίζονται από το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο E της ζώνης αυτής....



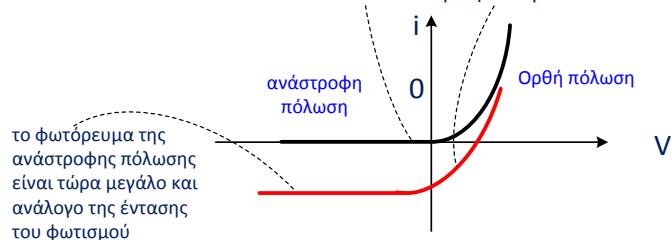
Συνδέοντας τα ηλεκτρόδια της p-n επαφής με ένα εξωτερικό κύκλωμα η επαφή λειτουργεί σα μπαταρία παρέχοντας ηλεκτρικό ρεύμα i.

Συνήθως η p-n επαφή πολώνεται ανάστροφα και λειτουργεί σαν φωτοανχνευτής

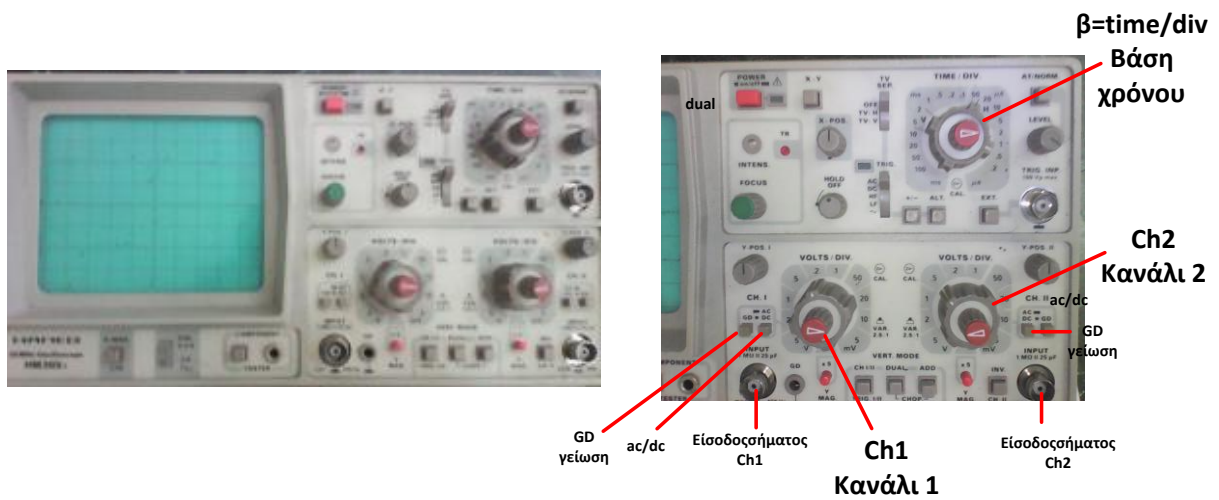


Σε αυτή τη περίπτωση αυξάνεται το εύρος της ζώνης απογύμνωσης και έτσι μπορεί να απορροφηθεί περισσότερο φως και άρα να παραχθεί μεγαλύτερο φωτόρευμα

Χαρακτηριστική I-V p-n επαφής στο σκοτάδι και με φωτισμό

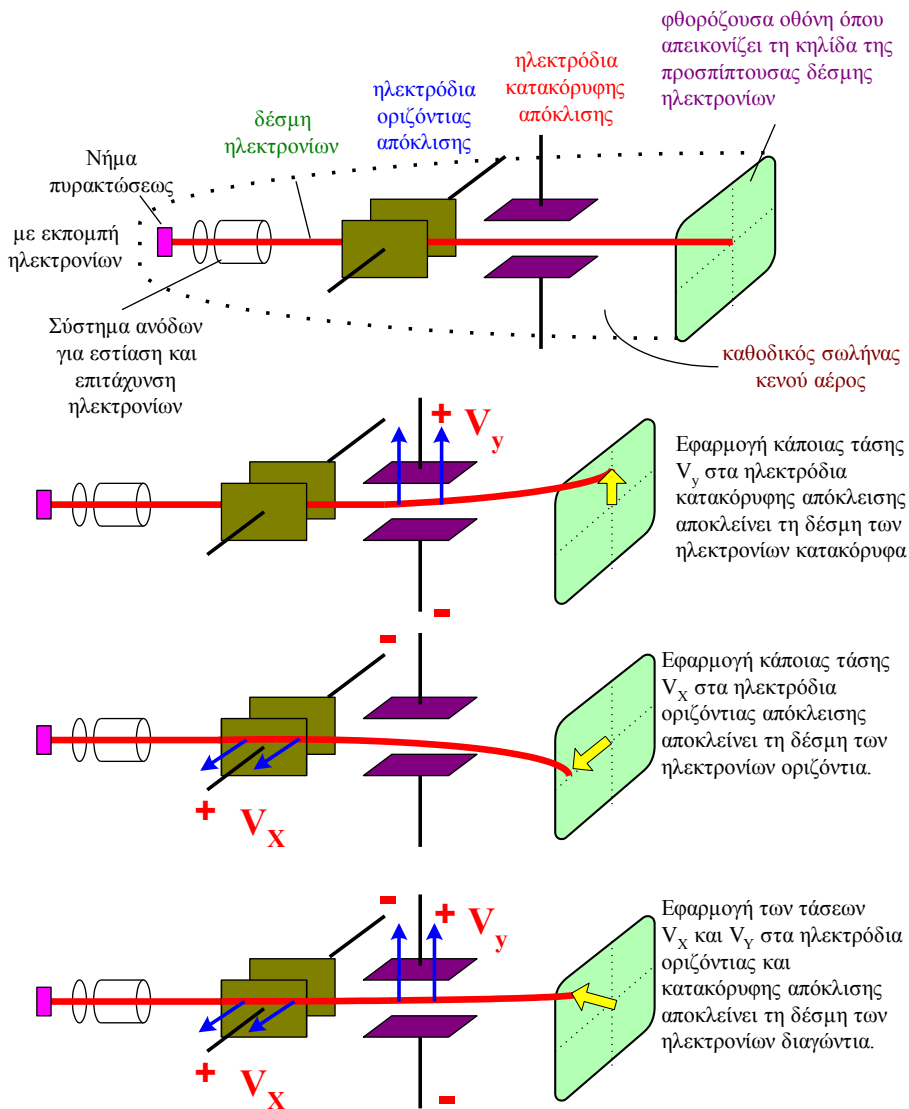


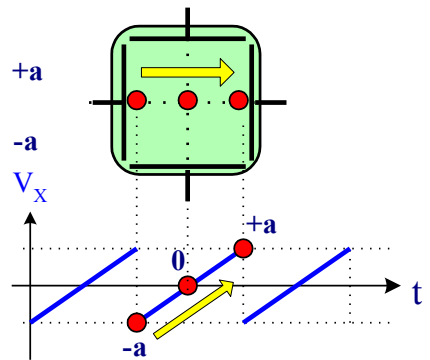
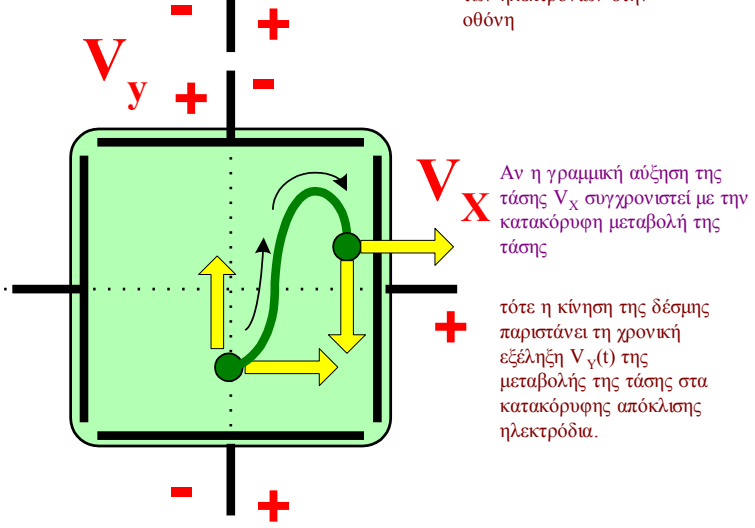
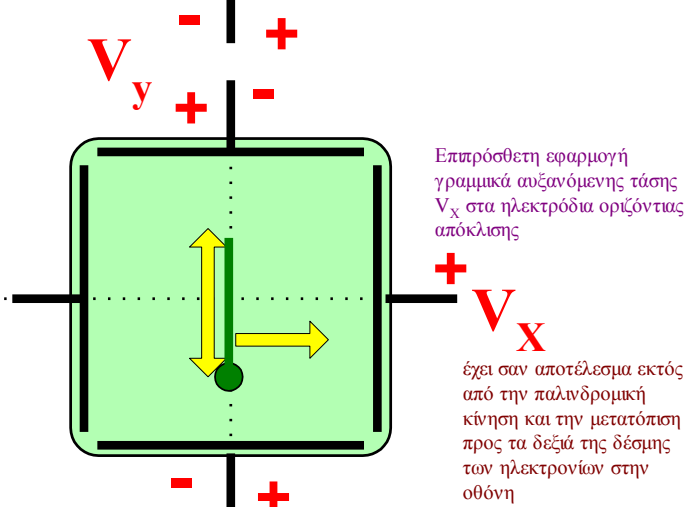
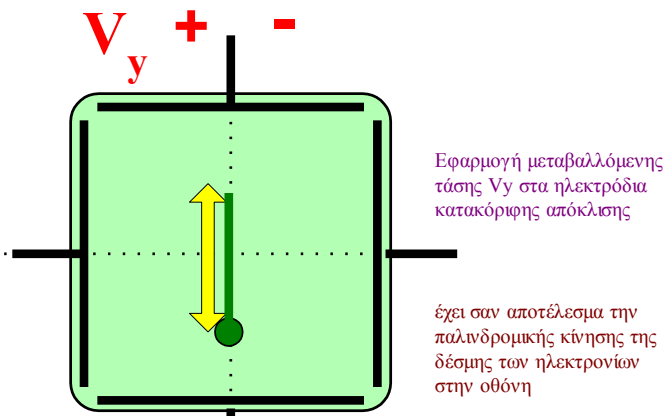
το φωτόρευμα της ανάστροφης πόλωσης είναι τώρα μεγάλο και ανάλογο της έντασης του φωτισμού



ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ

Ο παλμογράφος αποτελείται από ένα σωλήνα κενού το λεγόμενο καθοδικό σωλήνα. Αυτός ο σωλήνας περιλαμβάνει τα παρακάτω μέρη.





Η γραμμική αύξηση της τάσης V_x μεταξύ των τιμών $-a$ και $+a$ μοιάζει με πριόνι εξ ου *l' egetai* και **πριονοτή τάση** έχει σαν αποτέλεσμα τη σύφρωση προς τα δεξιά της δέσμης των ηλεκτρονίων στην οθόνη με κάποιο ρυθμό που καθορίζεται από τη βάση χρόνου.

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Με τη χρήση συνεχούς έντασης φωτισμού δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί η ταχύτητα c του φωτός γιατί δεν υπάρχει κάποια μεταβολή στο φωτισμό για να χρησιμοποιηθεί σαν αναφορά. Με τη χρήση όμως μεταβαλλόμενης έντασης, όπως για παράδειγμα ημιτονοειδής φωτισμός με το χρόνο (t) δηλ. $I=A\cos(2\pi f_1 t)$, όπου f_1 η συχνότητα διαμόρφωσης, τότε κάποιο μέγιστο ή ελάχιστο της έντασης φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της c . Έτσι ένας ανιχνευτής φωτός σε κάποια απόσταση x από τη δίοδο λαμβάνει την ακτινοβολία από τη δίοδο και τη μετατρέπει σε διαφορά δυναμικού ΔV της οποίας το μέτρο είναι ανάλογο της έντασης ($\Delta V=kI$). Η μετρούμενη ΔV προσδιορίζει την ένταση I του φωτισμού από τη δίοδο LED που φθάνει στον ανιχνευτή η οποία προβάλλεται στην οθόνη του παλμογράφου σαν συνάρτηση του χρόνου t και έχει την ημιτονοειδή μορφή $\Delta V = V_0 \cos(2\pi f_1 t)$ του Σχήματος 2 (παχιά γραμμή).

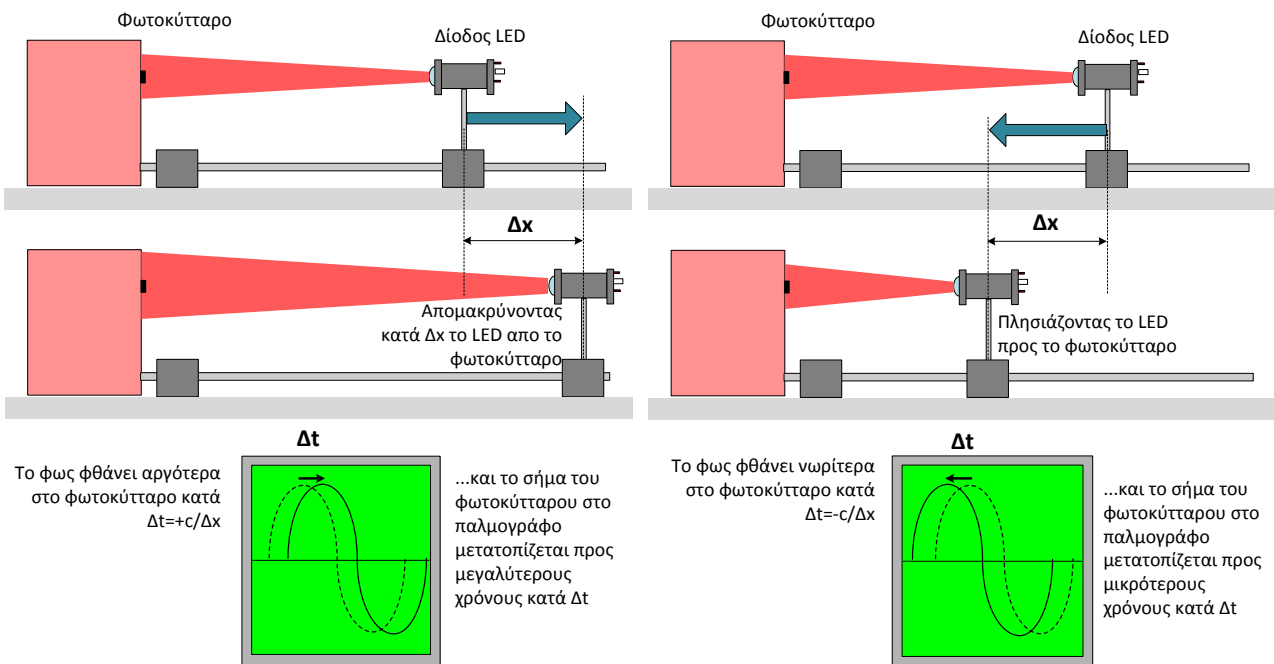
Αν πλησιάσουμε κατά $-\Delta x$ ή απομακρύνουμε κατά $+\Delta x$ την δίοδο LED σε σχέση με τον φωτοκύτταρο, τότε τα μέγιστα και ελάχιστα του ημιτονοειδούς σήματος που εκπέμπει αυτή θα φθάνουν αργότερα ή νωρίτερα, αντίστοιχα, στο φωτοκύτταρο. Αυτό θα φαίνεται στην οθόνη του παλμογράφου με τη μετατόπιση των μεγίστων και ελαχίστων του σήματος του ανιχνευτή σε χρόνους μικρότερους $-\Delta t$ και μεγαλύτερους $+\Delta t$, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Δηλαδή παρουσιάζεται αντίστοιχα μια θετική και αρνητική διαφορά φάσης $\pm\Delta\Phi$ σε ακτίνια (rad) που είναι:

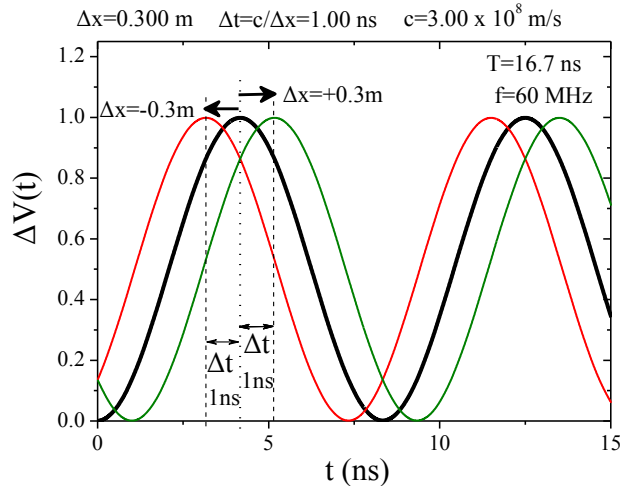
$$\pm \Delta\Phi = \pm \Delta t \cdot 2\pi/T. \quad (1)$$

Η σχέση (1) προκύπτει από το γεγονός ότι $\Delta\Phi/\Delta t = 2\pi/T = \omega$.

Η εύρεση διαφοράς φάσης με τη μετακίνηση του LED αποδεικνύει ότι το φως δεν διαδίδεται ακακριαία, αλλά με πεπερασμένη ταχύτητα c , την οποία μπορούμε να προσδιορίσουμε μετρώντας τα Δx και Δt υπολογίζοντας το πηλίκο:

$$c = \Delta x / \Delta t. \quad (2)$$





Σχήμα 2 Η κοματομορφή $\Delta V(t)$ που καταγράφεται από το φωτοκύτταρο μετατοπίζεται προς μικρότερο χρόνο $\Delta t = -1$ ns και μεγαλύτερο χρόνο $\Delta t = +1$ ns όταν η δίοδος LED από μια αρχική θέση (παχιά γραμμή) πλησιάζει κατά $\Delta x = -0.3$ m και απομακρύνεται κατά $\Delta x = +0.3$ m από τον ανιχνευτή, αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα μια μετατόπιση $\Delta x = \pm 0.3$ m του LED πρέπει να συνοδεύεται με μετατόπιση κατά $\Delta t = \pm 1$ ns ($1\text{ns} = 10^{-9}$ s) του σήματος του ανιχνευτή στο παλμογράφο όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Για να γίνει δυνατό να μετρηθεί αυτή η μετατόπιση, η περίοδος του σήματος πρέπει να είναι στη περιοχή των μερικών ns που αντιστοιχεί σε συχνότητα των $f = 60$ MHz. Αν η T είναι μεγαλύτερη π.χ. στη περιοχή των 0.1 μs τότε δεν θα είναι δυνατόν να παρατηρηθεί εμφανώς η μετατόπιση $\Delta t = \pm 1$ ns στον παλμογράφο γιατί είναι 100 φορές μικρότερη από τα 0.1 μs .

Οι συχνότητες όμως των $f = 60$ MHz απαιτούν να χρησιμοποιηθούν ανιχνευτές με ακριβή ηλεκτρονικά συστήματα ενισχυτών κ.λ.π. που να αποκρίνονται σε χρόνους πολύ πιο γρήγορους από ns και σε συχνότητες μεγαλύτερες των $f = 60$ MHz. Όμως ο παλμογράφος και ο εξοπλισμός που διαθέτουμε έχει καλή απόκριση για χρόνους στη περιοχή του 0.1 μs και συχνότητες της τάξεως των 100 kHz. Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε την ταχύτητα του φωτός με ένα τέτοιο εξοπλισμό καταφεύγουμε σε ένα τέχνασμα. Χρησιμοποιούμε μεγάλη συχνότητα 60 MHz τροφοδοσίας. Το σήμα αυτό της τροφοδοσίας καθώς και το σήμα από το φωτοκύτταρο συχνότητας $f_1 = 60$ MHz αναμιγνύονται (πολλαπλασιάζονται) με ένα άλλο σήμα λίγο μικρότερης συχνότητας $f_2 = 59.9$ MHz. Έτσι προκύπτουν 2 συνθετικά-συνιστώσες στο σήμα αναφοράς (I_0).

$$A \cos(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t) = A \cos[2\pi(f_1 + f_2)t] + A \cos[2\pi(f_1 - f_2)t] \quad (3)$$

και 2 συνθετικά-συνιστώσες στο σήμα του ανιχνευτή

$$B \cos(2\pi f_1 t - \Delta\Phi) \cos(2\pi f_2 t) = B \cos[2\pi(f_1 + f_2)t - \Delta\Phi] + B \cos[2\pi(f_1 - f_2)t - \Delta\Phi] \quad (4)$$

Χρησιμοποιώντας κατάλληλο χαμηλοπερατό φίλτρο απομακρύνεται η συνιστώσα υψηλής συχνότητας $(f_1 + f_2) = 119.9$ MHz και αφήνει να περάσει μόνο η συνιστώσα μικρότερης συχνότητας $(f_1 - f_2) = 100$ KHz.

Παρατηρούμε όμως πως η διαφορά φάσης $\Delta\Phi$ σε rad που παρουσιάζει το σήμα του φωτοκύτταρου παραμένει αμετάβλητη και στα δύο σήματα χαμηλής $(f_1 - f_2)$ και υψηλής $(f_1 + f_2)$ συχνότητας. Όμως στη συνιστώσα με τη μικρότερη συχνότητα $(f_1 - f_2)$ η διαφορά φάσης $\Delta\Phi$ αντιστοιχεί τώρα μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης Δt δηλ. $\Delta\Phi = 2\pi(f_1 - f_2)\Delta t$ αυξημένος κατά ένα παράγοντα $f_1/(f_1 - f_2) = 600$ από τον αρχικό πραγματικό χρόνο Δt_r , δηλ. $\Delta t = [f_1/(f_1 - f_2)]\Delta t_r$, ο οποίος

μπορεί να μετρηθεί εύκολα τώρα με το υπάρχοντα εξοπλισμό. Έτσι μετρούμε μετατόπιση Δt του σήματος του φωτοκύτταρου στη κλίμακα των 0.1 μs που μετράμε πολύ εύκολα με τον εξοπλισμό που έχουμε, ενώ ο πραγματικός χρόνος Δt_r είναι 600 φορές μικρότερος δηλ. $\Delta t_r = \Delta t/600$.

B. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % βαθμού)

Θα πρέπει να μελετήσετε και να γνωρίζετε:

Τη συνοπτική θεωρία που περιεγράφηκε παραπάνω.

ΑΠΑΝΤΗΣΤΕ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Πόση είναι η σχετική συγκέντρωση των οπών και ηλεκτρονίων στους ενδογενής ημιαγωγούς χωρίς προσμίξεις.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

2. Τι είναι ημιαγωγός n-τύπου και τι p-τύπου.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

3. Περιγράψτε συνοπτικά το μηχανισμό που εκπέμπει φως μια δίοδος LED.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

4. Περιγράψτε συνοπτικά με ποιο μηχανισμό όταν ένα φωτοκύτταρο φωτίζεται τότε αυτό παράγει ρεύμα.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5. Όταν στη πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε τη ταχύτητα του φωτός μετατοπίζουμε το LED πλησιάζοντας το φωτοκύτταρο προς τα που θα μετακινηθεί το ημιτονοειδές σήμα από το φωτοκύτταρο στην οθόνη του παλμογράφου?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

6. Όταν μετρούμε μια δεδομένη μετατόπιση $\Delta t=0.5 \mu\text{s}$ στη οθόνη του παλμογράφου πόση είναι η διαφορά φάσης $\Delta\Phi$ σε ακτίνια (rad)? Η συχνότητα είναι $f=100 \text{ kHz}$ και η περίοδος $T=1/f=10 \mu\text{s}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % βαθμού)

I. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

1. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις από τους διδάσκοντες παρατηρείστε τις 2 κυματομορφές η μία είναι της αναφοράς $V_0(t)$ που είναι η τάση τροφοδοσίας της LED και η άλλη $\Delta V(t)$ είναι το σήμα του φωτοκύτταρου.
2. Παρατηρήστε την μετατόπιση Δt στο χρόνο με την μετατόπιση Δx της διόδου LED της κυματομορφής από τον ανιχνευτή.
3. Αυξάνουμε την ευαισθησία στη μέτρηση του Δt με τη βοήθεια του διδάσκοντα την οποία και καταγράφουμε στον Πίνακα I.
4. Τοποθετούμε το LED σε κάποια αρχική απόσταση x_0 από το φωτοκύτταρο την οποία μετρούμε και καταγράφουμε στο Πίνακα I.
5. Μετακινούμε τη δίοδο ώστε κάθε φορά στον παλμογράφο να μετρούμε μεταβολή στο χρόνο κατά $\Delta t=0.1 \mu\text{s}$ και σημειώνετε τη αντίστοιχη απόσταση x στο Πίνακα I μέχρι συνολική χρονική μετατόπιση περίπου $\Delta t=1.0 \mu\text{s}$.

II. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΣΤΑΣΙΟΜΕΤΡΟ-RADAR

Με βάση τη πειραματική διάταξη (Σχήμα 1) που χρησιμοποιήσαμε για να μετρήσουμε τη ταχύτητα του φωτός η ίδια διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν αποστασιόμετρο-radar

1. Τοποθετήστε το LED σε κάποια αρχική θέση x_0 την οποία καταγράφεται στο Πίνακα II.
2. Εν συνεχεία μετακινήστε το LED σε 4 τυχαίες θέσεις x , τις οποίες καταγράφετε στο Πίνακα I για επιβεβαίωση στο τέλος, και μετρήστε και καταγράψτε στον Πίνακα II τις αντίστοιχες μετατοπίσεις χρόνου Δt στον παλμογράφο.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1. Κάνετε τη γραφική παράσταση της απόστασης Δx έναντι της πραγματικής χρονικής μετατόπισης Δt_r που είναι ήδη υπολογισμένη στο Πίνακα I.
2. Η σχέση που προκύπτει μεταξύ των Δx και Δt είναι γραμμική όπως περιμένουμε? Αν ναι τότε να σχεδιάσετε τη βέλτιστη ευθεία ανάμεσα από τα σημεία.
3. Με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων με τη βοήθεια του Origin να βρεθούν οι συντελεστές B , A της βέλτιστης ευθείας $x=B\Delta t_r+A$, καθώς και το σφάλμα ΔB και καταγράψτε τες στο Πίνακα I.
4. Ο συντελεστής B αναμένεται να μας δώσει μια τιμή κοντά στη ταχύτητα c του φωτός στον αέρα ($c=2.99792 \times 10^8 \text{m/s}$), ενώ η απόκλιση ΔB θα μας δώσει το σφάλμα Δc στη μέτρηση της c . Γράψτε το αποτέλεσμα στη μορφή $c \pm \Delta c$ με τα σωστά σημαντικά ψηφία.

Παράδειγμα

Έστω ότι υπολογίσατε $B=3.1421 \times 10^8 \text{ m/s}$, ενώ η απόκλιση είναι $\Delta B = 0.096 \times 10^8 \text{ m/s}$. Άρα μπορώ να γράψω με 1 σημ. ψηφίο : $\Delta c = 0.1 \times 10^8 \text{ m/s}$, την ακρίβεια με την οποία μετρώ τη c .

Τελικά σα συμπέρασμα γράφω: $c \pm \Delta c: (3.1 \pm 0.1) \times 10^8 \text{ m/s}$ κρατώντας 2 σημ. ψηφία στη C γιατί η απόκλιση Δc συμβαίνει στο 2^ο σημ. ψηφίο της C .

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

5. Εξετάστε αν η γνωστή τιμή $c=2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ είναι πράγματι στο διάστημα $c \pm \Delta c$.

6. Στο Πίνακα II υπολογίστε το $\Delta x_{\text{υπολογισμ}} = c \Delta t_r$

Καθώς και το % σφάλμα = $(\Delta x_{\text{μέτρηση}} - \Delta x_{\text{υπολογισμ}}) / \Delta x_{\text{μέτρηση}}$ και σχολιάστε το.

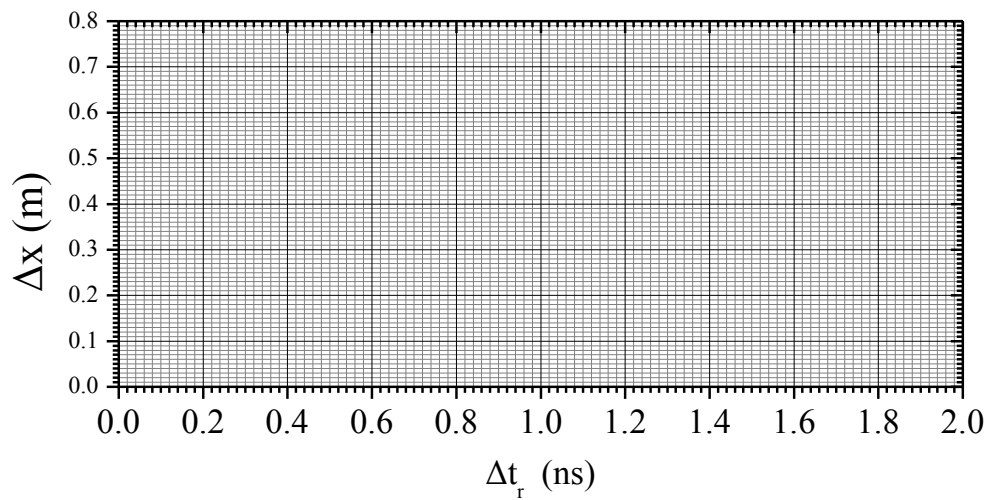
ΠΙΝΑΚΑΣ I

$x_0 =$ (m)

Δt (μs)	$\Delta t_r = \Delta t / 600$ (ns)	x (m)	$\Delta x = x - x_0$ (m)
0.1	0.17		
0.2	0.33		
0.3	0.50		
0.4	0.67		
0.5	0.83		
0.6	1.0		
0.7	1.2		
0.8	1.3		
0.9	1.5		
1.0	1.7		
1.1	1.8		

$x = B\Delta t_r + A$ $B = \dots\dots\dots \text{m/s}$, $\Delta B = \dots\dots\dots \text{m/s}$, $A = \dots\dots\dots \text{m}$

Διάγραμμα 1



ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ $x_0 =$ (m)

Δt (μs)	$\Delta t_r = \Delta t / 600$ (ns)	x (m)	$\Delta x_{\text{μέτρηση}} =$ $= x - x_0 $ (m)	$\Delta x_{\text{υπολογισμ}} =$ $= c \Delta t_r$ (m)	% Σφάλμα = $(\Delta x_{\text{μέτρηση}} - \Delta x_{\text{υπολογισμ}}) / \Delta x_{\text{μέτρηση}}$

ΑΣΚΗΣΗ 5

ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RC

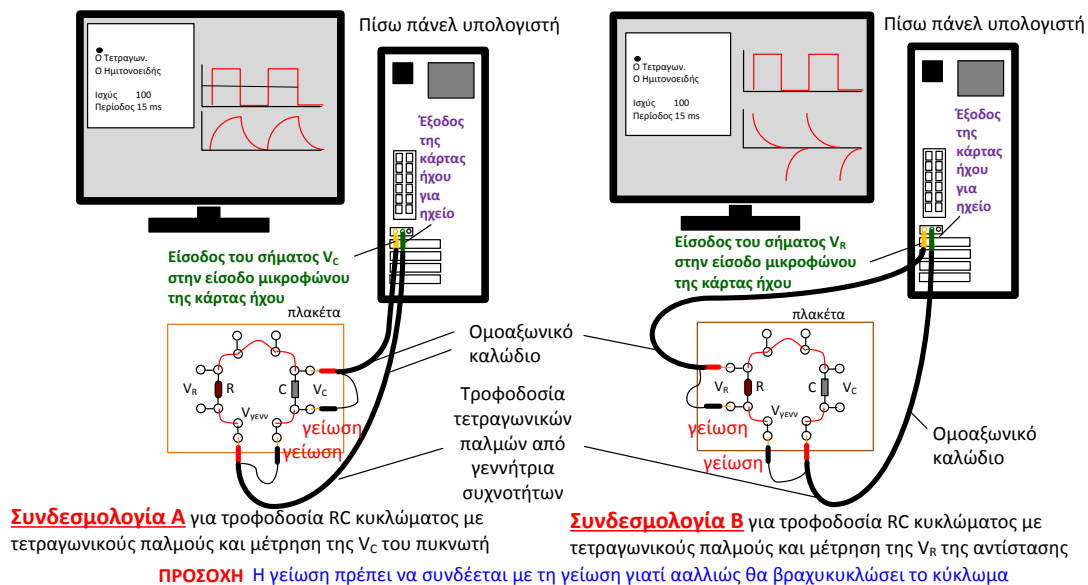
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: χαμηλοπερατό-υψηλοπερατό φίλτρο (low-high pass filter)

ΣΚΟΠΟΣ : Μελέτη χαρακτηριστικών καμπύλων φόρτισης-εκφόρτισης πυκνωτή, προσδιορισμός της σταθεράς RC του κυκλώματος και εφαρμογή του RC κυκλώματος σαν χαμηλο- υψηλοπερατό φίλτρο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

1. Γεννήτρια συχνοτήτων τετραγωνικών και ημιτονοειδών παλμών.
2. Πλακέτα με αντίσταση και πυκνωτή.
3. Δύο ομοαξονικά καλώδια.
4. Υπολογιστής (PC) με πρόγραμμα ώστε να λειτουργεί σα παλμογράφος και γεννήτρια τετραγωνικών και ημιτονοειδών παλμών με τη βοήθεια της κάρτας γραφικών για γρήγορη επεξεργασία και απεικόνιση των ηλεκτρικών τάσεων στην οθόνη του υπολογιστή.

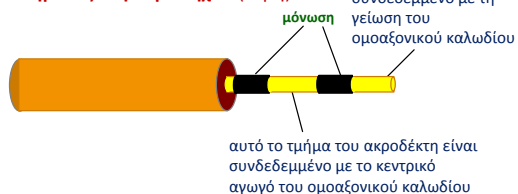
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ



Ομοαξονικό καλώδιο (τομή)



ακροδέκτης για είσοδο-έξοδο σήματος στη κάρτα ήχου (τομή)



A. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Πυκνωτής : Είναι μία διάταξη για την αποθήκευση φορτίου.

Καταναλώνεται ενέργεια για την Υπερνίκηση των ηλεκτρικών απώσεων και τη συνάθροιση φορτίου και έτσι αποθηκεύεται ηλεκτρική δυναμική ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου



Ένας απλός πυκνωτής μεταλλική σφαίρα :

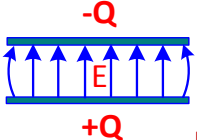
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R} \quad \text{Ο λόγος} \quad \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$$

Είναι σταθερός ανεξάρτητος και λέγεται χωρητικότητα C του φορτίου που αποθηκεύεται στη σφαίρα $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$

Δυναμικό μεταλλικής σφαίρας
Είναι όπως σημειακού φορτίου

Μεγάλη χωρητικότητα C σημαίνει ότι μεγάλο φορτίο Q αποθηκεύεται στον αγωγό για δεδομένο δυναμικό V.

Επίπεδος πυκνωτής



2 επίπεδες μεταλλικές πλάκες επιφάνειας A η κάθε μία σε σχετικά μικρή απόσταση d οι οποίες φορτίζονται με αντίθετο φορτίο +Q και -Q και αποκτούν διαφορά δυναμικού $\Delta V = V_C$.

Το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο E ανάμεσα στους οπλισμούς...

...οφείλεται στο ηλεκτρικό πεδίο E, και E.

της κάθε πλάκας και είναι : $E = E_+ + E_- = \sigma/2\epsilon_0 + \sigma/2\epsilon_0 = \sigma/\epsilon_0$

Επίσης το E δίνεται από τη βαθμίδα δυναμικού

$$|E| = \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{V_C}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q/A}{\epsilon_0}$$

Ο σταθερός λόγος:

$$C = \frac{Q}{V_C} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \dots \text{είναι η χωρητικότητα του επίπεδου πυκνωτή}$$

Επομένως το E μπορεί να βρεθεί πειραματικά από το λόγο V_C/d

Κύκλωμα RC

περιλαμβάνει αντίσταση και πυκνωτή στη σειρά.

Φόρτιση πυκνωτή

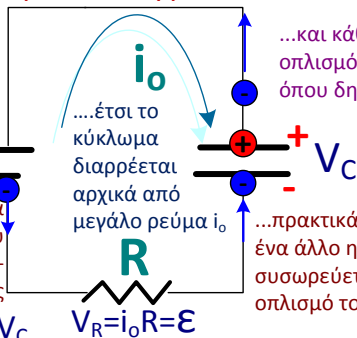
Αν συνδέσουμε και μια πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης E τότε ο πυκνωτής θα φορτιστεί μέσα σε χρόνο t_f τον οποίο μπορούμε να μετρήσουμε ο οποίος εξαρτάται από την αντίσταση R και τη χωρητικότητα C του πυκνωτή.

Αρχικά αφόρτιστος πυκνωτής

Όταν αρχικά ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος τότε:

$$V_C = 0$$

Κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο που απωθείται από το (-) της πηγής



...και κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο φθάνει στον ένα οπλισμό (-) εκδιώκει ένα άλλο από τον απέναντι οπλισμό όπου δημιουργείται περίσσεια ενός θετικού φορτίου (+)

Καθώς ο πυκνωτής φορτίζεται και συσσωρεύονται φορτία στους οπλισμούς του, αποκτά διαφορά δυναμικού V_C στα άκρα του με πολικότητα αντίθετη της πολικότητας της πηγής.

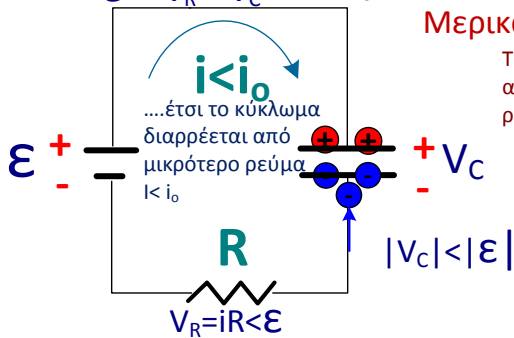
...πρακτικά συγχρόνως ένα άλλο ηλεκτρόνιο συσσωρεύεται στον ένα οπλισμό του πυκνωτή

$$E = V_R + V_C \quad V_R = i_0 R = E$$

Μερικά φορτισμένος πυκνωτής

Τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στο πυκνωτή δέχονται άπωση από τα ήδη συσσωρευμένα φορτία στον πυκνωτή και το ρεύμα μικραίνει.

Όμως τα ηλεκτρόνια προωθούνται από το ηλεκτρικό πεδίο της πηγής που υπερिशύει γιατί $E > V_C$ και έτσι φορτίζεται ο πυκνωτής.

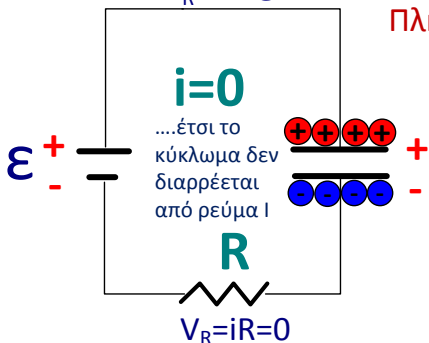


Πλήρως φορτισμένος πυκνωτής

Ο πυκνωτής φορτίζεται όταν η διαφορά δυναμικού V_C στα άκρα του γίνει ίση αριθμητικά και αντίθετη πολικότητα της E της πηγής...

$$|V_C| = |E|$$

...τότε επιπλέον ηλεκτρόνια που προωθούνται από το ηλεκτρικό πεδίο της πηγής προς το πυκνωτή δεν μπορούν να συσσωρευτούν στο πυκνωτή γιατί απωθούνται από τα ήδη συσσωρευμένα φορτία στον πυκνωτή.



Σε κάθε χρονική στιγμή ισχύει: $\epsilon - V_R - V_C = 0$

$$\epsilon - IR - \frac{Q}{C} = 0 \quad \epsilon - R \frac{dQ}{dt} - \frac{Q}{C} = 0 \quad \text{Διαφορική εξίσωση χωριζομένων μεταβλητών}$$

$$\frac{dQ}{C\epsilon - Q} = \frac{dt}{RC}$$

Όμως όταν ο πυκνωτής έχει φορτιστεί ισχύει: $C\epsilon = Q_{op}$

Όπου Q_{op} το οριακό φορτίο που φορτίζεται ο πυκνωτής γιατί: $C = Q_{op}/V_C = Q_{op}/\epsilon$

Σε τυχαία χρονική στιγμή t κατά τη φόρτιση το φορτίο είναι $Q(t)$

$$\int_0^{Q(t)} \frac{dQ'}{Q_{op} - Q'} = \int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

Κατά τη φόρτιση το αρχικό φορτίο είναι 0 και το τελικό είναι Q_{op}

$$\ln\{Q_{op} - Q\} - \ln\{Q_{op}\} = - \frac{t}{RC}$$

$$-\ln\{1 - Q/(Q_{op})\} = \frac{t}{RC} \quad \{1 - Q/(C\epsilon)\} = e^{-t/RC} \quad Q(t) = Q_{op} (1 - e^{-t/RC}) \quad \text{Το φορτίο φόρτισης του πυκνωτή}$$

Το ρεύμα φόρτισης του πυκνωτή

$$i = dQ(t)/dt = Q_{op} / RC e^{-t/RC}$$

$$i(t) = i_{\text{φορ}} e^{-t/RC}$$

όπου $i(t=0) = V_C/R = i_{\text{φορ}}$

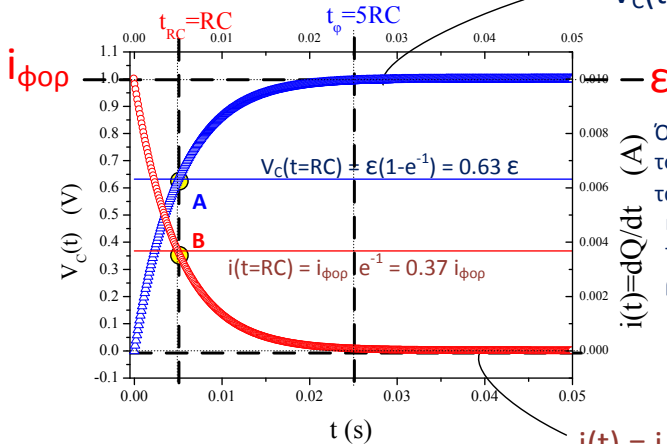
Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης όταν $t=0$ και ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος

Για τη τάση φόρτισης του πυκνωτή ισχύει:

από $Q(t) = Q_{op} (1 - e^{-t/RC})$
 $V_C(t) = Q(t)/C \quad V_C(t) = \epsilon (1 - e^{-t/RC})$ Η τάση φόρτισης του πυκνωτή

Πρακτικά ο χρόνος $t = t_{\phi} = 5RC$ προσδιορίζει το χρόνο φόρτισης γιατί τότε η V_C φθάνει μερικά χιλιοστά πιο κάτω από τη μέγιστη τιμή φόρτισης ϵ

$$V_C(t) = \epsilon (1 - e^{-t/RC})$$



Όταν $t_{RC} = RC$ τότε η V_C φθάνει το 0.63 της μέγιστης τάσης φόρτισης ϵ (σημείο A) και το $i(t)$ φθάνει το 0.37 του μέγιστου ρεύματος φόρτισης $i_{\text{φορ}}$ (σημείο B)

Αυτά τα χαρακτηριστικά σημεία A και B των διαγραμμάτων $V_C(t)$ και $i(t)$ χρησιμοποιούμε για να εξάγουμε τη χαρακτηριστική σταθερά RC του κυκλώματος και το χρόνο φόρτισης $t_{\text{φορ}} = 5RC$

Όταν $t = t_{\text{φορ}} = 5RC$ τότε το ρεύμα μηδενίζεται

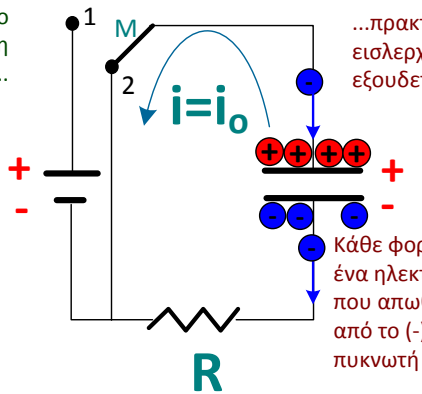
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Εκφόρτιση πυκνωτή

Αρχικά πλήρως φορτισμένος πυκνωτής Με το μεταγωγέα M στο κύκλωμα στη θέση 1

Θέτοντας το μεταγωγέα M στη θέση 2..

...και έτσι εκφορτίζεται ο πυκνωτής και το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα i αντίθετο από αυτό της φόρτισης και είναι αρχικά μεγάλο



...πρακτικά συγχρόνως ένα άλλο ηλεκτρόνιο εισέρχεται στον άλλο σπλισμό του πυκνωτή εξουδετερώνοντας θετικά συσσωρευμένο φορτίο

Καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται και απομακρύνονται φορτία από τους σπλισμούς του, αποκτά μικρότερη διαφορά δυναμικού V_C στα άκρα του,

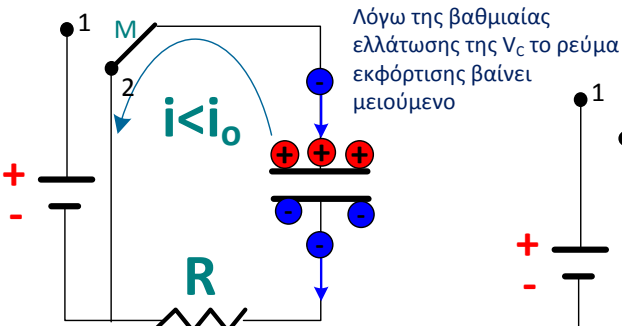
Κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο που απωθείται από το (-) του πυκνωτή

Όμως όταν αρχικά ο πυκνωτής είναι πλήρως φορτισμένος τότε:

$$|V_C| = |\mathcal{E}|$$

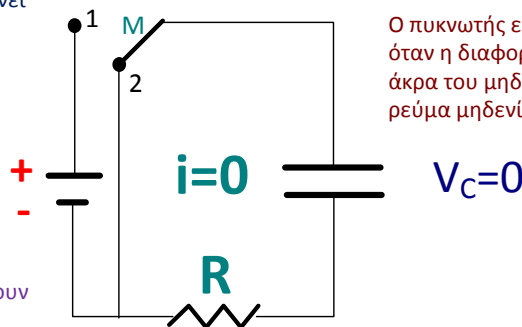
Έτσι ο πυκνωτής καθώς βαθμιαία εκφορτίζεται φαίνεται σα να λειτουργεί σα μπαταρία με μειούμενη ηλεκτρεργετική δύναμη $\mathcal{E}(t) = V_C(t)$

Μερική εκφόρτιση του πυκνωτή



Λόγω της βαθμιαίας ελάττωσης της V_C το ρεύμα εκφόρτισης βαίνει μειούμενο

Πλήρης εκφόρτιση του πυκνωτή



Ο πυκνωτής εκφορτίζεται πλήρως όταν η διαφορά δυναμικού V_C στα άκρα του μηδενιστεί, τότε και το ρεύμα μηδενίζεται

Βάζω «-» και στους 2 όρους και έτσι τελικά έχουν αντίθετο πρόσημο και έτσι έχουν άθροισμα 0 γιατί $dQ < 0$ λόγω της ελάττωσης του φορτίου.

Σε κάθε χρονική στιγμή της εκφόρτισης ισχύει:

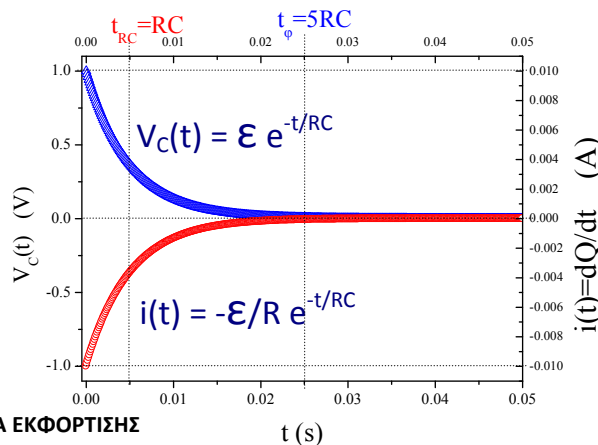
$$-V_R - V_C = 0 \quad -\frac{dQ}{dt}R - \frac{Q}{C} = 0 \quad -\frac{dQ}{dt}R = \frac{Q}{C} \quad \int_{Q_{op}}^{Q(t)} \frac{dQ}{Q} = -\int_0^t \frac{dt}{RC}$$

$$\ln(Q(t)/Q_{op}) = -t/RC \quad Q(t) = Q_{op} e^{-t/RC} \quad \text{Το φορτίο κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή}$$

$$V_C(t) = Q(t)/C = Q_{op}/C e^{-t/RC} \quad V_C(t) = \mathcal{E} e^{-t/RC} \quad \text{Η τάση κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή}$$

$$i(t) = dQ(t)/dt = -Q_{op}/RC e^{-t/RC} \quad i(t) = -\mathcal{E}/R e^{-t/RC} \quad \text{Το ρεύμα κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή}$$

Είναι αρνητικό γιατί είναι αντίθετο από αυτό της φόρτισης

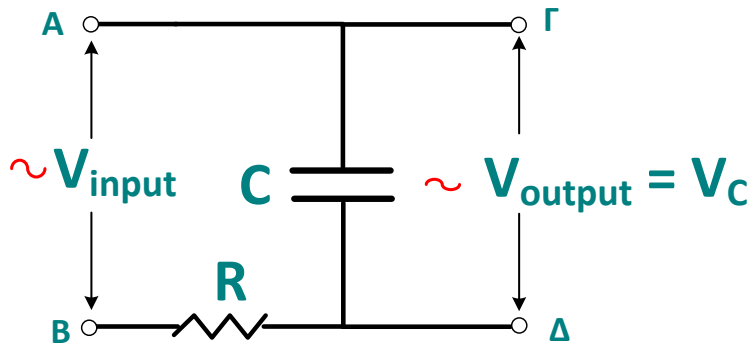


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

t (s)

Εφαρμογή RC Κυκλώματος σαν χαμηλοπερατό φίλτρο

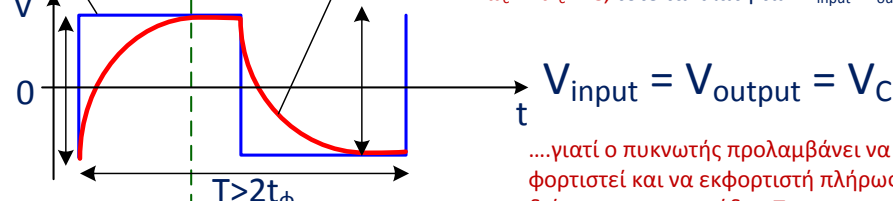
Κύκλωμα RC σε σειρά λειτουργεί και σα χαμηλοπερατό φίλτρο. Σε αυτό το φίλτρο μεταξύ των A και B εφαρμόζεται κάποια εναλλασσόμενη τάση εισόδου με πλάτος V_{input} και μεταξύ των άκρων A και Γ του πυκνωτή παίρνουμε την τάση εξόδου με πλάτος V_{out} ίση με το πλάτος της τάσης του πυκνωτή V_C .



Ο χρόνος φόρτισης του πυκνωτή

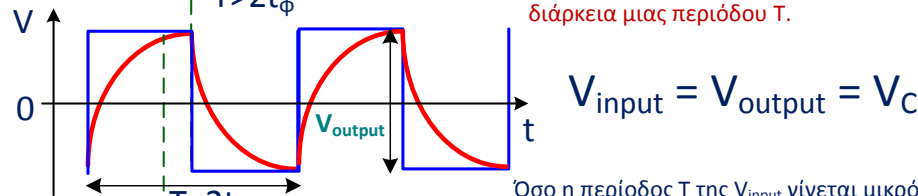
V_{input}
 $V_C = V_{output}$
 $t_{\phi} = 5RC$

Όσο η περίοδος T της V_{input} είναι μεγαλύτερη ή ίση με το $2t_{\phi}$ ή αλλιώς η κυκλική συχνότητα $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ είναι πολύ μικρότερη ($\omega \ll \omega_c$) μιας κρίσιμης κυκλικής συχνότητας $\omega_c = 2\pi\nu_c = 1/RC$, τότε τα πλάτη των $V_{input} = V_{output}$ τάσεων είναι ίσα.

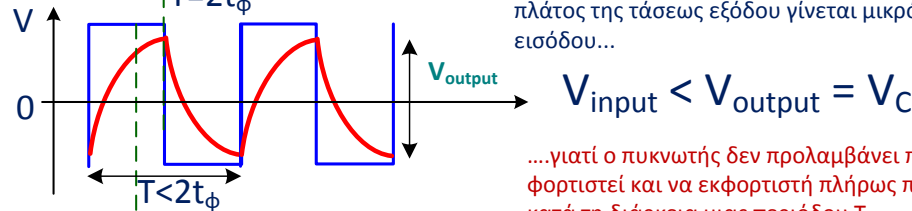


$$\omega \ll \omega_c = 2\pi\nu_c = 1/RC$$

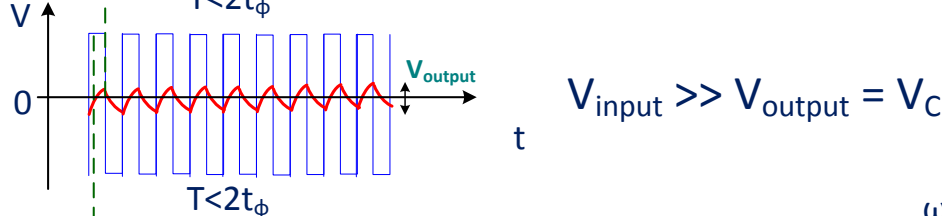
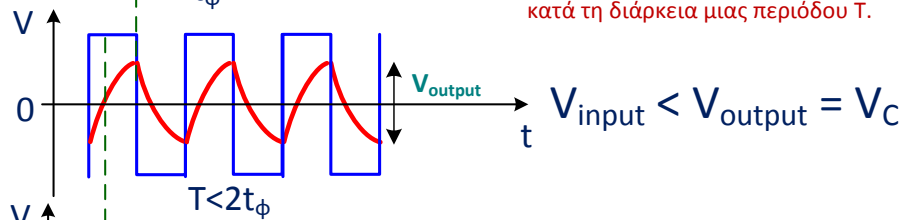
...γιατί ο πυκνωτής προλαμβάνει να φορτιστεί και να εκφορτιστεί πλήρως κατά τη διάρκεια μιας περιόδου T .



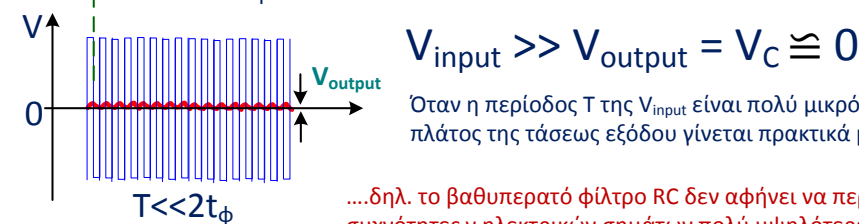
Όσο η περίοδος T της V_{input} γίνεται μικρότερη του $2t_{\phi}$ τότε το πλάτος της τάσεως εξόδου γίνεται μικρότερο αυτό της τάσεως εισόδου...



...γιατί ο πυκνωτής δεν προλαμβάνει πλέον να φορτιστεί και να εκφορτιστεί πλήρως κατά τη διάρκεια μιας περιόδου T .



$$\omega \gg \omega_c = 1/RC = 2\pi\nu_c$$



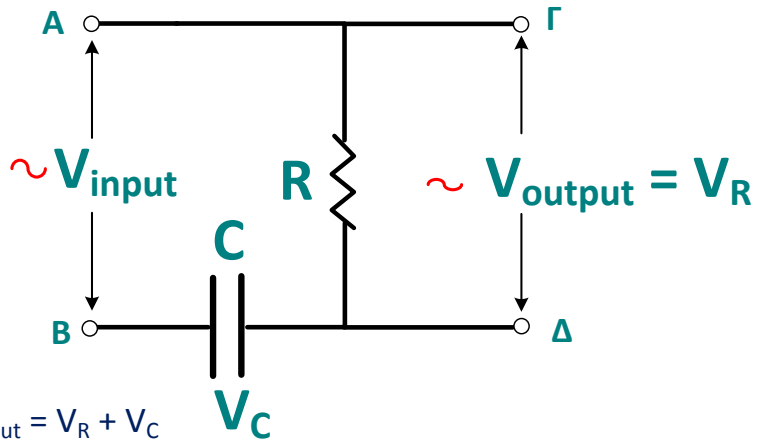
Όταν η περίοδος T της V_{input} είναι πολύ μικρότερη του $2t_{\phi}$ τότε το πλάτος της τάσεως εξόδου γίνεται πρακτικά μηδενικό...

...δηλ. το βαθυπερατό φίλτρο RC δεν αφήνει να περάσουν $V_{output} \cong 0$ συχνότητες ν ηλεκτρικών σημάτων πολύ υψηλότερες ($\nu \gg \nu_c$) της συχνότητας κατοφλίου ν_c , ενώ οι χαμηλότερες συχνότητες ($\nu \ll \nu_c$) περνούν $V_{input} \cong V_{output}$.

Εφαρμογή RC Κυκλώματος σαν υψηλοπερατό φίλτρο

Κύκλωμα RC μπορεί να λειτουργεί και σα υψηλοπερατό φίλτρο. Σε αυτή τη περίπτωση η τάση εξόδου είναι η V_R στα άκρα της αντίστασης μεταξύ των Γ και Δ όπως στο διπλανό σχήμα.

Στο φίλτρο εφαρμόζεται κάποια εναλασώμενη τάση εισόδου με πλάτος V_{input} και μεταξύ των άκρων Δ και Γ της αντίστασης παίρνουμε την τάση εξόδου με πλάτος V_{output} ίση με το πλάτος της τάσης της αντίστασης V_R .



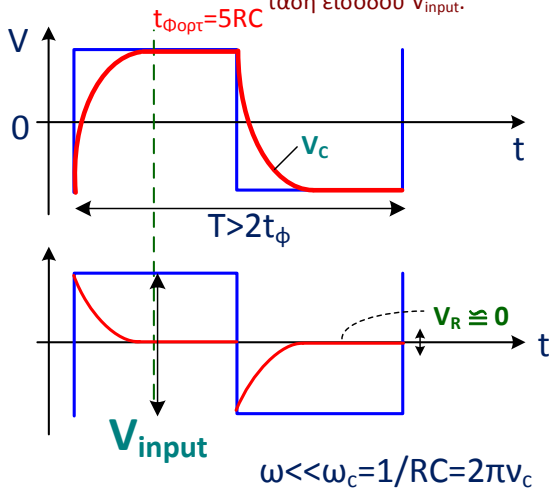
Επειδή ισχύει: $V_{input} = V_R + V_C$

Στις χαμηλότερες συχνότητες $\nu \ll 1/(2\pi RC)$ εκεί που η V_C γίνεται ίση με τη τάση εισόδου V_{input} , η V_R μηδενίζεται.

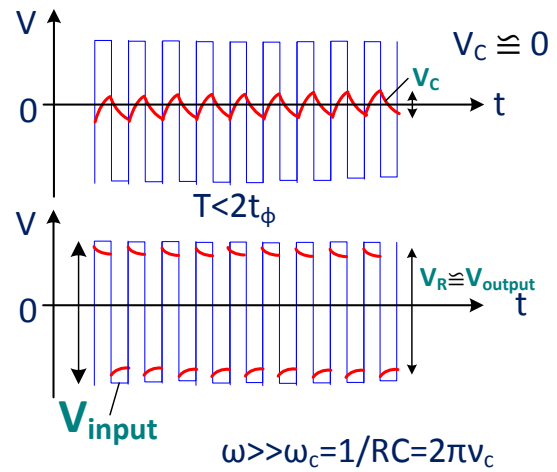
$V_{input} = V_R + 0$ Δηλ. $V_{input} \cong V_R = V_{output}$

..ενώ στις υψηλότερες συχνότητες $\nu \gg 1/(2\pi RC)$ εκεί που η V_C μηδενίζεται, η V_R γίνεται ίση με τη τάση εισόδου V_{input} .

$V_{input} = 0 + V_C$ Δηλ. $V_{output} = V_R \cong 0$



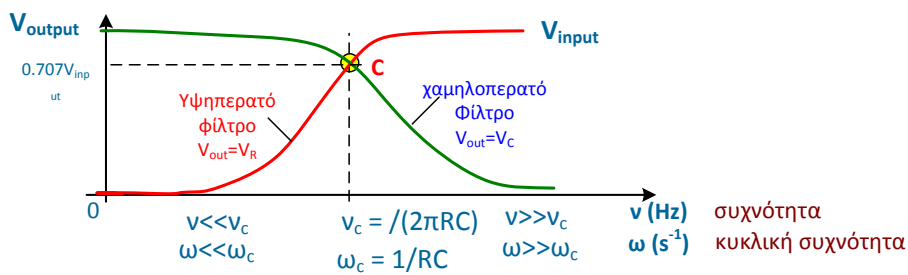
$V_{output} = V_R \cong 0$



$V_{input} \cong V_R = V_{output}$

Επομένως το υψηλοπερατό φίλτρο RC λειτουργεί αντίστροφα του βαθυπερατού φίλτρου...

....δηλ. το υψηλοπερατό φίλτρο RC δεν αφήνει να περάσουν $V_{output} \cong 0$ συχνότητες ν ηλεκτρικών σημάτων πολύ μικρότερες ($\nu \ll \nu_c$) μιας κρίσιμης συχνότητας ν_c , ενώ οι υψηλότερες συχνότητες ($\nu \gg \nu_c$) περνούν $V_{input} \cong V_{output}$.



Συχνότητα κατοφλίου

Β. ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

1. Τι είναι χωρητικότητα και να εξάγετε (αποδείξετε) τη χωρητικότητα του επίπεδου πυκνωτή

Απάντηση:

2. Πως μπορούμε να μετρήσουμε τη χαρακτηριστική σταθερά του κυκλώματος RC.

Απάντηση:

3. Πόσος είναι πρακτικά ο χρόνος φόρτισης-εκφόρτισης του πυκνωτή και πως μπορούμε να τον αυξήσουμε ή να τον ελαττώσουμε.

Απάντηση:

4. Πως μπορούμε να μετρήσουμε το ηλεκτρικό πεδίο ενός επίπεδου πυκνωτή?

Απάντηση:

5. Οι εκφράσεις τις $V_C(t)=\varepsilon(1-e^{-t/RC})$ και $i(t)=i_0e^{-t/RC}$ που εξάγαμε παραπάνω αφορούν φόρτιση του πυκνωτή από $\varepsilon=0$ V σε $\varepsilon>0$. Αντίθετα στο πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε τετραγωνικούς παλμούς τάσης οι οποίοι όμως κυμαίνονται μεταξύ μιας αρνητικής τιμής π.χ. -0.7 V και μιας θετικής τιμής $+0.7$ V και έτσι ο πυκνωτής τροφοδοτείται εναλλακτικά μεταξύ $V_C=-0.7$ V και $V_C=+0.7$ V και φορτίζεται με αντίθετο φορτίο ($+Q$, $-Q$). Σε αυτή τη περίπτωση οι αντίστοιχες εκφράσεις είναι: $V_C(t)=\varepsilon(1-2e^{-t/RC})$ και $i(t)=i_02e^{-t/RC}$. Πως υπολογίστηκαν αυτές οι τιμές, δηλ. τι πρέπει να αλλάξουμε στη παραπάνω διαδικασία επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης?

Απάντηση:

6. Σχεδιάστε το ηλεκτρικό τα κυκλώματα του χαμηλοπερατού και υψηλοπερατού φίλτρου σημειώνοντας τις τάσεις εισόδου και εξόδου.

Απάντηση:

Γ. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

I. ΦΟΡΤΙΣΗ-ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

1. Κάνετε τη Συνδεσμολογία Α που απεικονίζεται στο Σχήμα 1 της πειραματικής διάταξης και συνδέστε την αντίσταση και το πυκνωτή στη σειρά με το καλώδιο τροφοδοσίας από τη γεννήτρια συχνοτήτων για την οποία έχετε επιλέξει στην οθόνη του PC το τετραγωνάκι για τετραγωνικούς παλμούς. Επίσης συνδέστε στα άκρα το πυκνωτή C στην αντίστοιχη είσοδο για το παλμογράφο. Προσοχή η γείωση του παλμογράφου πρέπει να συνδεθεί με τη γείωση της τάσης τροφοδοσίας της γεννήτριας συχνοτήτων.

2. Σημειώστε στο Πίνακα I τη ελάχιστη τιμή της τάσης V_{Cmin} από το αντίστοιχο εικονίδιο που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή.

3. Παρατηρήστε τη κυματομορφή της $V_C(t)$, είναι αυτή που περιμένουμε? Αν ναι, τότε βάζοντας το «κέρσορα» στην οθόνη του υπολογιστή-παλμογράφου σε διαφορετικούς χρόνους, καταγράψτε στο Πίνακα I τις τιμές του χρόνου (t) και της $V_C(t)$ που καταγράφεται στην οθόνη του υπολογιστή περίπου ανά 0.1 ms τις 5 πρώτες τιμές και περίπου ανά 0.3-0.5 ms τις υπόλοιπες. Σα πρώτες τιμές $t=t_0$ και $V_C(t_0)$ καταγράψτε **ακριβώς** την τελευταία κατώτατη τιμή όπου μετά από αυτή η τάση V_C αυξάνεται. Σα τελευταία τιμή της $V_C(t)$ καταγράφεται τη τελευταία ανώτατη τιμή μετά την οποία η $V_C(t)$ ελαττώνεται και πάλι. Τέλος καταγράψτε στο επάνω μέρος του Πίνακα I την ελάχιστη τιμή της V_C τάσης από το V_{min} που εμφανίζεται στην οθόνη του PC.

4. Κάνετε τη Συνδεσμολογία Β που απεικονίζεται στο Σχήμα 1 της πειραματικής διάταξης και συνδέστε στα άκρα της αντίστασης R στην αντίστοιχη είσοδο του παλμογράφου. Προσοχή η γείωση του παλμογράφου πρέπει να συνδεθεί με τη γείωση της τάσης τροφοδοσίας.

5. Παρατηρήστε τη κυματομορφή της $V_R(t)$, είναι αυτή που περιμένουμε? Αν ναι, τότε βάζοντας το «κέρσορα» στην οθόνη του υπολογιστή-παλμογράφου σε διαφορετικούς χρόνους, καταγράψτε στο Πίνακα I τις τιμές του χρόνου (t) και την αντίστοιχη τιμή του $V_R(t)$ που καταγράφονται στην οθόνη του υπολογιστή περίπου ανά 0.1 ms τις 5 πρώτες τιμές και περίπου ανά 0.3-0.5 ms τις υπόλοιπες. Σα πρώτες τιμές $t=t_0$ και $V_R(t_0)$ καταγράψτε **ακριβώς** την τελευταία ανώτατη τιμή όπου μετά από αυτή η τάση V_R ελαττώνεται. Σα τελευταία τιμή της $V_R(t)$ καταγράφεται τη τελευταία κατώτατη τιμή που εμφανίζεται στην οθόνη. Τέλος καταγράψτε στο επάνω μέρος του Πίνακα I την ελάχιστη τιμή της V_R τάσης από το V_{max} που εμφανίζεται στην οθόνη του PC.

II. ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟ-ΥΨΗΛΟΠΕΡΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ

5. Κάνετε πάλι τη συνδεσμολογία Α (βλέπε Σχήμα 1) του χαμηλοπερατού φίλτρου. Επιλέγουμε στην οθόνη του PC το τετραγωνάκι για ημιτονοειδή κυματομορφή στη γεννήτρια συχνοτήτων. Εισάγεται τη πρώτη τιμή της περιόδου T που αναγράφονται στον Πίνακα II στο αντίστοιχο εικονίδιο στην οθόνη του PC και καταγράψτε στο Πίνακα II τη μέγιστη τιμή V_{max} της V_C που εμφανίζεται στην οθόνη του PC. Επαναλάβετε το ίδιο για όλες τις τιμές της T του Πίνακα II.

6. Κάνετε πάλι τη συνδεσμολογία Β (βλέπε Σχήμα 1) του υψηλοπερατού φίλτρου. Εισάγετε τη πρώτη τιμή της περιόδου T που αναγράφονται στον Πίνακα II στο αντίστοιχο εικονίδιο στην οθόνη του PC και καταγράψτε στο Πίνακα II τη μέγιστη τιμή V_{max} της V_R που εμφανίζεται Δ. στην οθόνη του PC. Επαναλάβετε το ίδιο για όλες τις τιμές της T του Πίνακα II.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

1. Υπολογίστε στο Πίνακα I τη διαφορά $t-t_0$ και κάνετε στο παρακάτω διάγραμμα τη γραφική παράσταση της $V_C(t)$ που μετρήσατε έναντι του $(t-t_0)$.
2. Με τη βοήθεια του προγράμματος Origin να υπολογίσετε τη θεωρητική τιμή $V_C(t) = V_{Cmin}(1-2e^{-t/RC})$ δοκιμάζοντας διάφορες τιμές για τη σταθερά RC σε ms. Η βέλτιστη τιμή της RC είναι αυτή για την οποία οι θεωρητικές τιμές του V_C συμφωνούν καλύτερα με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές. Την τιμή αυτή του RC την καταγράφεται στο Πίνακα I και τα αποτελέσματα των βέλτιστων θεωρητικών τιμών του $V_C(t)$ τα καταγράφετε στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα I. Με τη τιμή του RC που προσδιορίσατε να υπολογίστε και τη τιμή της $V_R(t)$.
2. Υπολογίστε τη χωρητικότητα C του πυκνωτή σε μονάδες μF από το χαρακτηριστικό χρόνο $t=RC$, που προσδιορίσατε παραπάνω αφού μετρήσατε με το πολύμετρο την αντίσταση R . Σημειώστε τη τιμή της $R=..... \Omega$ και υπολογίστε τη χωρητικότητα C από τη σχέση: $C=(RC)/R=.....\mu F$, κρατήστε τόσα σημαντικά ψηφία όσα και ο αριθμός με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία.
3. Κάνετε τη γραφική παράσταση με σημεία (εύρους περίπου 2 mm το κάθε σημείο) στο παρακάτω μιλλιμετρέ χαρτί της $V_C(t)$ έναντι του $(t-t_0)$ και στο ίδιο διάγραμμα με μικρότερα σημεία (περίπου 1 mm) τη θεωρητική $V_R(t)=V_{Rmax} e^{-t/RC}$, την οποία έχετε υπολογίσει ήδη με τη βοήθεια του Origin και έχετε καταγράψει πριν στη αντίστοιχη στήλη στο Πίνακα I. Κατόπιν να φέρετε με μολύβι τη βέλτιστη γραμμή διαμέσου των θεωρητικών σημείων.

Διάγραμμα 1

4. Κάνετε τη γραφική παράσταση με σημεία (εύρους περίπου 2 mm το κάθε σημείο) στο παραπάνω μιλλιμετρέ χαρτί (Διάγραμμα 1) και ακριβώς κάτω από αυτό της $V_C(t)$ τη γραφική παράσταση της πειραματικής $V_R(t)$ έναντι του $(t-t_0)$. Στο ίδιο διάγραμμα με μικρότερα σημεία (περίπου 1 mm) κάνετε τη γραφική παράσταση της θεωρητικής $V_R(t)$ έναντι του $(t-t_0)$. Κατόπιν να φέρετε με μολύβι τη βέλτιστη γραμμή διαμέσου των θεωρητικών σημείων.

5. Πόσο καλά οι πειραματικές τιμές συμφωνούν με τις θεωρητικές?

Σχολιάστε:

6. Σημειώστε επάνω στο Διάγραμμα 1 το χρόνο φόρτισης $t_{φορτ}=5RC$ από τη τιμή της RC που προσδιορίσατε παραπάνω. Παρατηρείστε αν μέσα στο παραπάνω χρόνο $t_{φορτ}$ η V_C έχει πρακτικά φθάσει στην οριακή μέγιστη τιμή, ενώ η V_R έχει προσεγγίσει το 0.

Σχολιάστε:

7. Υπολογίστε τις σχετικές τιμές των V_C/V_{Cmax} και V_R/V_{Rmax} στο Πίνακα II. Να κάνετε τη γραφική παράσταση του $V_{out}=V_C/V_{Cmax}$ έναντι της κυκλικής συχνότητας ω στο παρακάτω ημιλογαριθμικό χαρτί Διάγραμμα 2 για το χαμηλοπερατό φίλτρο από το Πίνακα II. Η χρήση ημιλογαριθμικής κλίμακας επιβάλλεται για καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων γιατί η συχνότητα μεταβάλλεται σε σχετικά μεγάλο εύρος τιμών μέσα σε δύο τάξεις μεγέθους από μικρές μέχρι αρκετά μεγαλύτερες τιμές.

8. Στο ίδιο Διάγραμμα 2 να κάνετε τη γραφική παράσταση του $V_{out}=V_R/V_{Rmax}$ έναντι της κυκλικής συχνότητας ω για το υψηλερατό φίλτρο από το Πίνακα II.

9. Σημειώστε με κατακόρυφο γραμμή τη τιμή της RC που βρήκατε στο βήμα 1 ενώ η οριζόντια γραμμή στη τιμή 0.707 που περιμένουμε να έχουν φθάσει οι τιμές των τάσεων εξόδου των 2 φίλτρων για $\omega_c=1/RC$. Είναι κοντά τα πειραματικά σημεία σε αυτή τη πρόβλεψη?

Σχολιάστε:

10. Καταγράψτε τα αποτελέσματα τις περιοχές συχνοτήτων ω που αφήνουν να περάσουν ($V_{output}=max$) και αυτές που εμποδίζουν ($V_{output}\cong 0$) τα παραπάνω φίλτρα.

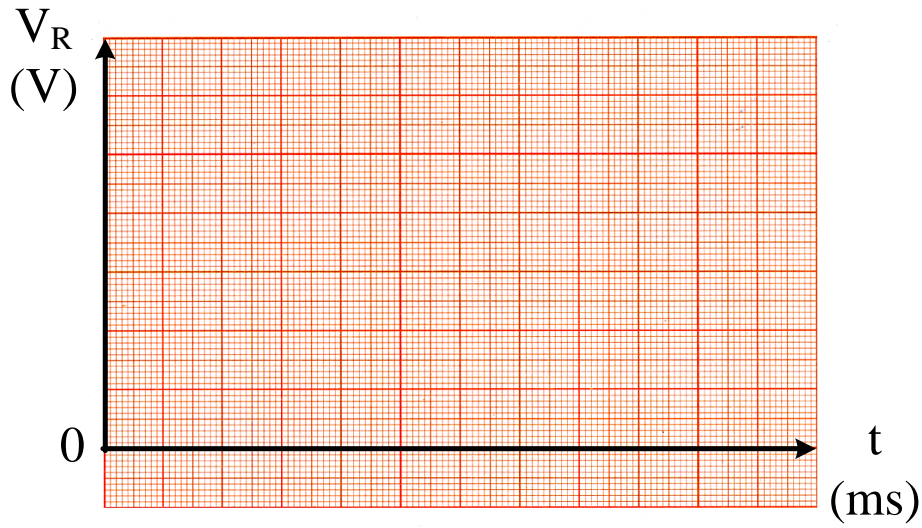
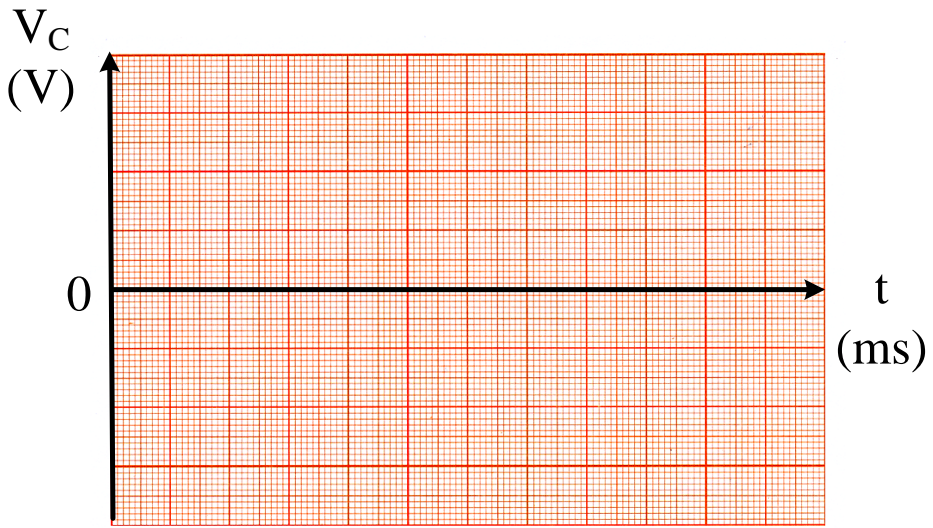
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Πίνακας Ι

$t_0 = \dots \text{ms}$ $t_{RC} = RC = \dots \text{ms}$ $V_{Cmin} = \dots \text{V}$ $t_0 = \dots \text{ms}$ $V_{Rmax} = \dots \text{V}$

t (ms)	$t-t_0$ (ms)	V_C (V)	$V_C(t) = V_{min}(1-2e^{-t/RC})$ (V)	t (ms)	$t-t_0$ (ms)	V_R (V)	$V_R(t) = V_{Rmax} e^{-t/RC}$

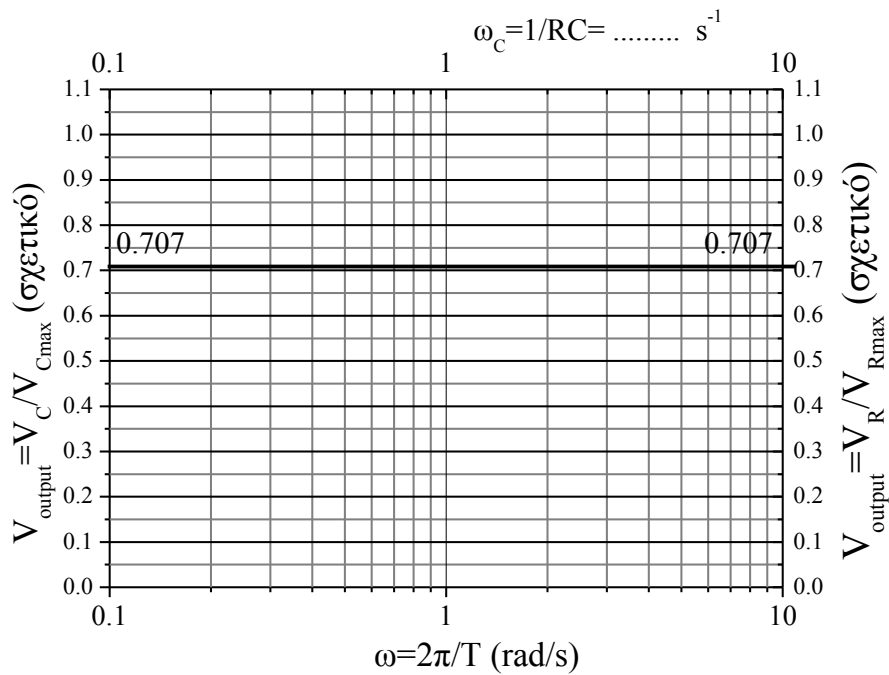
Διάγραμμα 1



Πίνακας II

T (ms)	$\nu=1/T$ (Hz)	$\omega=2\pi\nu$ (s⁻¹)	V_C (V) χαμηλοπερατό φίλτρο	V_C/V_{Cmax} χαμηλοπερατό φίλτρο	V_R (V) υψηπερατό φίλτρο	V_R/V_{Rmax} υψηπερατό φίλτρο
30	33.3	0.209				
23	43.48	0.273				
20	50.00	0.314				
15	66.67	0.419				
10	100.00	0.628				
8	125.00	0.785				
6	166.67	1.047				
4	250.00	1.571				
3	333.33	2.094				
2	500.00	3.1416				
1	1000.00	6.2832				

Διάγραμμα 2



ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Πυκνωτές, φόρτιση-εκφόρτιση πυκνωτή, ηλεκετρικό πεδίο πυκνωτή, ηλεκτρικά κυκλώματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημειώσεις παραδόσεων Εφαρμοσμένης Φυσικής: Ενότητες 9 και 10.

<http://www.des.upatras.gr/physics/kounavis/Lectures/Sem1/LeucturesAPPL.htm>

Halliday-Resnick-Walter

Serway Physics for Scientists & Engineers τόμος II

Πανεπιστημιακή Φυσική Young τόμος Β

ΑΣΚΗΣΗ 6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: Βαθμολογία, μαγνητομέτρου, προσδιορισμός της σταθεράς μ_0 και εύρεση μαγνητικού πεδίου από το διάνυσμα της μαγνητικής δύναμης σε ηλεκτρικό αγωγό.

ΣΚΟΠΟΣ : Να μετρηθεί το μαγνητικό πεδίο κυκλικών ρευματοφόρων αγωγών και να επιβεβαιωθεί ο θεωρητικός υπολογισμός με βάση το νόμο Biot-Savart.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

5. Κυκλικοί ρευματοφόροι αγωγοί (πηνία) με 10 ή 5 σπείρες ($N=10$ ή 5) και ακτίνες $R=10\text{cm}$ και $R=20\text{cm}$.
6. Τροφοδοτικό ac και dc ρεύματος.
7. Αμπερόμετρο.
8. Ανιχνευτής μαγνητικού πεδίου (Axial B-probe).
9. Μετρητικό μαγνητικού πεδίου (Teslameter).

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Κινούμενα φορτία λόγω της κίνησής τους παράγουν στο χώρο γύρω τους μαγνητικά πεδία σύμφωνα με το εξωτερικό γινόμενο:

Ο κανόνας του δεξιού χεριού για την εύρεση του B

... τότε ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του μαγνητικού πεδίου προς τα έξω και είναι κάθετο και στο r και στο qv' .

...και η παλάμη γίνεται κάθετη στο επίπεδο των r και qv'

Η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του qv' ...

...περιστρέφουμε το χέρι ώστε η παλάμη να βλέπει προς τα κάτω εκεί που είναι το μοναδιαίο διάνυσμα r ...

Επομένως το B στον επάνω χώρο από το qv' είναι προς τα έξω..

...και προς τα μέσα της σελίδας στο κάτω χώρο

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q'v'}{r^2} \times \hat{r}$$

Όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα και \hat{r} το μοναδιαίο διάνυσμα

... τότε ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του μαγνητικού πεδίου προς τα μέσα και είναι κάθετο και στο r και στο qv' .

...περιστρέφουμε το χέρι ώστε η παλάμη να βλέπει προς τα κάτω εκεί που είναι το μοναδιαίο διάνυσμα r ...

Η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του qv' ...

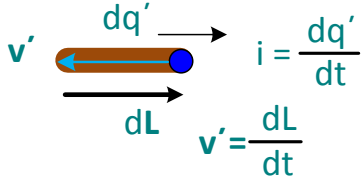
Έτσι οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρα επί του φορέα του qv' που εξέρχονται από το πάνω μέρος της σελίδας και εισέρχονται από το κάτω μέρος της σελίδας σύμφωνα με τα βελάκια τα οποία παριστάνουν το B

Η φορά του B πάλι με το κανόνα του δεξιού χεριού, όταν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του qv' τότε οι φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του B

Αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα λόγω της κίνησης των ηλεκτρονίων δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο γύρω χώρο. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου \mathbf{B} που δημιουργείται σε οποιοδήποτε σημείο P στο χώρο γύρω από αγωγό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα περιγράφεται από το νόμο των Biot-Savart σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.

Ευθύγραμμος αγωγός στοιχειώδους μήκους dL που διαρρέεται από ρεύμα i που οφείλεται σε ηλεκτρόνια αρνητικού φορτίου που κινούνται με ταχύτητα (ολίσθησης) \mathbf{v} με φορά αντίθετη του ρεύματος.

Έτσι φορτίο dQ' διέρχεται από τον αγωγό σε χρόνο dt διανύοντας την απόσταση dL με ταχύτητα $u=dL/dt$



Ισχύει:

$$dQ'\mathbf{v}' = dQ' \frac{dL}{dt} = dQ'/dt d\mathbf{L} = i d\mathbf{L}$$

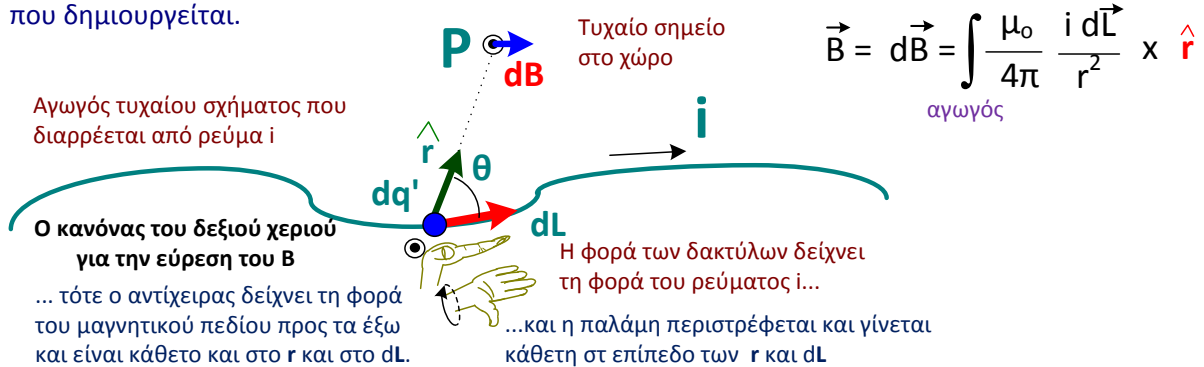
Το dL έχει τη φορά του ρεύματος

Δηλ το γινόμενο $dQ'\mathbf{v}' = i d\mathbf{L}$ Και έχει πάντα τη φορά του ρεύματος είτε το dQ' είναι αρνητικό είτε θετικό

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dQ'\mathbf{v}'}{r^2} \times \hat{r} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\mathbf{L}}{r^2} \times \hat{r} \quad \text{Νόμος Biot-Savart}$$

πολύ σημαντικός !!!

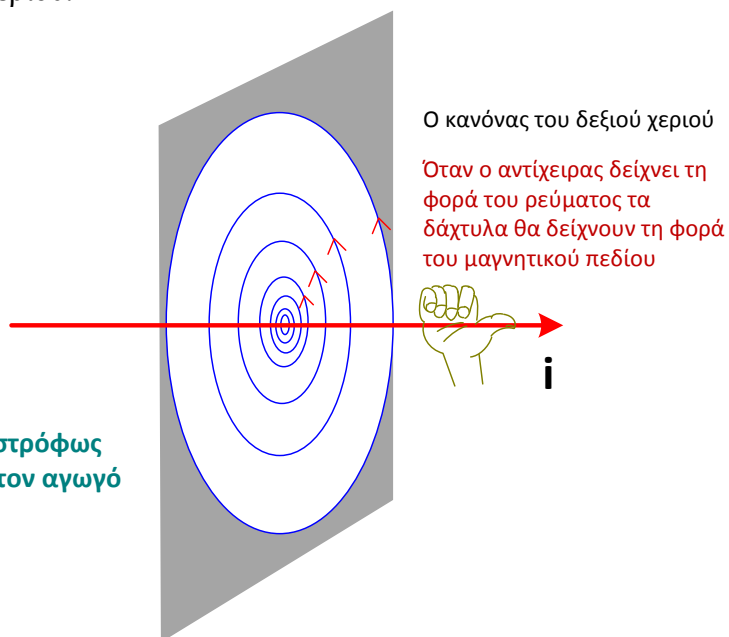
Με αυτό το νόμο ολοκληρώνοντας επάνω στον αγωγό οποιοδήποτε σχήματος που διαρρέεται από ρεύμα i βρίσκω το μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} που δημιουργείται.



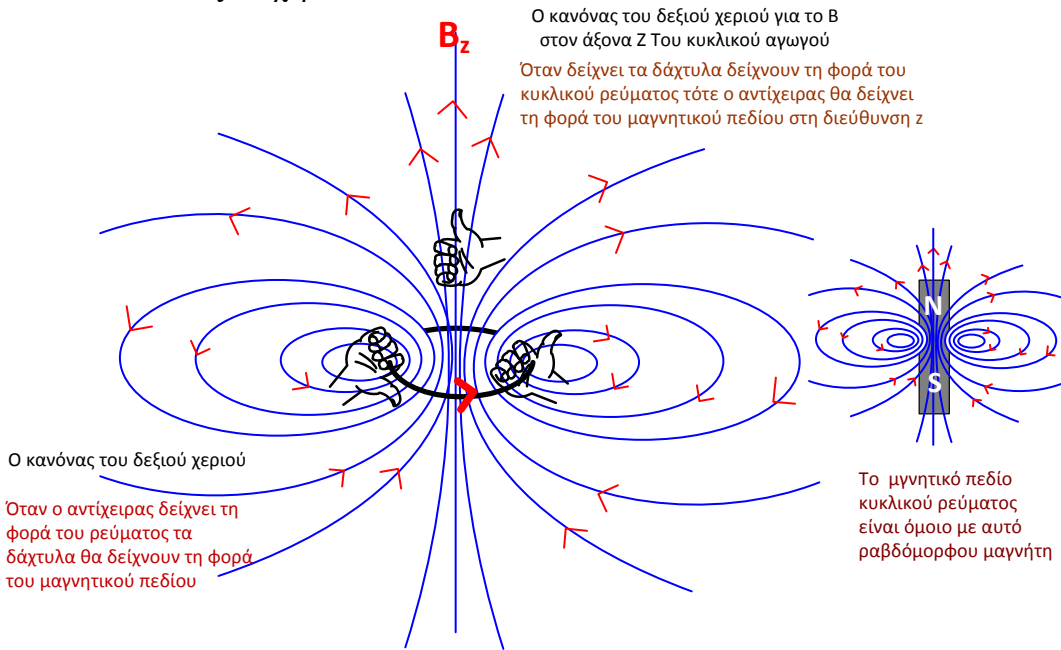
Το μαγνητικό πεδίο \mathbf{B}_r ευθύγραμμου αγωγού που διαρρέεται από ρεύμα I έχει τη μορφή ομόκεντρων κύκλων επάνω σε επίπεδο που είναι κάθετο στον αγωγό όπως στο παρακάτω σχήμα σύμφωνα με το κανόνα του δεξιού χεριού.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{x}$$

Το μαγνητικό πεδίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης x από τον αγωγό



Το μαγνητικό πεδίο κυκλικού αγωγού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και η φορά του βρίσκεται με το κανόνα του δεξιού χεριού.



Ο κανόνας του δεξιού χεριού για το B στον άξονα Z Του κυκλικού αγωγού
Όταν δείχνει τα δάχτυλα δείχνουν τη φορά του κυκλικού ρεύματος τότε ο αντίχειρας θα δείχνει τη φορά του μαγνητικού πεδίου στη διεύθυνση z

Ο κανόνας του δεξιού χεριού
Όταν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ρεύματος τα δάχτυλα θα δείχνουν τη φορά του μαγνητικού πεδίου

Το μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρεύματος είναι όμοιο με αυτό ραβδόμορφου μαγνήτη

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i \pi R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

Μαγνητικό πεδίο κυκλικού αγωγού
Είναι ένα Μαγνητικό δίπολο

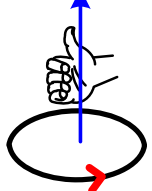
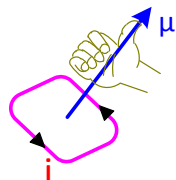
Είναι το αντίστοιχο του ηλεκτρικού διπόλου στον ηλεκτρισμό

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\mu}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

Μαγνητική διπολική ροπή βρόχου

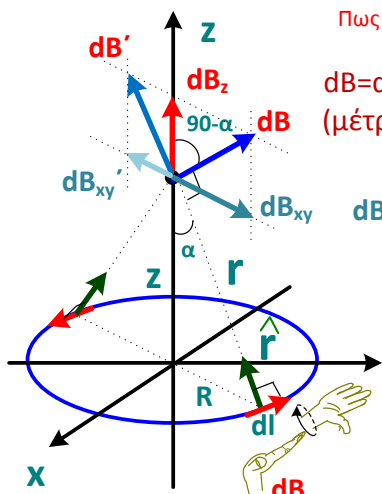
$\mu = i \pi R^2$
 $\mu = \text{ρεύμα επί εμβαδόν}$

Για οποιοδήποτε κλειστό βρόχο ρεύματος i



κανόνας δεξιού χεριού

Όταν η φορά των δακτύλων δείχνει το ρεύμα τότε ο αντίχειρας δείχνει τη μ



Πως υπολογίζεται το μαγνητικό πεδίο στον άξονα z κυκλικού βρόχου ακτίνας R που διαρρέεται από ρεύμα i

$dB = dB'$
(μέτρο)

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i dl}{z^2 + R^2}$$

r^2

Μόνον η dBz επιζεί

$$dB_z = dB \cos(90 - \alpha) = dB \sin \alpha = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i dl}{z^2 + R^2} \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = R / (z^2 + R^2)^{1/2}$$

$$B_z = \int_{\text{βρόχο}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i R dl}{(z^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i R}{(z^2 + R^2)^{3/2}} 2\pi R \quad B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i \pi R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

Ο αντίχειρας δείχνει το dB προς τα έξω

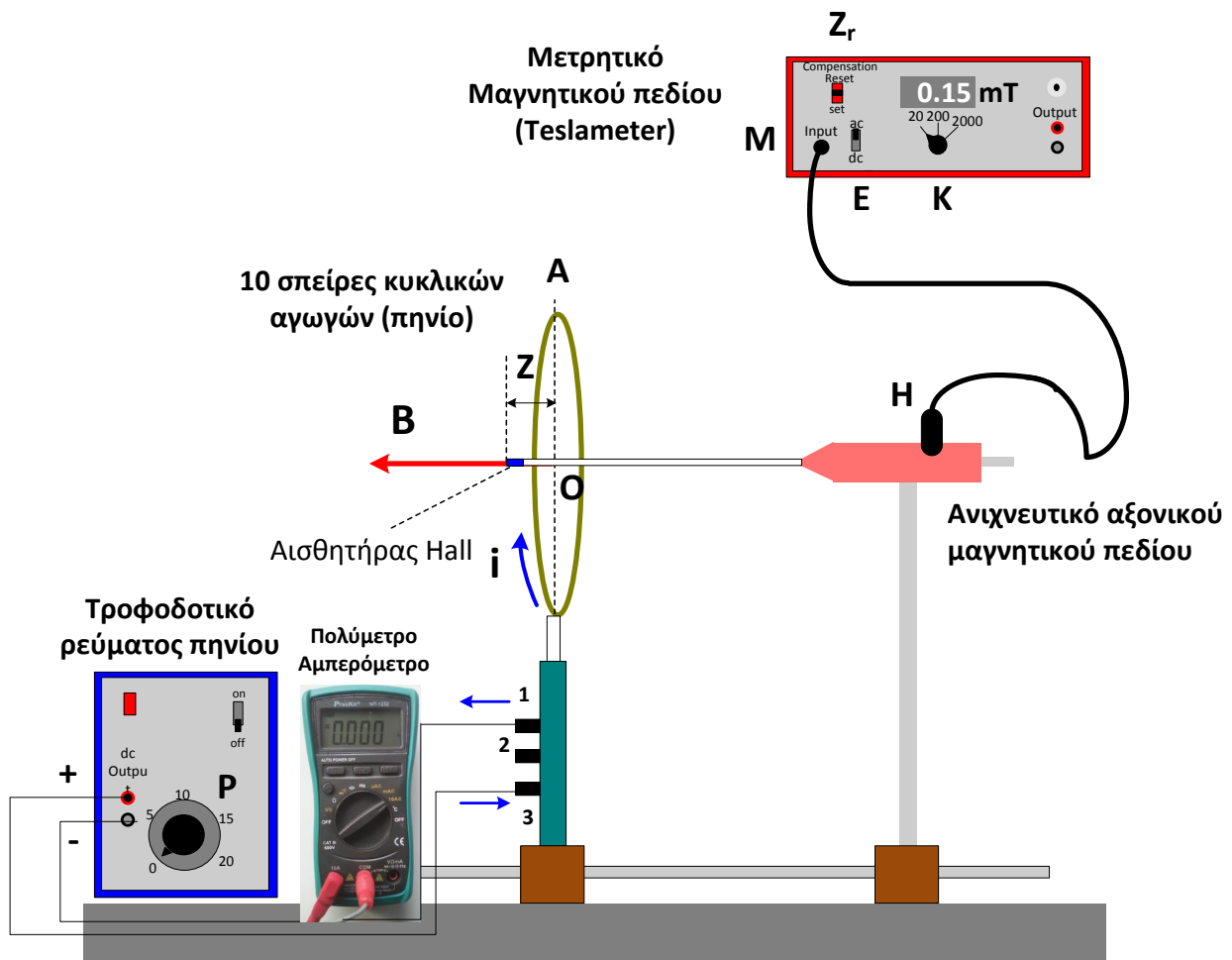
Παραπάνω βρέθηκε η έκφραση του μαγνητικό πεδίου B_z κατά μήκος του άξονα ZZ' που είναι κάθετος στο επίπεδο του κυκλικού αγωγού και διέρχεται από το κέντρο, όπου το μήκος z μετρείται επάνω στον άξονα ZZ' με αρχή το κέντρο του κυκλικού αγωγού. Αν τοποθετήσουμε συνολικά N κυκλικές σπείρες τότε το μαγνητικό πεδίο γίνεται:

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\pi N I R^2}{(R^2 + Z^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Για $z=0$ (κέντρο του πηνίου) έχουμε

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\pi N I}{R} \quad (2)$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ μέτρησης μαγνητικού πεδίου



Σχήμα 1 Πειραματική διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου κυκλικών πηνίων.

Κυκλικό πηνίο με $N=5$ ή 10 σπείρες διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα i στη περιοχή $0-6$ A με τη βοήθεια τροφοδοτικού. Το μαγνητικό αυτό πεδίο B_z μπορεί να μετρηθεί τοποθετώντας έναν ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου (μαγνητόμετρο) κατά μήκος του κάθετου άξονα. Στο άκρο του στελέχους υπάρχει ο αισθητήρας Hall που είναι ευαίσθητος σε μαγνητικά πεδία παράλληλα με τη διεύθυνση του στελέχους. Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα Hall βασίζεται στο φαινόμενο Hall. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που υπάρχει στον αισθητήρα διαβάζεται απευθείας στο μετρητικό Tesla meter σε mTesla (mT).

Αποτελείται από ένα μικρό δείγμα αγωγού ή ημιαγωγού που η λειτουργία του σαν μετρητής μαγνητικού πεδίου βασίζεται στο φαινόμενο Hall

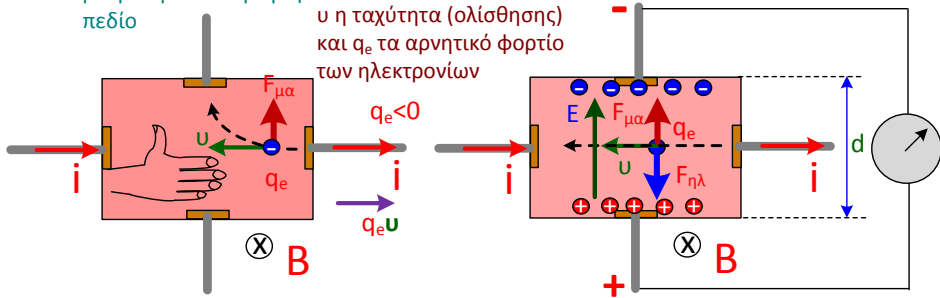
Αισθητήρας Hall

Ανιχνευτής μαγνητικού πεδίου
Μαγνητόμετρο

Φαινόμενο Hall

Πολύ σημαντικό φαινόμενο γιατί με βάση αυτό μπορούμε να προσδιορίσουμε το είδος των φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτρόνια ή οπές), να υπολογίσουμε τη συγκέντρωσή τους, Και να μετρήσουμε το μαγνητικό πεδίο.

Μικρό δείγμα αγωγού ή ημιαγωγού διαρρέομενο από ρεύμα i μέσα σε μαγνητικό πεδίο



u η ταχύτητα (ολίσθησης) και q_e τα αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων

...δημιουργείται περίσσεια ηλεκτρονίων και αρνητικό φορτίο στην επάνω πλευρά του ημιαγωγού..

Με τη βοήθεια βολτομέτρου μετρούμε τη πολικότητα και τη διαφορά δυναμικού ΔV μεταξύ του άνω και κάτω εγκάρσιου ηλεκτροδίου

Η ΔV ονομάζεται τάση Hall

Η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του ρεύματος και του $q_e u$ ενώ η παλάμη βλέπει τη φορά του B , τότε ο αντίχειρας δείχνει τη μαγνητική δύναμη F_μ ... που εκτρέπει τα ηλεκτρόνια προς τα επάνω

...και έλλειμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια θετικού φορτίου στην κάτω πλευρά του ημιαγωγού..

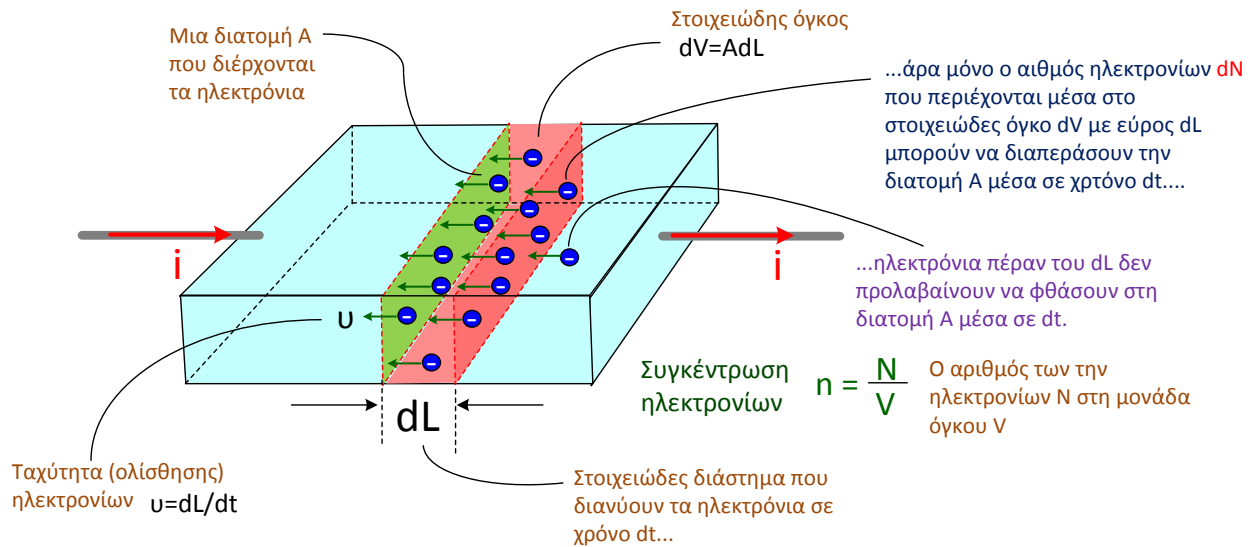
Με τη συσσώρευση των φορτίων δημιουργείται εγκάρσιο ηλεκτρικό πεδίο E που εμποδίζει επιπλέον εκτροπή ηλεκτρονίων και έτσι γρήγορα δημιουργείται ισορροπία...

...με την αποκατάσταση ισορροπίας με $F_{\mu\alpha} = E_{\eta\lambda\epsilon\tau\rho}$ τα ηλεκτρόνια δεν εκτρέπονται πλέον και κινούνται ευθύγραμμα.

$$F_{\eta\lambda} = F_{\mu\alpha} \quad e E = e u B \quad E = u B \quad \Delta V/d = u B \quad (1)$$

Προσδιορισμός της ταχύτητας ολίσθησης των ηλεκτρονίων από τη μέτρηση του ρεύματος i .

(1)



Ταχύτητα (ολίσθησης) ηλεκτρονίων $u = dL/dt$

Το ηλεκτρικό φορτίο dq που διαπερνά τη διατομή A του ημιαγωγού Σε χρόνο dt

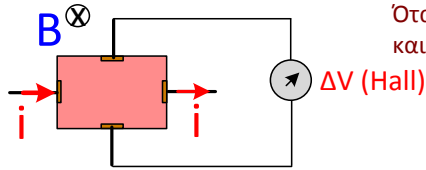
Όμως βρήκαμε παραπάνω $\Delta V/d = u B$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{e dN}{dt} = \frac{e n dV}{dt} = \frac{e n A dL}{dt} = e n A \frac{dL}{dt} = e n A u \quad u = \frac{i}{e n A} \quad \Delta V = \frac{i B d}{e n A} \quad (2)$$

ΔV (Hall)

Με βάση το φαινόμενο Hall ένα μικρό δείγμα ημιαγωγού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αισθητήρας μαγνητικού πεδίου και να λειτουργήσει σα μαγνητόμετρο.

Αισθητήρας Hall λειτουργία σα μαγνητόμετρο



Όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση (n) το ρεύμα i , το πάχος d και η διατομή A του αισθητήρα λύνοντας την (2) ως προς B :

$$B = \frac{i d}{enA} \Delta V$$

... τότε μετρώντας τη διαφορά δυναμικού ΔV (Hall) με ένα βολτόμετρο τότε πολ/ζοντας τη ΔV (Hall) με (id/enA) μπορεί να υπολογιστεί το μαγνητικό πεδίο B και έτσι η τάση ΔV σε mV που μετράει το βολτόμετρο μετατρέπεται σε mT .

Επίσης με βάση το φαινόμενο Hall σε ένα μικρό δείγμα ημιαγωγού μπορούμε να προσδιορίσουμε πολύ σημαντικές παραμέτρους ενός ημιαγωγού :

το είδος των φορέων (οπές ή ηλεκτρόνια) του ηλεκτρικού ρεύματος

Εύρεση του σημείου (+ ή -) του είδους των φορτίων (οπές ή ηλεκτρόνια) που μεταφέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα

Το Βολτόμετρο εμφανίζει +

...γιατί τα - και + του βολτομέτρου συνδέονται αντίστοιχα με τα - και + του δείγματος

φορείς του ρεύματος ηλεκτρόνια (+ ΔV_{Hall})

Εκτρέπονται αριστερά ηλεκτρόνια
Το διάνυσμα $q_e u$ έχει πάντα τη φορά του i
Εδώ $q_e < 0$ και $u < 0$
Οπότε $q_e u > 0$ όπως το i

Το Βολτόμετρο εμφανίζει -

...γιατί τα - και + του βολτομέτρου συνδέονται αντίθετα με τα + και - του δείγματος

φορείς του ρεύματος οπές (- ΔV_{Hall})

Εκτρέπονται αριστερά οπές
Η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του ρεύματος και του $q_e u$ ενώ η παλάμη βλέπει τη φορά του B , τότε ο αντίχειρας δείχνει τη φορά της μαγνητικής δύναμης F_μ ...

Εδώ $q_e > 0$ και $u > 0$
Οπότε $q_e u > 0$ όπως το i

Και στις 2 περιπτώσεις δηλ όταν το ρεύμα οφείλεται σε ηλεκτρόνια και όταν οφείλεται σε οπές, και τα ηλεκτρόνια και οι οπές εκτρέπονται προς τα επάνω και έτσι από το πρόσημο της τάσης Hall γίνεται + (οπές) και - (ηλεκτρόνια) μπορούμε να προσδιορίσουμε το είδος των φορέων

και να μετρήσουμε τη συγκέντρωση των ηλεκτρονίων ή οπών.

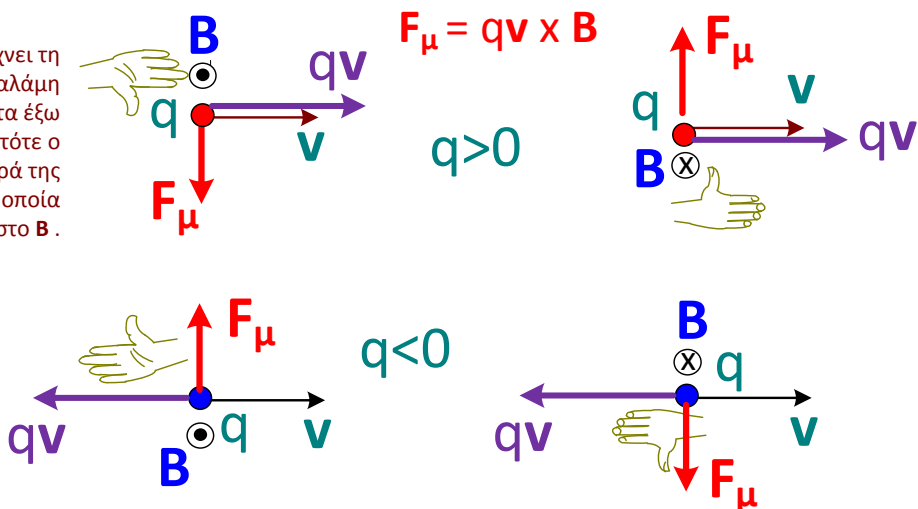
Μέτρηση της συγκέντρωσης n των ηλεκτρονίων ή οπών

Αν μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού ΔV (Hall) και το B είναι γνωστό, τότε με ένα βολτόμετρο μπορεί να υπολογιστεί η συγκέντρωση (n) και το είδος των φορέων (ηλεκτρόνια ή οπές) λύνοντας την (2) ως προς τη συγκέντρωση n αυτή μπορεί να υπολογιστεί από :

$$n = \frac{iBd}{eA \Delta V}$$

Φορτία q κινούμενα με ταχύτητα \mathbf{v} μέσα σε μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} δέχονται μαγνητική δύναμη \mathbf{F}_μ από το μαγνητικό πεδίο

Η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του γινομένου $q\mathbf{v}$, η παλάμη βλέπει κατά τη φορά προς τα έξω του μαγνητικού πεδίου \mathbf{B} , τότε ο αντίχειρας δείχνει τη φορά της μαγνητικής δύναμης \mathbf{F}_μ , η οποία είναι κάθετο και στο $q\mathbf{v}$ και στο \mathbf{B} .

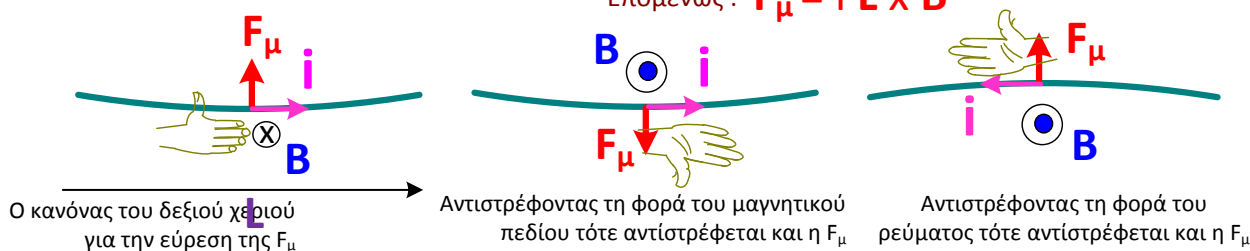


Μαγνητική δύναμη σε ρευματοφόρο αγωγό

Σε αγωγό μήκους L που τον διαρρέει φορτίο Q σε χρόνο T και ηλεκτρικό ρεύμα i και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} , τότε ασκείται μαγνητική δύναμη \mathbf{F}_μ σύμφωνα με το εξωτερικό γινόμενο :

$$\mathbf{F}_\mu = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \text{Που γίνεται:} \quad \mathbf{F}_\mu = Q L/T \times \mathbf{B} \quad \mathbf{F}_\mu = Q/T L \times \mathbf{B}$$

Επομένως: $\mathbf{F}_\mu = i \mathbf{L} \times \mathbf{B}$



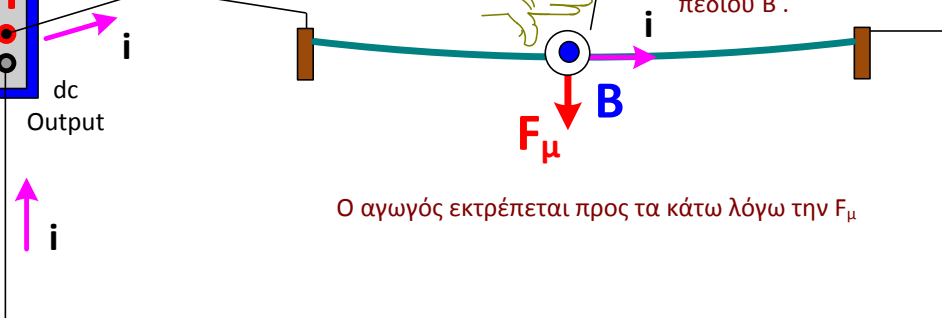
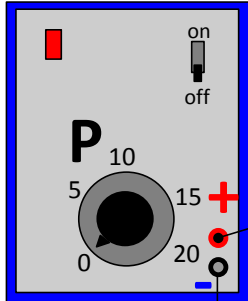
Όταν η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του ρεύματος και η παλάμη βλέπει κατά τη φορά του μαγνητικού πεδίου \mathbf{B} , τότε ο αντίχειρας δείχνει κατά τη φορά της μαγνητικής δύναμης \mathbf{F}_μ .

Πολύμετρο
Αμπερόμετρο

Εύρεση μαγνητικού πεδίου από τη φορά της μαγνητικής δύναμης και τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

Πειραματική διάταξη

Τροφοδοτικό ρεύματος



Ο κανόνας του δεξιού χεριού για την εύρεση του B

Ένας μικρός κυλινδρικός ισχυρός μαγνήτης δημιουργεί μαγνητικό πεδίο σε ένα τμήμα του αγωγού.

Επομένως όταν η φορά των δακτύλων δείχνει τη φορά του ρεύματος και ο αντίχειρας δείχνει τη μαγνητική δύναμη F_{μ} , τότε η παλάμη θα πρέπει να βλέπει τη φορά του κάθετου μαγνητικού πεδίου B.

Ο αγωγός εκτρέπεται προς τα κάτω λόγω την F_{μ}

Σχήμα 2 Πειραματική διάταξη μελέτης μαγνητικής δύναμης σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

A. Θα πρέπει να μελετήσετε και να γνωρίζετε τα εξής :

Μαγνητικό πεδίο, μαγνητικές δυνάμεις, νόμος Biot-Savart, μαγνητικό πεδίο κυκλικού πηνίου, φαινόμενο Hall.

B. ΑΠΑΝΤΗΣΤΕ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ:

1. Σημειώστε το μοναδιαίο διάνυσμα και το διάνυσμα και τη τιμή του μαγνητικού πεδίου dB στη θέση P του παρακάτω σχήματος σύμφωνα με το νόμο Biot-Savart.

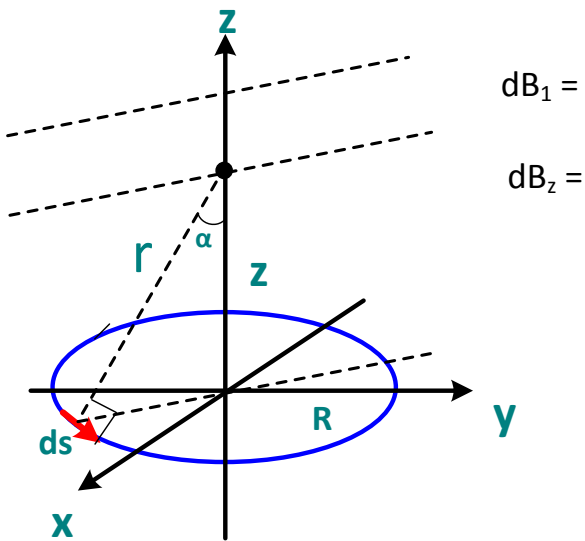


dB =

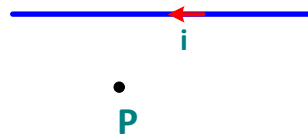
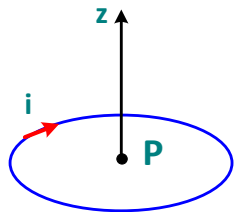


εξηγήστε σε τι χρειάζεται ο νόμος Biot-Savart
ΑΠΑΝΤΗΣΗ

2. Στο παρακάτω σχήμα όπου ένας κυκλικός αγωγός ακτίνας R διαρρέεται από ρεύμα I . Σχεδιάστε στη θέση P τα αντίστοιχα διανύσματα του στοιχειώδους μαγνητικού και τη τιμή του στοιχειώδους μαγνητικού πεδίου dB που οφείλεται στο στοιχειώδες τόξο ds του κυκλικού αγωγού, καθώς και τη τιμή συνιστώσας των dB_z στη διεύθυνση του άξονα z .



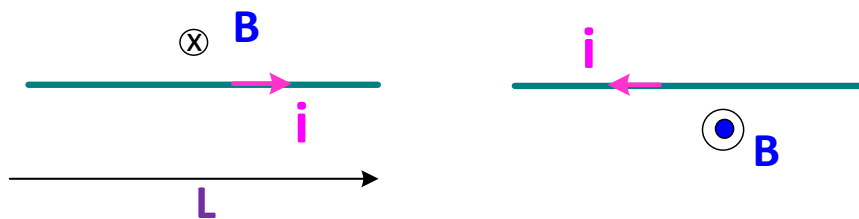
3. Με βάση το κανόνα του δεξιού χεριού σχεδιάστε το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου B στη θέση P στις παρακάτω περιπτώσεις κυκλικού και ευθύγραμμου αγωγού που διαρρέονται από ρεύμα i :



$B =$

$B =$

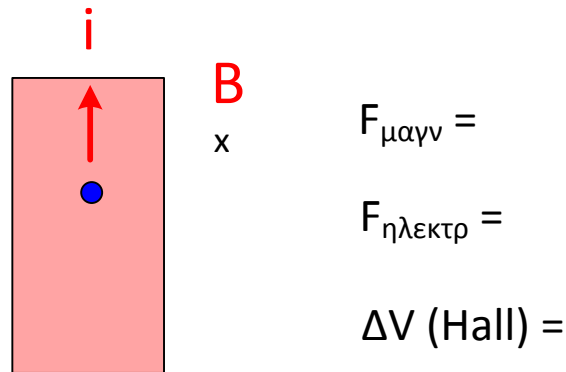
4. Στο παρακάτω σχήμα ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα I και ευρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Με τη βοήθεια του κανόνα του δεξιού χεριού να σημειώσετε τη μαγνητική δύναμη $F_{\text{μαγν}}$ που θα δεχθεί ο αγωγός καθώς και τη τιμή της $F_{\text{μαγν}}$.



$F_{\text{μαγν}} =$

5. Στο παρακάτω διάγραμμα ένα δείγμα ημιαγωγού σε σχήμα ορθογώνιου τετράπλευρου διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα i που οφείλεται στη ροή ηλεκτρονίων και ευρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B . Σημειώστε το διάνυσμα της ταχύτητας ενός τυχαίου ηλεκτρονίου (μικρός κύκλος στο σχήμα), το διάνυσμα και τη τιμή της μαγνητικής δύναμης $F_{\text{μαγν}}$ που ασκείται στο ηλεκτρόνιο καθώς και το διάνυσμα και τη τιμή της ηλεκτρικής δύναμης $F_{\text{ηλεκτρ}}$ στο ηλεκτρόνιο όταν έχει επέλθει ισορροπία. Σημειώστε μεταξύ ποιων πλευρών του ημιαγωγού εμφανίζεται η διαφορά δυναμικού Hall (ΔV_{Hall})

και σημειώστε τη ακριβή πολικότητα (+) και (-) αυτής στην αντίστοιχη πλευρά του ημιαγωγού. Γράψτε τη μαθηματική έκφραση που δίνει της ΔV_{Hall} εξηγώντας όλες τις παραμέτρους που περιέχει.



6. Περιγράψτε πως με βάση τη παραπάνω σχέση που δίνει τη ΔV_{Hall} θα μπορούμε να μετρήσουμε τη τιμή του μαγνητικού πεδίου B ώστε με βάση το φαινόμενο Hall να κατασκευάσουμε έναν μετρητή-ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ (20 % του βαθμού)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Κάνουμε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1: τροφοδοτικό, πηνίο, αμπερόμετρο σε σειρά.
2. Συνδέουμε το καλώδιο από την έξοδο του ανιχνευτή H με την είσοδο M του μετρητικού μαγνητικού πεδίου (Tslameter). Πατάμε το διακόπτη E προς τα επάνω για μέτρηση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου και ρυθμίζουμε το διακόπτη K στην μικρότερη κλίμακα 20.
3. Τοποθετούμε το κυκλικό πηνίο με τη μεγαλύτερη ακτίνα $r=20$ cm στη βάση στήριξης και συνδέουμε τη τροφοδοσία του με του ακραίους ακροδέκτες 1, 3 όπου το ρεύμα διαρρέει όλες και τις 10 σπείρες ($N=10$) του πηνίου.
4. Τοποθετούμε τον ανιχνευτή του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο και κάθετα στο επίπεδο του πηνίου ($z=0$). Ελέγχουμε ώστε ο ρυθμιστής P του τροφοδοτικού (κεντρικό κυκλικό κουμπί) να είναι αρχικά στο μηδέν. Ανοίγουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού και ρυθμίζουμε με τον παραπάνω διακόπτη το ρεύμα του κυκλώματος να είναι $I=6$ A. Καταγράψτε τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου $B_{\text{πειρ}}$ στο πίνακα IV ($R=20$ cm). Μηδενίζουμε το ρεύμα και κλείνουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού.
5. Τοποθετούμε το κυκλικό πηνίο με τη μικρότερη ακτίνα $R=10$ cm στη βάση στήριξης και συνδέουμε τη τροφοδοσία του με του ακραίους ακροδέκτες 1, 3 όπου το ρεύμα διαρρέει όλες και τις 10 σπείρες ($N=10$) του πηνίου.

6. Τοποθετούμε τον άξονα του ανιχνευτή κάθετα στο επίπεδο του κυκλικού πηνίου και στο κέντρο του O ($Z=0$ cm) όπως στο Σχήμα 1.
7. Ανοίγουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού και μέσω του ρυθμιστή Ρ ρυθμίζουμε το ρεύμα στα $I=6$ A. Καταγράφουμε τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου $B_{πειρ}$ στο Πίνακα IV ($R=10$ cm) καθώς και στο Πίνακα III ($N=10$).
8. Αλλάζουμε τη σύνδεση του πηνίου ώστε ο ένας ακροδέκτης από τη θέση 3 να τοποθετηθεί στη θέση 2 ώστε το ρεύμα διαρρέει τις μισές σπείρες $N=5$. Ανοίγουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού και ρυθμίζουμε τη τιμή του ρεύματος στα $I=6$ A. Καταγράφουμε τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου $B_{πειρ}$ στο πίνακα III ($N=5$). Μηδενίζουμε το ρεύμα και κλείνουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού.
9. Αλλάζουμε τη σύνδεση του πηνίου ώστε ο ένας ακροδέκτης από τη θέση 2 να τοποθετηθεί και πάλι στη θέση 3 ώστε το ρεύμα διαρρέει όλες τις σπείρες $N=10$.
10. Ανοίγουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού και ρυθμίζουμε τη τιμή του ρεύματος μέσω του ρυθμιστή Ρ του τροφοδοτικού στη περιοχή $i=0-6$ A αλλάζοντας τη τιμή του ανά $0.5-0.8$ A περίπου και καταγράφουμε για κάθε τιμή του ρεύματος το αντίστοιχο μετρούμενο μαγνητικό πεδίο $B_{πειρ}$ στο πίνακα II. Μηδενίζουμε το ρεύμα και κλείνουμε το διακόπτη Δ του τροφοδοτικού.
11. Ρυθμίζουμε το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο στα $i=6$ A. Καταγράφουμε τη τιμή του μαγνητικού πεδίου $B_{πειρ}$ που μετρούμε στο Πίνακα I για $z=0$. Ακολούθως επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση του $B_{πειρ}$ μεταβάλλοντας την θέση του ανιχνευτή κάθετα στο επίπεδο του πηνίου κατά απόσταση $\Delta Z=0.5$ cm από το κέντρο του πηνίου και καταγράφουμε σε κάθε z το αντίστοιχο $B_{πειρ}$ στο πίνακα I. Το τελικό z θα είναι $z=14.5$ cm.
12. Ακολούθως μεταφέρουμε τον ανιχνευτή στο $z=0$ cm και ελέγχουμε το μαγνητικό πεδίο αν εξακολουθεί να είναι το ίδιο με το αρχικό.
13. Στο τέλος μηδενίζουμε το ρεύμα και κλείνουμε το διακόπτη Δ.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Απαντήστε σε όλα τα παρακάτω ερωτήματα

1. Με βάση τη παρακάτω εξίσωση (3) υπολογίζουμε τη θεωρητική τιμή του μαγνητικού πεδίου B_{cal} για την απόσταση $Z=0$, $I=6$ A και $N=10$ και καταγράψτε τη στους αντίστοιχους πίνακες όπου χρειάζεται. Ακολούθως υπολογίζουμε το $B_{cal}(z)$ για τα διάφορα z (0-15 cm) που μετρήσαμε το B_{exp} από τη σχέση:

$$B_z = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\pi N I R^2}{(R^2 + Z^2)^{3/2}} = \frac{4\pi 10^{-4}}{6.28} \frac{3.14 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0.1^2}{(0.1^2 + Z^2)^{3/2}} \text{ mT} \quad (3)$$

Τα αποτελέσματα του $B_{cal}(z)$ υπάρχουν ήδη στον Πίνακα I.

2. Σχολιάστε κάτω από τους αντίστοιχους Πίνακες αν το $B_{πειρ}$ πράγματι διπλασιάζεται όταν: οι σπείρες N διπλασιάζονται και η ακτίνα του πηνίου υποδιπλασιάζεται όπως προβλέπεται από τη Εξίσωση (3).

3. Κάνετε στο παρακάτω διάγραμμα τη γραφική παράσταση του $B_{\text{πειρ.}}$ σα συνάρτηση του Z (μόνο σημεία εύρους περίπου 2 mm και μη σχεδιάζεται γραμμή).
4. Στο ίδιο διάγραμμα υπάρχει ήδη για σύγκριση η γραφική παράσταση του B_{cal} του Πίνακα I σα συνάρτηση του Z .
5. Υπολογίστε στον Πίνακα I την απόκλιση $A=B_{\text{πειρ.}}/B_{\text{θεωρ}}$ των πειραματικών τιμών από την αντίστοιχη θεωρητική τιμή του B . Παρατηρώντας τη τιμή της απόκλισης $A=B_{\text{πειρ.}}/B_{\text{θεωρ}}$ προσδιορίζουμε τη περιοχή του z που τα πειραματικά σημεία πρακτικά συμφωνούν και αυτά που τυχόν παρουσιάζουν παράλληλη μετατόπιση από τις θεωρητικές προβλέψεις απόκλιση από τα θεωρητικά σημεία και τη περιοχή του z που συμφωνούν. Σχολιάστε τη πιθανή εξήγηση γιατί τα κάποια σημεία να αποκλίνουν.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Περιοχή από $z=.....\text{m}$ έως $z=.....\text{m}$ που αποκλίνουν

Περιοχή από $z=.....\text{m}$ έως $z=.....\text{m}$ που συμφωνούν

Περιοχή από $z=.....\text{m}$ έως $z=.....\text{m}$ που έχουν παράλληλη μετατόπιση από τις θεωρητικές τιμές

6. Αν θέλουμε να βαθμολογήσουμε τον ανιχνευτή του μαγνητικού πεδίου, ποια περιοχή του διαγράμματος $B_{\text{πειρ.}}$ σα συνάρτηση του Z θα διαλέγαμε για να τον βαθμολογήσουμε-διορθώσουμε και πως μπορεί να γίνει αυτό?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

7. Στο Πίνακα I υπολογίστε τη διορθωμένη τιμή του $B_{\text{πειρ}}$ για $z=0$ με βάση τη τιμή της απόκλισης $A(z=0)$ που θα βρείτε στο Πίνακα I για $z=0$ σύμφωνα με $B_{\text{διορθ}} = A(z=0) B_{\text{πειρ}}$. Κάνετε στο παρακάτω διάγραμμα τη γραφική παράσταση του διορθωμένου $B_{\text{διορθ}}$ από το Πίνακα II σα συνάρτηση του ηλεκτρικού ρεύματος i (μόνο σημεία εύρους περίπου 2 mm). Τα πειραματικά σημεία ακολουθούν τη γραμμική σχέση που περιμένουμε μεταξύ του B και του i σύμφωνα με τη σχέση (1) ? Αν ναι τότε να χαράξετε τη βέλτιστη ευθεία ανάμεσα από τα σημεία.
8. Με τη βοήθεια του Origin να βρείτε τη βέλτιστη ευθεία που διέρχεται από τα πειραματικά σημεία και σημειώστε την τιμή της κλίσης K και την ακρίβεια ΔK , στη μορφή: $K \pm \Delta K$ (1ΣΨ για το ΔK).

ΑΠΑΝΤΗΣΗ $K \pm \Delta K = (\quad \pm \quad) \text{mT}$

9. Δεδομένου ότι με βάση τη σχέση (1) για $z=0$ γίνεται : $B_z = K I = \mu_0 N/(2R) I$, όπου $K=\mu_0 N/(2R)=\mu_0 50 \times 10^3$ ώστε το B_z να μετριέται σε Tesla (T). Επομένως:

$$\mu_0 = K/50 \times 10^{-3} \text{ (N/A}^2\text{)} \quad \text{και} \quad \Delta\mu_0 = \Delta K/50 \times 10^{-3} \text{ (N/A}^2\text{)} \quad (2)$$

10. Από τη σχέση (2) να υπολογίσετε τη τιμή της σταθεράς μ_0 καθώς και το σφάλμα $\Delta\mu_0$ (με ένα σημαντικό ψηφίο) και εκφράστε τον υπολογισμό στη μορφή: $\mu_0 \pm \Delta\mu_0$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ $\mu_0 \pm \Delta\mu_0 = (\quad \pm \quad) \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$

11. Να εξετάσετε σε πιο σημαντικό ψηφίο αποκλίνει η τιμή του μ_0 που προσδιορίσατε από την γνωστή τιμή της $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$, η απόκλιση αυτή συμβαίνει σε σημαντικό ψηφίο πέρα από τα σημαντικά ψηφία που μετρήσατε το B?

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:\\\

ΠΙΝΑΚΑΣ III

Μικρό Πηνίο $z=0, I=6A$	$B_{\text{πειρ}}$ (mTesla)	$B_{\text{θεωρ}}$ (mTesla)
N=5		
N=10		

Σύμφωνα με την εξίσωση (2) το $B_{\text{πειρ}}$ πράγματι διπλασιάζεται όταν οι σπείρες διπλασιάζονται ? Σχολιάστε.....

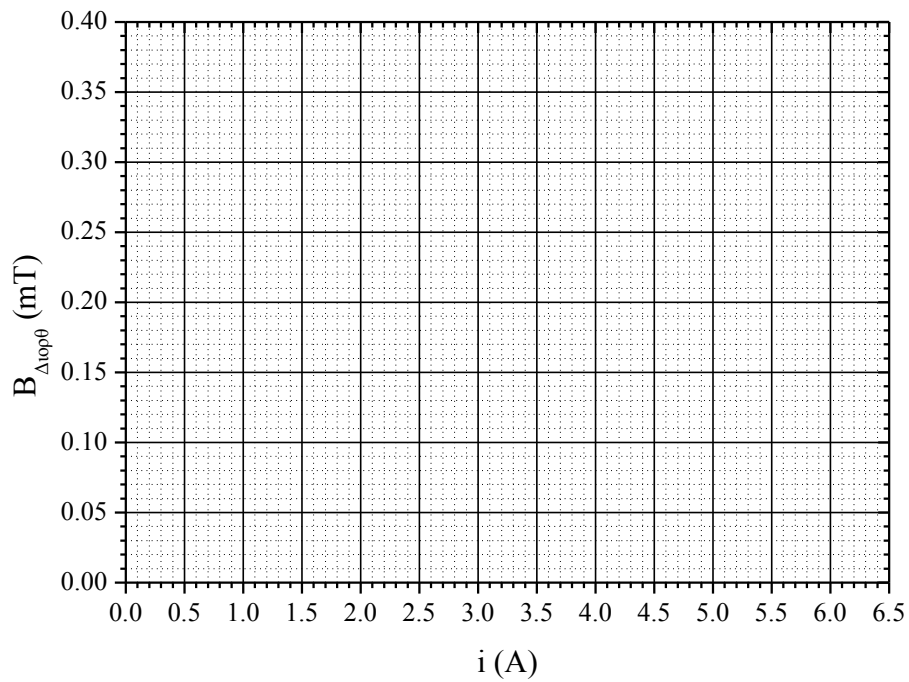
ΠΙΝΑΚΑΣ IV

$I=6A, z=0$	$B_{\text{πειρ}}$ (mTesla)	$B_{\text{θεωρ}}$ (mTesla)
Μικρό Πηνίο ($R=10 \text{ cm}$)		
Μεγάλο Πηνίο ($R=20 \text{ cm}$)		

Σύμφωνα με την εξίσωση (2) το $B_{\text{πειρ}}$ πράγματι διπλασιάζεται όταν η ακτίνα του πηνίου διπλασιάζεται ? Σχολιάστε.....

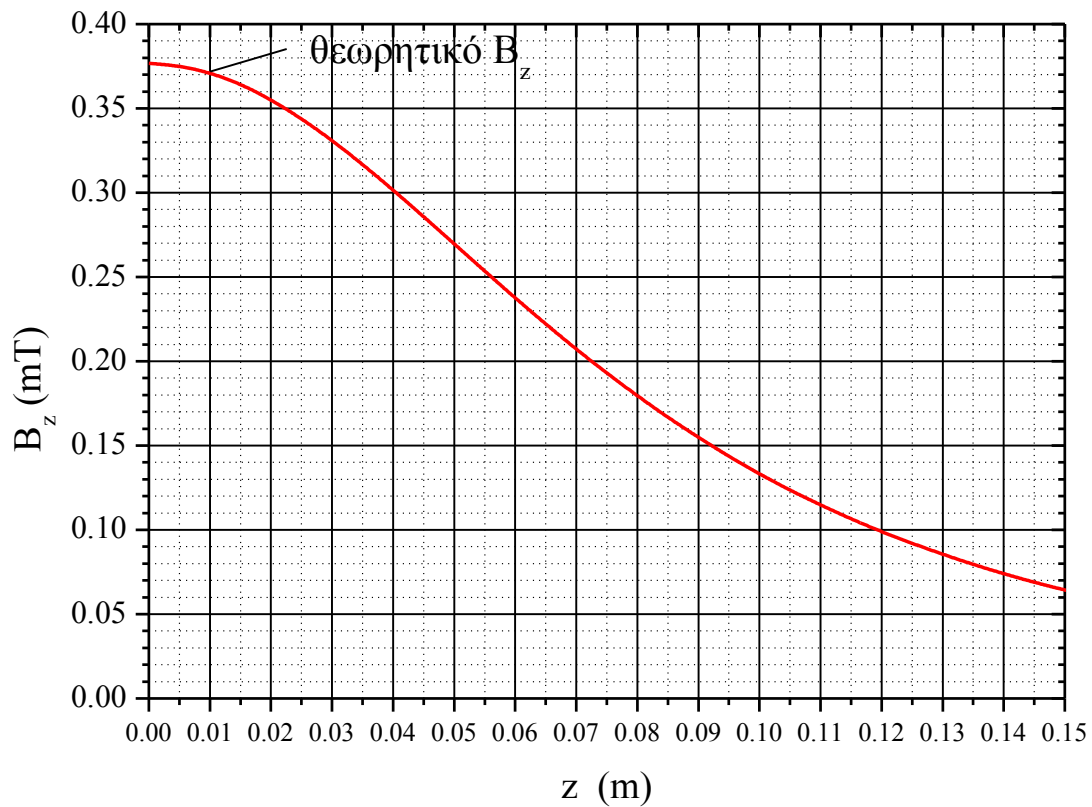
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ Μικρό Πηνίο, R=10 cm, z=0, N=10

i (A)	$B_{\text{πειρ}}$ (mT)	$B_{\text{διορθ}} = A(z=0) B_{\text{πειρ}}$ (mT)



ΠΙΝΑΚΑΣ Ι Σφάλμα $\Delta B_{\text{πειρ}} = 0.01 \text{ mT}$, $N=10$, $I=6A$

z (cm)	$B_{\text{πειρ}}$ (mT)	$B_{\text{θεωρ}}$ (mT)	$A = B_{\text{θεωρ}} / B_{\text{πειρ}}$
0.0		0.3768	
0.5		0.37539	
1.5		0.37122	
2.0		0.36443	
2.5		0.35527	
3.5		0.34405	
4.5		0.33111	
5.0		0.31683	
5.5		0.30159	
6.0		0.28575	
6.5		0.26962	
7.0		0.25348	
7.5		0.23758	
8.0		0.22209	
8.5		0.20717	
9.0		0.19292	
9.5		0.17941	
10.0		0.16668	
10.5		0.15474	
11.0		0.14359	
11.5		0.13322	
12.0		0.1236	
12.5		0.11469	
13.0		0.10646	
13.5		0.09886	
14.0		0.09186	
14.5		0.0854	



ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Μαγνητικό πεδίο, νόμος Biot-Savart, μαγνητικό πεδίο κυκλικού πηνίου, φαινόμενο Hall.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημειώσεις παραδόσεων Εφαρμοσμένης Φυσικής: Ενότητες 11 και 12.

<http://www.des.upatras.gr/physics/kounavis/Lectures/Sem1/LeucturesAPPL.htm>

Halliday-Resnick-Walter

Serway Physics for Scientists & Engineers τόμος II

Πανεπιστημιακή Φυσική Young τόμος Β