

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟ / ΜΑΖΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ

Μαθητής/Μαθήτρια ----- Ομάδα ----- Τμήμα: -----
Ημερομηνία ----- Επίδοση : -----

1. ΣΤΟΧΟΣ :

Ο κύριος στόχος αυτού του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της μάζας του ηλεκτρονίου. Για να προσδιορισθεί η πολύ μικρή αυτή μάζα χρησιμοποιούνται φαινόμενα που για να γίνουν κατανοητά απαιτούν γνώση ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων, ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων, εφαρμογή αρχής διατήρησης ενεργείας και εμπέδωση αρχών κινηματικής.

Η άσκηση λοιπόν προσφέρει ένα εξαιρετικό παράδειγμα προσδιορισμού μεγέθους του μικρόκοσμου μέσω μακροσκοπικών παρατηρήσεων αλλά και εξαιρετική ευκαιρία ανακεφαλαίωσης και πρακτικής εφαρμογής γνώσεων από πολλούς τομείς της Φυσικής.

2. ΥΛΙΚΑ :

- 1) Καθοδικός σωλήνας με την βάση του που φέρει ακροδέκτες (υποδοχές) μέσω των οποίων τροφοδοτούμε με τις απαραίτητες τάσεις τον καθοδικό σωλήνα.
- 2) Βαθμονομημένο διαφανές κάλυμμα με άξονες x-y για την οθόνη του καθοδικού σωλήνα.
- 3) Σωληνοειδές με 550 σπείρες, μήκος $l = 15 \text{ cm}$ μέσα στο οποίο τοποθετείται ο καθοδικός σωλήνας.
- 4) Πολύμετρο που θα χρησιμοποιηθεί ως αμπερόμετρο για την μέτρηση της έντασης του ρεύματος που θα διέρχεται από το σωληνοειδές.
- 5) Τροφοδοτικό από το οποίο τροφοδοτούμε τον καθοδικό σωλήνα και το σωληνοειδές.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ :

3.1 Γενικά

Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιούμε τον καθοδικό σωλήνα και το σωληνοειδές για να μετρήσουμε το πηλίκο φορτίο προς μάζα του ηλεκτρονίου. Ο καθοδικός σωλήνας τοποθετείται μέσα στο σωληνοειδές, το μαγνητικό πεδίο του οποίου χρησιμοποιείται για να αλληλεπιδράσει με την δέσμη των ηλεκτρονίων του καθοδικού σωλήνα.

Από την μέτρηση έντασης ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές για συγκεκριμένη απόκλιση της δέσμης είναι δυνατός ο προσδιορισμός του πηλίκου q/m_e . Στις επόμενες παραγράφους εξηγούμε την θεωρία που χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό του q/m_e .

3.2 Λειτουργία του καθοδικού σωλήνα

3.2.1 Επιτάχυνση των ηλεκτρονίων της δέσμης :

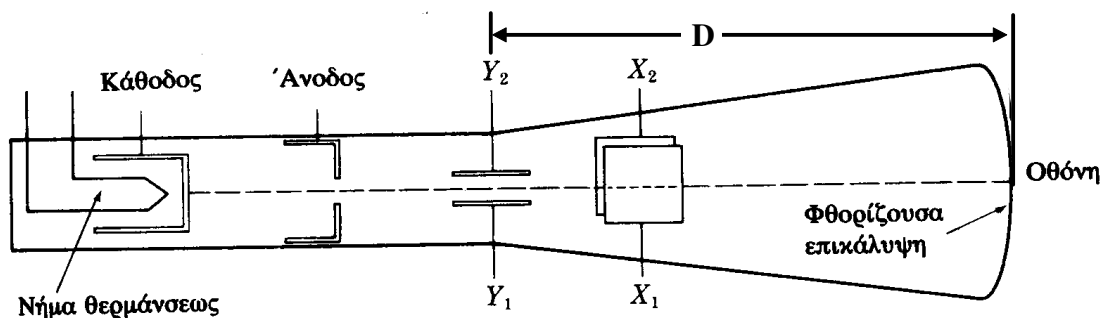
Τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από το νήμα θερμάνσεως (βλ. σχ. 1) επιταχύνονται υπό την επίδραση της τάσης ανόδου-καθόδου V_ε . Γνωρίζουμε ότι η δυναμική ενέργεια που έχουν τα ηλεκτρόνια όταν βρίσκονται στην κάθοδο λόγω της διαφοράς δυναμικού V_ε ανόδου-καθόδου (βλ. σχ. 1) είναι

$$U = q_e \cdot V_\varepsilon \quad (1)$$

όπου q_e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου.

Η δυναμική ενέργεια έχει μετατραπεί εξ' ολοκλήρου σε κινητική μόλις τα ηλεκτρόνια περνούν την άνοδο. Αν η ταχύτητα τους είναι v_0 και η μάζα του ηλεκτρονίου m_e τότε η κινητική τους ενέργεια είναι

$$K = \frac{1}{2} m_e v_0^2 \quad (2)$$



Σχήμα 1. Ο καθοδικός σωλήνας

Λόγω της αρχής διατήρησης της ενεργείας και με την βοήθεια των (1) και (2) προκύπτει

$$K = U \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2q_e V_\varepsilon}{m_e}} \quad (3)$$

Η ταχύτητα αυτή είναι θεωρητικά παράλληλη με τον άξονα του καθοδικού σωλήνα και τα ηλεκτρόνια καταλήγουν στο κέντρο της φθορίζουσας οθόνης.

Θα δούμε όμως κατά την διάρκεια του πειράματος την δέσμη των ηλεκτρονίων να αποκλίνει (χωρίς καμία τροφοδοσία στους πυκνωτές X, Y) από το κέντρο της οθόνης. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη του γήινου μαγνητικού πεδίου \vec{B}_Γ που ασκεί δύναμη σε κάθε ηλεκτρόνιο της δέσμης

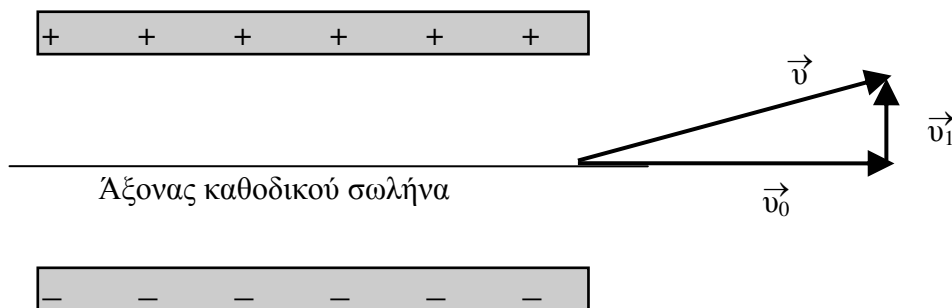
$$F = B_\Gamma v_0 q_e \eta \mu \phi$$

όπου φ η γωνία ανάμεσα στα \vec{v}_0 και \vec{B}_Γ . Η δύναμη είναι κάθετη στο επίπεδο των \vec{v}_0 και \vec{B}_Γ και αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να αποκλίνουν από την ευθύγραμμη διάδοσή τους υποχρεώνοντάς τα σε σπειροειδή κίνηση (βλ. παράγρ. 3.4). Η δύναμη αυτή μηδενίζεται μόνο αν ο άξονας του καθοδικού σωλήνα είναι παράλληλος με το \vec{B}_Γ .

3.2.3 Απόκλιση των ηλεκτρονίων της δέσμης :

Ο καθοδικός σωλήνας έχει δύο πυκνωτές. Σε αυτό το πείραμα θα τροφοδοτήσουμε τον X πυκνωτή με τάση. Όταν τα ηλεκτρόνια περνούν από τον X πυκνωτή (βλ. σχ. 1) τότε αποκλίνουν οριζόντια λόγω του ηλεκτροστατικού πεδίου που υπάρχει ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή.

Μετά την διόδο τους από τον X πυκνωτή έχουν ταχύτητα v που αποτελείται από δύο συνιστώσες· την v_0 που είναι παράλληλη στον άξονα του καθοδικού σωλήνα και την v_1 που είναι κάθετη σε αυτόν (βλ. σχ. 2)



Σχήμα 2.
Κάτοψη : Η εκτροπή των ηλεκτρονίων κατά την διόδό τους από τον πυκνωτή X

3.3 Λειτουργία του σωληνοειδούς.

Αν τροφοδοτήσουμε το σωληνοειδές με τάση τότε στο εσωτερικό του δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο κατά μήκος του άξονα του σωληνοειδούς είναι παράλληλο με αυτόν και μάλιστα στο κέντρο έχει μέτρο

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \quad (4)$$

όπου N ο αριθμός σπειρών του σωληνοειδούς, ℓ το μήκος του σωληνοειδούς και I το ρεύμα που το διαρρέει. Την σχέση (4) μπορούμε να την γράψουμε και

$$B = \kappa \cdot I \quad (4\alpha)$$

όπου $\kappa = \mu_0 \frac{N}{\ell}$ η σταθερά του σωληνοειδούς και για το συγκεκριμένο σωληνοειδές $\kappa = 4,4 \cdot 10^{-3}$

$N/A \cdot m^2$

$$\text{Άρα} \quad B = 4,4 \cdot 10^{-3} \cdot I \quad (4\beta)$$

3.4 Επίδραση του μαγνητικού πεδίου στην τροχιά των ηλεκτρονίων :

Θεωρούμε ότι στην πειραματική μας διάταξη, όταν ο καθοδικός σωλήνας τοποθετηθεί μέσα στο σωληνοειδές τα ηλεκτρόνια πριν μπουν στον X πυκνωτή βρίσκονται ουσιαστικά πάνω στον άξονα του σωληνοειδούς.

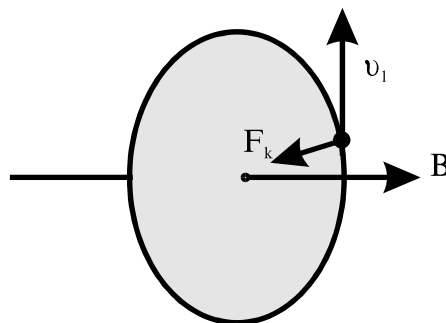
(Αυτό το πετυχαίνουμε στρίβοντας κατάλληλα ολόκληρη την συσκευή και εξουδετερώνοντας έτσι την επίδραση του μαγνητικού πεδίου της Γης (βλ. παράγρ. 4.2)).

Όταν τα ηλεκτρόνια μπαίνουν στον πυκνωτή X λόγω του ηλεκτροστατικού πεδίου αποκλίνουν και η ταχύτητά τους σχηματίζει γωνία με το μαγνητικό πεδίο \vec{B} του σωληνοειδούς. Τότε το πεδίο \vec{B} τα υποχρεώνει σε σπειροειδή κίνηση. Αυτό προκύπτει εφαρμόζοντας την αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων. Πιο συγκεκριμένα.

α) Το πεδίο υποχρεώνει τα ηλεκτρόνια λόγω της κάθετης συνιστώσας της ταχύτητας \vec{v}_1 σε ομαλή κυκλική κίνηση με ακτίνα r . Η ταχύτητα v_1 μπορεί να συσχετισθεί με το \vec{B} αν θυμηθούμε ότι η δύναμη την οποία ασκεί το πεδίο στο ηλεκτρόνιο σε αυτή την περίπτωση είναι η κεντρομόλος δύναμη,

$$F_k = m_e \frac{v_1^2}{r} = B v_1 q_e \quad (5)$$

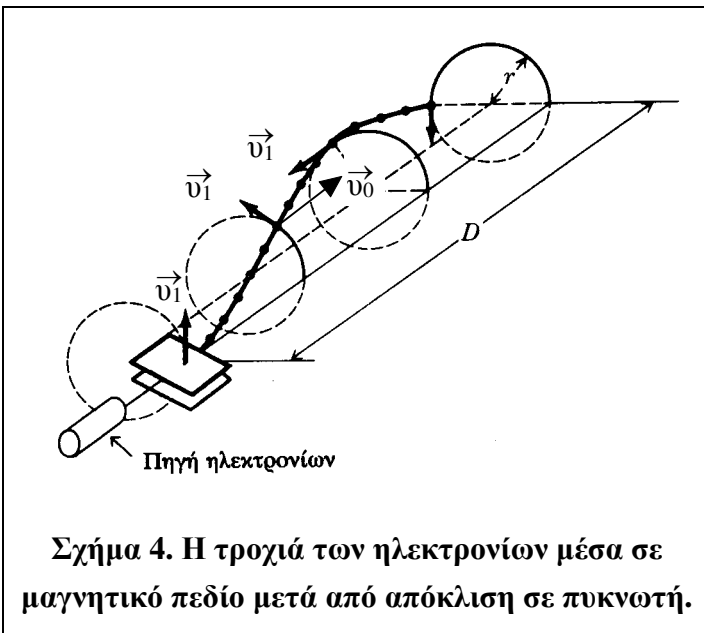
ή
$$v_1 = \frac{B q_e r}{m_e} \quad (6)$$



Σχήμα 3.

Η μία από τις δύο κινήσεις που κάνει το ηλεκτρόνιο λόγω της επίδρασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι κυκλική.

β) Η δύναμη που ασκεί το πεδίο στα ηλεκτρόνια, λόγω της συνιστώσας της ταχύτητας v_0 που είναι παράλληλη στον άξονα του σωληνοειδούς, είναι μηδενική (καταλαβαίνετε γιατί;). Επομένως λόγω της v_0 τα ηλεκτρόνια κάνουν ευθύγραμμη ομαλή κίνηση παράλληλα με τον άξονα του σωληνοειδούς.



Συνδυάζοντας την κυκλική και την ευθύγραμμη ομαλή κίνηση (λόγω της αρχής ανεξαρτησίας των κινήσεων) προκύπτει ότι τα ηλεκτρόνια κάνουν σπειροειδή κίνηση (βλ. σχ. 4).

3.5 Υπολογισμός της μάζας του ηλεκτρονίου :

Συμπεράναμε ότι η σύνθετη κίνηση των ηλεκτρονίων της δέσμης κάτω από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου \vec{B} μπορεί να αναλυθεί σε δύο απλές κινήσεις:

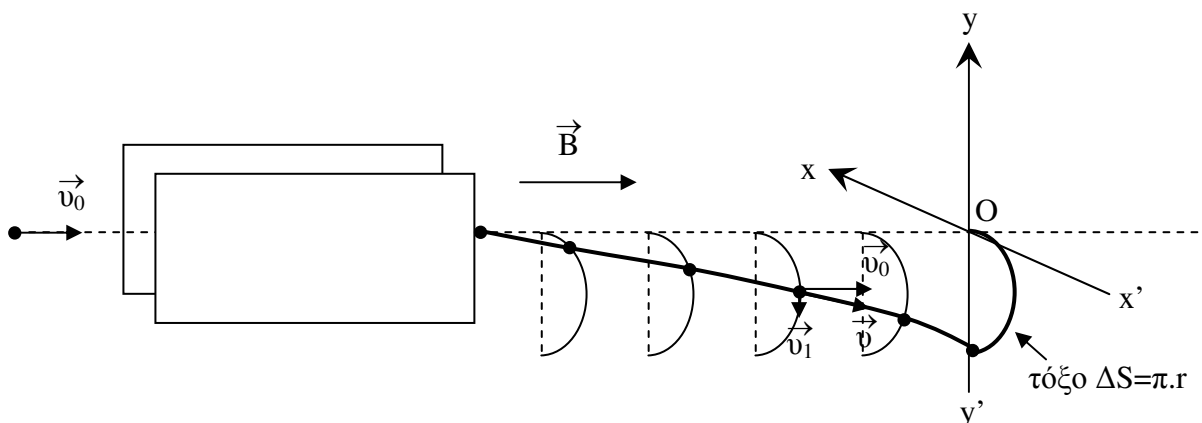
Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση με ταχύτητα v_0 και ομαλή κυκλική κίνηση με γραμμική ταχύτητα v_1 .

Ας υποθέσουμε ότι για να διανύσουν τα ηλεκτρόνια, λόγω της ευθύγραμμης κίνησης με ταχύτητα v_0 , την απόσταση D από τον πυκνωτή X μέχρι την οθόνη του καθοδικού σωλήνα απαιτείται χρόνος Δt (βλ. σχ. 4).

Τον ίδιο χρόνο (αρχή ανεξαρτησίας των κινήσεων) τα ηλεκτρόνια έχουν διανύσει λόγω της κυκλικής κίνησης τόξο ΔS που αντιστοιχεί σε γωνία $\Delta\phi$.

Η γωνία $\Delta\phi$ καθορίζεται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου που και αυτή εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές. Άρα μεταβάλλοντας το I του σωληνοειδούς μεταβάλλω την $\Delta\phi$. Λόγω της αρχής ανεξαρτησίας των κινήσεων ισχύει

$$\Delta t = \frac{D}{v_0} = \frac{\Delta S}{v_1} \tag{7}$$



Σχήμα 5. Η τροχιά των ηλεκτρονίων του καθοδικού σωλήνα μέσα στο μαγνητικό πεδίο του σωληνοειδούς μετά από απόκλιση στον X πυκνωτή

Αν το ρεύμα του σωληνοειδούς έχει τιμή I ώστε¹ $\Delta\varphi=180^\circ$ δηλ. $\Delta S=\pi r$ τότε

$$\frac{D}{v_0} = \frac{\pi r}{v_1} \quad (9)$$

Αντικαθιστώντας στην (9) την (3) και την (6) προκύπτει

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{2\pi^2 V_\varepsilon}{B^2 D^2} \quad (10)$$

και με την (4β)

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{2\pi^2 V_\varepsilon}{\kappa^2 I^2 D^2} \quad (10\beta)$$

Στην παραπάνω σχέση όλα τα μεγέθη στο δεξιό μέλος της σχέσης είναι μετρήσιμα και άρα είναι εφικτός ο προσδιορισμός του q_e/m_e .

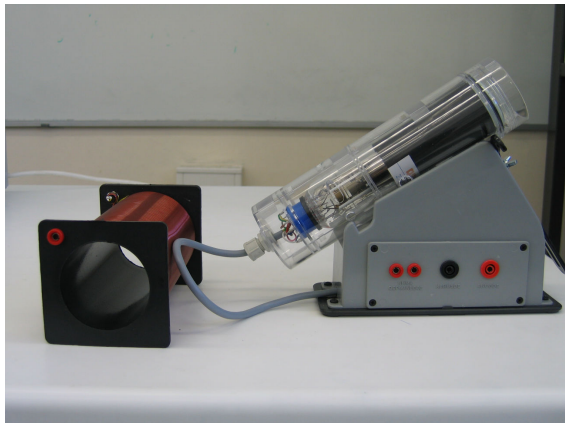
Για το συγκεκριμένο καθοδικό σωλήνα $D=7\text{cm} \pm 5\text{mm}$.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ :

4.1 Συνδεσμολογία :

Κατά την διάρκεια της συνδεσμολογίας όλοι οι διακόπτες του τροφοδοτικού πρέπει να είναι κλειστοί (OFF)

α) Με δύο καλώδια συνδέω τους ακροδέκτες «τάση θέρμανσης» που είναι πάνω στην βάση του καθοδικού σωλήνα (βλ. εικ. 1) με τους ακροδέκτες του τροφοδοτικού που γράφουν '6,3 Volt a.c.' (στο δεξιό μέρος του τροφοδοτικού) (βλ. εικ. 2). Η πολικότητα σύνδεσης των ακροδεκτών δεν έχει σημασία εφ' όσον το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο.



Εικόνα 1. Ο καθοδικός σωλήνας με την βάση του και το σωληνοειδές



Εικόνα 2. Το τροφοδοτικό

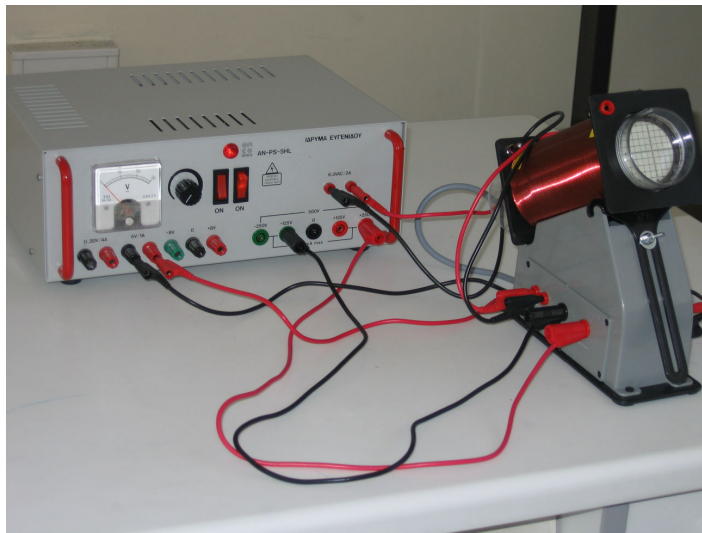
¹Προσοχή! Η γωνία φ μετράται από το σημείο τομής των αξόνων μέχρι την τελική θέση. Δηλ. ως αρχική θέση θεωρούμε την αρχική θέση της κηλίδας προτού εφαρμόσουμε την τάση στον πυκνωτή X

β) Χρησιμοποιώντας τα ειδικά καλώδια που έχουν αποκρυπτόμενα βύσματα συνδέουμε στην βάση του καθοδικού σωλήνα την ‘ΚΑΘΟΔΟ’ (μαύρος ακροδέκτης) με τον ακροδέκτη 0 V και την ‘ΑΝΟΔΟ’ (κόκκινος ακροδέκτης) με τον ακροδέκτη +250 Volt (στο δεξιό τμήμα του τροφοδοτικού).

Η τάση ανόδου-καθόδου ονομάζεται *τάση επιτάχυνσης* V_e . **Προσοχή! Εδώ απαιτείται σύνδεση με σωστή πολικότητα δηλ. η άνοδος πρέπει να έχει θετική πολικότητα (μεγαλύτερο δυναμικό).**

γ) Συνδέστε τους δύο ακροδέκτες X με τάση 5 V d.c. Την τάση θα πάρετε από το αριστερό τμήμα του τροφοδοτικού από την έξοδο 5V/1A. Η πολικότητα εδώ δεν παίζει ρόλο γιατί θα προσανατολίσουμε τον σωλήνα αργότερα.

Ενδεικτικά μπορείτε να δείτε τον καθοδικό σωλήνα συνδεδεμένο όπως απαιτείται για το πείραμα στην εικόνα 3.



Εικόνα 3.

Η πειραματική διάταξη χωρίς το σωληνοειδές συνδεδεμένο.

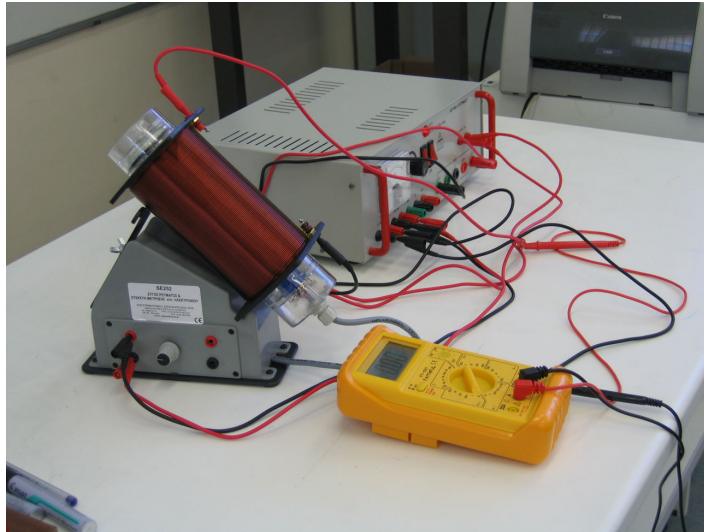
δ) Συνδέστε το σωληνοειδές σε σειρά με το πολύμετρο στην τάση 20 V d.c. Την τάση θα πάρετε από το αριστερό τμήμα του τροφοδοτικού ‘0..20 V/4A’. Συνδέστε

ι) τον αρνητικό πόλο του τροφοδοτικού (μαύρος ακροδέκτης) με την είσοδο COM του πολύμετρου

ιι) την είσοδο με ένδειξη 20 A MAX του πολύμετρου με τον μαύρο ακροδέκτη του σωληνοειδούς και

ιιι) τον κόκκινο ακροδέκτη του σωληνοειδούς με τον θετικό πόλο του τροφοδοτικού (κόκκινος ακροδέκτης)

Για να μετρήσει σωστά το πολύμετρο πρέπει να στρέψετε τον επιλογέα κλίμακας (περιστροφικό κουμπί) του στην περιοχή του αμπερόμετρου συνεχούς ρεύματος (σύμβολο $A \overline{\text{---}}$). Το περιστροφικό κουμπί του πολύμετρου πρέπει να είναι στα 20 A. Για την πειραματική διάταξη δείτε την εικόνα 4.



Εικόνα 4.
Η πειραματική διάταξη.

4.2 Εκτέλεση πειράματος :

α) Στερεώστε πάνω στην βάση του καθοδικού σωλήνα το σωληνοειδές έτσι ώστε ο κόκκινος ακροδέκτης του να είναι προς τα πάνω. Περάστε μέσα στο σωληνοειδές τον καθοδικό σωλήνα. Προσέξτε γιατί ο καθοδικός σωλήνας περνά αρκετά σφιχτά μέσα από το σωληνοειδές.

β) Τοποθετείστε στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα το διαφανές κάλυμμα με τους άξονες ΧΥ φροντίζοντας ώστε ο άξονας Υ να είναι κατακόρυφος.

γ) Ανοίξτε το κουμπί του τροφοδοτικού υψηλών τάσεων. ΜΗΝ ανοίξετε ακόμη το κουμπί του τροφοδοτικού χαμηλών τάσεων. Στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα εμφανίζεται μία κηλίδα. Εστιάστε την όσο μπορείτε χρησιμοποιώντας το κουμπί ‘ΕΣΤΙΑΣΗ’.

δ) Η κηλίδα δεν είναι στο κέντρο της οθόνης (τομή των αξόνων ΧΥ). Στρέφοντας όλη την συσκευή στα διάφορα σημεία του ορίζοντα παρατηρούμε ότι η θέση αυτή μεταβάλλεται. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στην ύπαρξη της δυνάμεως Lorentz που ασκεί το μαγνητικό πεδίο της Γης στην δέσμη των ηλεκτρονίων.

Προσπαθήστε να στρέψετε όλη την συσκευή έτσι ώστε να φέρετε την κουκίδα όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κέντρο των αξόνων. Θα χρειαστεί να σηκώσετε και τον συρόμενο πάνω-κάτω βραχίονα σχήματος Υ που ρυθμίζει την κλίση του καθοδικού σωλήνα. Δοκιμάστε αλλάζοντας τον προσανατολισμό και ανεβοκατεβάζοντας τον βραχίονα ώστε η κουκίδα να πέσει ακριβώς στην

αρχή των αξόνων. Τότε ο άξονας του καθοδικού σωλήνα είναι παράλληλος με το μαγνητικό πεδίο της Γης $\vec{B}_Γ$ και καμία δύναμη δεν ασκείται στα ηλεκτρόνια από το $\vec{B}_Γ$.

ε) Βγάλτε προσωρινά τους ακροδέκτες που τροφοδοτούν το σωληνοειδές από το τροφοδοτικό.² Ανοίξτε το κουμπί τροφοδοσίας χαμηλών τάσεων. Θα παρατηρήσετε ότι η δέσμη αποκλίνει. Στρίψτε τον καθοδικό σωλήνα μέσα στο σωληνοειδές (κρατείστε τον άξονα Y του πλαστικού καλύμματος κατακόρυφο) ώστε ανοίγοντας και κλίνοντας το κουμπί τροφοδοσίας χαμηλών τάσεων του τροφοδοτικού η μετατόπιση της δέσμης να είναι οριζόντια (παράλληλη με τον άξονα X) με φορά προς τα δεξιά. Έτσι είσαστε σίγουροι ότι ο πυκνωτής X είναι σωστά προσανατολισμένος και σας δίνει απόκλιση παράλληλη με τον άξονα χ'χ.

στ) Κλείστε το κουμπί τροφοδοσίας χαμηλών τάσεων. Συνδέστε ξανά τους ακροδέκτες τροφοδοσίας του σωληνοειδούς. Ανοίξτε ξανά την τροφοδοσία των χαμηλών τάσεων. Ανοίξτε το πολύμετρο.

ζ) Στρέψτε το περιστροφικό κουμπί των χαμηλών τάσεων μέχρις ότου η δέσμη στραφεί κατά 90° και πέσει για πρώτη φορά πάνω στον άξονα των Y (Έτσι θα έχει διαγράψει τόξο 180° από την αρχή των αξόνων). Σημειώστε την τιμή του ρεύματος που δείχνει τότε το πολύμετρο στον πίνακα 1.

V_e (V)	I (A)	q_e/m_e
250		
375		

Πίνακας 1. Μετρήσεις και αποτελέσματα

ζ) Αυξάνοντας την τάση που τροφοδοτεί το σωληνοειδές (και κατ' επέκταση και την ένταση που το διαρρέει) παρατηρείστε ότι το ίχνος της δέσμης να σχηματίζει στην οθόνη μία σπείρα η οποία καθώς αυξάνεται η τάση, τείνει προς το κέντρο της οθόνης.

η) Μηδενίστε το ρεύμα του σωληνοειδούς. Συνδέστε την τάση επιτάχυνσης του σωληνοειδούς στα 375 V (την 'ΚΑΘΟΔΟ' -μαύρος ακροδέκτης- με τον ακροδέκτη -125 V στο τμήμα του τροφοδοτικού 'ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ και την 'ΑΝΟΔΟ' -κόκκινος ακροδέκτης- με τα +250 V).

² Σε περίπτωση μικρής διαρροής ρεύματος από το τροφοδοτικό ενεργοποιείται το σωληνοειδές κάτι που προς το παρόν είναι ανεπιθύμητο.

Στρέψτε ξανά το περιστροφικό κουμπί των χαμηλών τάσεων μέχρις ότου η δέσμη στραφεί κατά 90° και πέσει για πρώτη φορά πάνω στον άξονα των X. Σημειώστε την τιμή του ρεύματος που δείχνει τότε το πολύμετρο στον πίνακα 1.

1η Ερώτηση : Ποιος είναι ο ρόλος της τάσης θέρμανσης στον καθοδικό σωλήνα;

2η Ερώτηση : Σε τι χρησιμεύει η τάση επιτάχυνσης; Στο σχήμα 1 σημειώστε που εφαρμόζεται η τάση θέρμανσης (V_θ) και που η τάση επιτάχυνσης (V_ε).

3η Ερώτηση : Στην θεωρία του πειράματος αναφέρουμε ότι τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στον πυκνωτή X με ταχύτητα v_0 , παράλληλη στον άξονα του σωληνοειδούς. Όταν εξέρχονται έχουν ταχύτητα v που σχηματίζει γωνία με τον άξονα του σωληνοειδούς.

Όμως η συνιστώσα αυτής της ταχύτητας v πάνω στον άξονα του σωληνοειδούς, είναι και πάλι v_0 . Γιατί ο πυκνωτής δεν επηρεάζει αυτή τη συνιστώσα της v ;

4η Ερώτηση : Όταν συνδέσατε την τάση 5 V στον πυκνωτή X η δέσμη απέκλινε. Εξηγείστε γιατί δημιουργήθηκε αυτή η απόκλιση.

5η Ερώτηση : Χρησιμοποιώντας τον τύπο (10β) και τις τιμές του πίνακα 1 υπολογίστε την τιμή του πηλίκου q/m του ηλεκτρονίου για τις δύο τιμές του V_e . Τις υπολογισμένες τιμές συμπληρώστε τις στον πίνακα 1.

6η Ερώτηση : Ερμηνεύστε για ποιο λόγο μειώνεται η απόσταση της δέσμης από το κέντρο της θόνης καθώς αυξάνω το ρεύμα στο σωληνοειδές. (Θα σας βοηθήσει η μελέτη της 3.4)

7η Ερώτηση : Εάν τροφοδοτούσατε το πηνίο με αντίστροφη πολικότητα μπορείτε να προβλέψετε τι θα συνέβαινε στην τροχιά της δέσμης καθώς θα αυξάνατε την τάση στο πηνίο; (Θα σας βοηθήσει η μελέτη της 3.4α και του σχήματος 3)
