

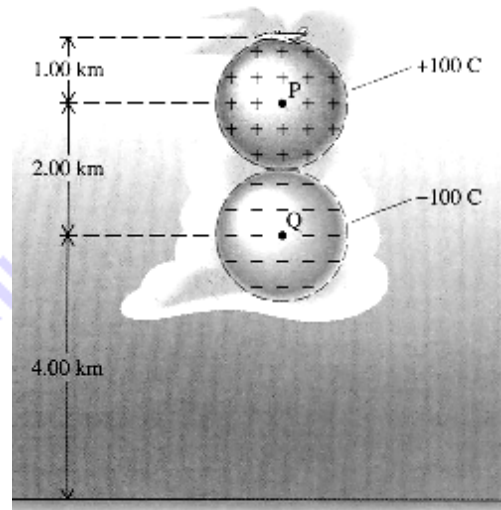
Β' Λυκείου

14 Μαρτίου 2009

Θεωρητικό Μέρος

Θέμα 1ο

A. Ένα καταιγιδοφόρο σύννεφο περιέχει φορτισμένα σωμάτια όπως ιονισμένα άτομα, φορτισμένες σταγόνες νερού, κομμάτια πάγου και κόκκους σκόνης σε μεγάλη συγκέντρωση. Υπάρχει μια συγκέντρωση θετικού φορτίου στο πάνω μέρος του σύννεφου και μια συγκέντρωση αρνητικού φορτίου στο κάτω μέρος. Υποθέστε ότι η κατανομή φορτίου στο σύννεφο αυτό μπορεί να προσεγγιστεί από δύο ομογενείς σφαιρικές κατανομές φορτίου $+100\text{C}$ και -100C , με τα κέντρα τους στα σημεία P και Q όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Βρείτε το μέτρο και τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου **i)** στο σημείο P και **ii)** στο σημείο που βρίσκεται ένα αεροπλάνο 1km πάνω από το P στην κατακόρυφο QP. Δίνεται $K_c=9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.



B. Μια ομάδα μαθητών θέλει να μετρήσει την ηλεκτρεγερτική δύναμη E και την εσωτερική αντίσταση r , μιας ηλεκτρικής πηγής. Τα όργανα που διαθέτει είναι: αμπερόμετρο, βολτόμετρο, ρυθμιστική αντίσταση, σύρματα και διακόπτη. Οι μαθητές πήραν τις πιο κάτω μετρήσεις:

V (V)	5,6	5,1	4,9	4,3	4,1	3,6
I (A)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

i) Να σχεδιάσετε το κύκλωμα που χρησιμοποίησαν οι μαθητές και τη γραφική παράσταση που προέκυψε από τις μετρήσεις τους.

ii) Να υπολογίσετε από τη γραφική παράσταση την ΗΕΔ E και την εσωτερική αντίσταση r της ηλεκτρικής πηγής.

Γ. Θεωρείστε δύο σωμάτια A και B τα οποία τη χρονική στιγμή $t=0$ αφήνονται ελεύθερα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο E . Το A έχει μάζα m και φορτίο q ενώ το B έχει μάζα $2m$ και φορτίο $2q$. Αγνοείτε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων και θεωρείστε ότι το κάθε σωμάτιο επηρεάζεται μόνο από το ηλεκτρικό πεδίο E . Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή; Μετά από χρόνο Δt :

i) Το A θα έχει μεγαλύτερη ορμή επειδή έχει μικρότερο ηλεκτρικό φορτίο και δέχεται μεγαλύτερη δύναμη

ii) Το A θα έχει μεγαλύτερη ορμή επειδή έχει μικρότερη μάζα και δέχεται μεγαλύτερη δύναμη

iii) Τα δύο σωμάτια θα έχουν ίσες ορμές επειδή έχουν τον ίδιο πηλίκο μάζας προς ηλεκτρικό φορτίο

iv) Το B θα έχει μεγαλύτερη ορμή επειδή έχει μεγαλύτερο φορτίο και δέχεται μεγαλύτερη δύναμη

ν) Το Β θα έχει τη μεγαλύτερη ορμή επειδή έχει μεγαλύτερη μάζα και δέχεται μεγαλύτερη δύναμη

Να εξηγήσετε την απάντησή σας.

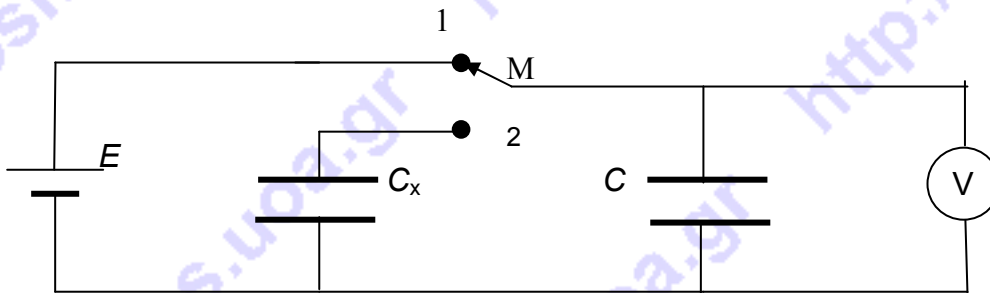
Δ. Θεωρείστε δύο σωματία Α και Β τα οποία τη χρονική στιγμή $t=0$ αφήνονται ελεύθερα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο E . Το Α έχει μάζα m και φορτίο q ενώ το Β έχει μάζα $2m$ και φορτίο $-2q$. Αγνοήστε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματίων και θεωρείστε ότι το κάθε σωματίο επηρεάζεται μόνο από το ηλεκτρικό πεδίο E . Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή; Μετά από χρόνο Δt :

- i) Η δυναμική ενέργεια του Α θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του Β θα έχει αυξηθεί κατά το ίδιο ποσό ενέργειας
- ii) Η δυναμική ενέργεια του Α θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του Β θα έχει αυξηθεί κατά το διπλάσιο ποσό ενέργειας
- iii) Η δυναμική ενέργεια του Α θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του Β θα έχει και αυτή μειωθεί κατά το ίδιο ποσό ενέργειας
- iv) Η δυναμική ενέργεια του Α θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του Β θα έχει και αυτή μειωθεί κατά το διπλάσιο ποσό ενέργειας
- v) Οι δυναμικές ενέργειες και των δύο σωματίων δεν θα έχουν μεταβληθεί

Να εξηγήσετε την απάντησή σας.

Θέμα 2ο

Α. Για να βρούμε τη χωρητικότητα C_x ενός πυκνωτή στο εργαστήριο κάναμε το παρακάτω πείραμα. Πήραμε έναν πυκνωτή με γνωστή χωρητικότητα C , ένα βολτόμετρο, μια πηγή συνεχούς τάσης και κατασκευάσαμε το παρακάτω κύκλωμα. Αρχικά οι δύο πυκνωτές ήταν αφόρτιστοι. Συνδέσαμε τον μεταγωγό Μ με την πηγή (θέση 1) και σημειώσαμε την ένδειξη V_1 του βολτομέτρου. Στη συνέχεια φέραμε το μεταγωγό στη θέση 2 και σημειώσαμε την ένδειξη του βολτομέτρου V_2



Με δεδομένα τα C, V_1, V_2 , από ποια σχέση υπολογίζεται η άγνωστη χωρητικότητα C_x ; Εξηγήστε την απάντησή σας.

Β. Μια απλή θερμική μηχανή η οποία αποτελείται από ένα έμβολο σε κύλινδρο που περιέχει ιδανικό μονοατομικό αέριο. Αρχικά το αέριο στον κύλινδρο έχει πίεση P_0 και όγκο V_0 . Το αέριο θερμαίνεται αργά υπό σταθερό όγκο. Όταν η πίεση γίνει $3P_0$ το έμβολο ελευθερώνεται επιτρέποντας στο αέριο να εκτονωθεί αδιαβατικά. Μόλις η πίεση ξαναγίνει P_0 το εξωτερικό του εμβόλου ψύχεται στην αρχική θερμοκρασία και το αέριο συμπιέζεται αργά υπό σταθερή πίεση μέχρι την αρχική του κατάσταση.

- i) Ποιος ο μέγιστος όγκος του αερίου κατά τη διάρκεια του κύκλου;
- ii) Ποιος ο συντελεστής απόδοσης της θερμικής μηχανής;

iii) Ποιος ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής Carnot που εργάζεται μεταξύ των θερμοκρασιών στις οποίες εργάζεται και η παραπάνω μηχανή;

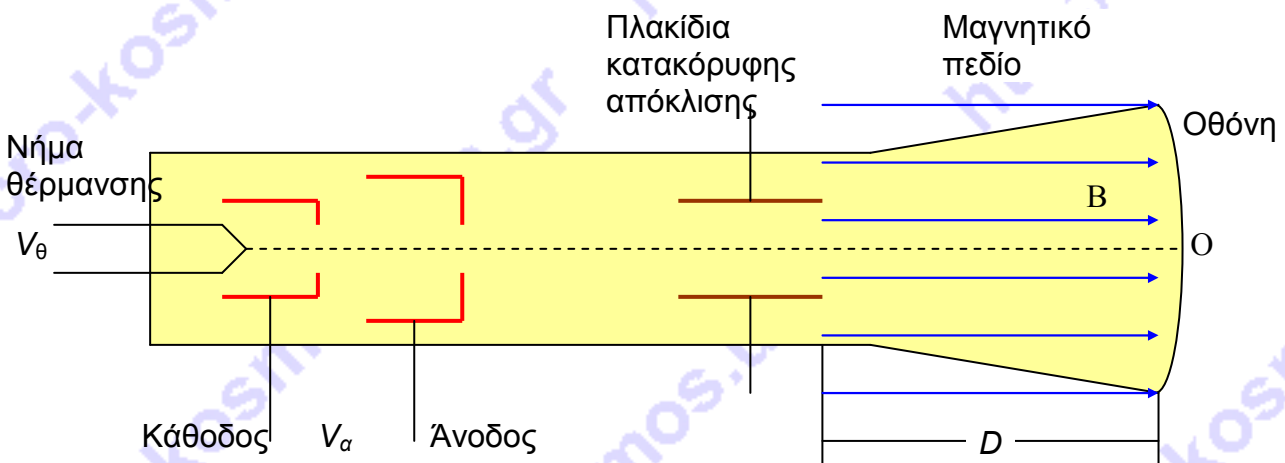
Θέμα 3ο

A. Κύλινδρος περιέχει ιδανικό αέριο και στο ένα του άκρο κλείνει με αβαρές έμβολο εμβαδού S . Ο κύλινδρος και το έμβολο αποτελούνται από θερμομονωτικό υλικό, ενώ μέσα υπάρχει αντιστάτης με αντίσταση r , η οποία διαρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα I . Το έμβολο κινείται αργά με σταθερή ταχύτητα v . Να βρεθεί η ειδική γραμμομοριακή θερμότητα του αερίου σε αυτή τη διαδικασία. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι P η σταθερά του Boltzmann K και ο αριθμός Avogadro N_A .

B. Κατά τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος σε ένα καταναλωτή που βρίσκεται σε απόσταση d από τη γεννήτρια, χρησιμοποιείται γραμμή μεταφοράς από χαλκό. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της γεννήτριας είναι V και η ισχύς που δίνει στο εξωτερικό κύκλωμα P . Εάν η μέγιστη επιτρεπόμενη απώλεια ισχύος στη γραμμή μεταφοράς είναι το 5% της ισχύος P της γεννήτριας, να υπολογίσετε την ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή της γραμμής μεταφοράς. Η ειδική αντίσταση του χαλκού είναι ρ .

Πειραματικό Μέρος

Μια δέσμη ηλεκτρονίων, χωρίς σημαντική κινητική ενέργεια, που προέρχονται από τη θερμαινόμενη κάθοδο ενός καθοδικού σωλήνα επιταχύνονται με τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου V_a . Στην πορεία της η δέσμη περνάει ανάμεσα από τους οριζόντιους οπλισμούς ενός επίπεδου πυκνωτή (πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης). Αν εφαρμόσουμε στους οπλισμούς του πυκνωτή μια εκτρέπουσα τάση τα ηλεκτρόνια εκτρέπονται από το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή. Βγαίνοντας από αυτό το ηλεκτρικό πεδίο τα ηλεκτρόνια εισέρχονται σε μαγνητικό πεδίο B παράλληλο στον άξονα του καθοδικού σωλήνα. Αυτό το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από πηνίο το οποίο περιβάλλει τον καθοδικό σωλήνα.

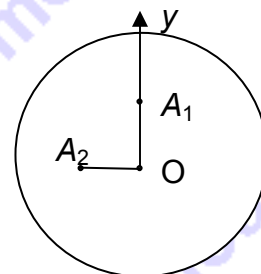


Με σκοπό να υπολογίσουμε το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου (πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου προς τη μάζα του ηλεκτρονίου e/m), ακολουθούμε την παρακάτω πειραματική διαδικασία.

1) Χρησιμοποιώντας κατάλληλο τροφοδοτικό εφαρμόζουμε στο νήμα θέρμανσης τάση θέρμανσης $6,3\text{ V}$ και μεταξύ ανόδου - καθόδου τάση $V_a=300\text{ V}$ χωρίς να υπάρχει εκτρέπουσα τάση στα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης αλλά και χωρίς το πηνίο να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Τότε τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε ένα σημείο και αφήνουν ένα

στίγμα. Επειδή η πορεία της δέσμης επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο της Γης περιστρέφουμε λίγο το σωλήνα ώστε το στίγμα να βρίσκεται στο κέντρο O της οθόνης.

2) Εφαρμόζουμε μια εκτρέπουσα τάση $V=5\text{ V}$ στα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης, ενώ το πηνίο δεν είναι συνδεδεμένο στο τροφοδοτικό και δεν διαρρέεται από ρεύμα. Τότε τα ηλεκτρόνια αφού υποστούν μια κατακόρυφη εκτροπή από το ηλεκτρικό πεδίο προσπίπτουν στην οθόνη και αφήνουν ένα στίγμα στο σημείο A_1 .



3) Συνδέουμε το πηνίο, μέσω ροοστάτη με ένα δεύτερο τροφοδοτικό παρεμβάλλοντας και ένα αμπερόμετρο. Αυξάνουμε σταδιακά, με τη βοήθεια του ροοστάτη, το ρεύμα I που το διαρρέει. Για κάποια τιμή του ρεύματος $I=0,606\text{ A}$ το στίγμα της δέσμης έρχεται σε μια θέση A_2 , όπου η OA_2 είναι κάθετη στην OA_1 . Στην περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόνια εισέρχονται υπό γωνία σε σχέση με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Τότε διαγράφουν ελικοειδή τροχιά η οποία είναι αποτέλεσμα της σύνθεσης μιας ομαλής κυκλικής και μιας ευθύγραμμης ομαλής κίνησης. Αν το μαγνητικό πεδίο έχει αρκετά μικρή τιμή, τα ηλεκτρόνια δεν θα προλάβουν να ολοκληρώσουν μια περιστροφή μέχρι να πέσουν στη φθορίζουσα οθόνη του καθοδικού σωλήνα. Πέφτουν έτσι στην οθόνη όταν έχουν εκτελέσει μισό κύκλο λόγω της κυκλικής κίνησης.

4) Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για διάφορες τιμές της ανοδικής τάσης και της τάσης εκτροπής και σημειώνουμε σε πίνακα δεδομένων τις τιμές αυτές καθώς και την αντίστοιχη ένδειξη του αμπερόμετρου ώστε η OA_2 να είναι κάθετη στην OA_1 . Τα δεδομένα που προέκυψαν από 14 επαναλήψεις της διαδικασίας αυτής φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

V (V)	V_a (V)	I (A)
5	300	0,605
5	350	0,641
5	400	0,664
5	450	0,710
5	500	0,741
8	300	0,617
8	400	0,684
8	500	0,760
10	300	0,613
10	400	0,699
10	500	0,756
16	300	0,609
16	400	0,697
16	500	0,789

Είναι δεδομένη από τον κατασκευαστή η απόσταση μεταξύ του δεξιού άκρου των πλακιδίων κατακόρυφης απόκλισης και της οθόνης $D=0,07$ m. Επίσης δίνεται ότι το μαγνητικό πεδίο B στο εσωτερικό του πηνίου είναι ανάλογο του ρεύματος I και η σταθερά αναλογίας είναι $k=0,0044$ (T/A). Δηλαδή $B=k \cdot I$

Ερωτήσεις:

A. Πόση είναι η OA_2 σε σχέση με την ακτίνα της κυκλικής κίνησης;

B. Πόσο είναι το D σε σχέση με το βήμα της έλικας;

Γ. Αποδείξτε τη σχέση $\frac{e}{m} = \frac{2\pi^2 V_\alpha}{B^2 D^2}$

Δ. Υπολογίστε το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου όπως προκύπτει από τα δεδομένα για κάθε διαδικασία και βρείτε τη μέση τιμή $(e/m)_{av}$ του ειδικού φορτίου.

Ε. Υπολογίστε το σφάλμα της μέσης τιμής $\delta(e/m)$ από τη σχέση:

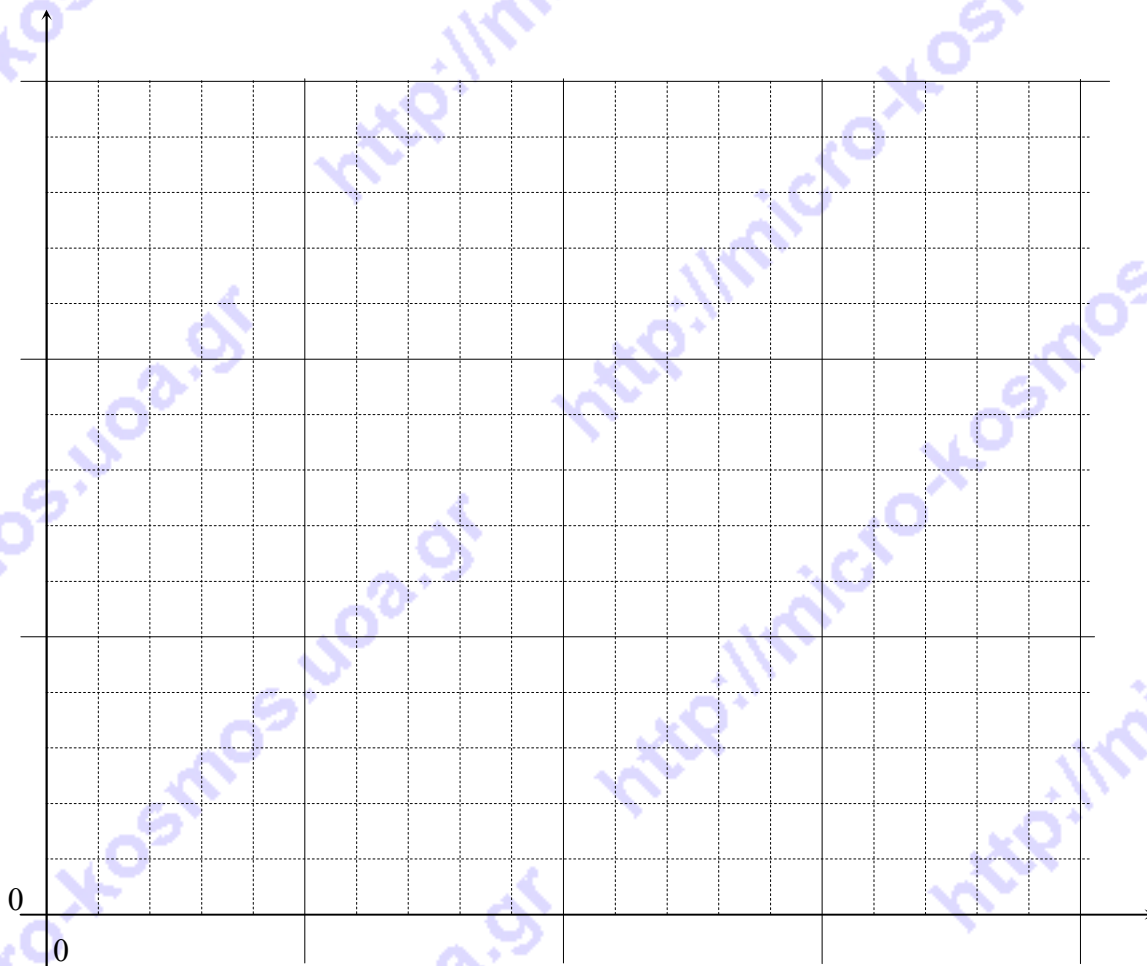
$$\delta(e/m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{(e/m)_i - (e/m)_{av}\}^2}{N(N-1)}}$$

όπου $(e/m)_i$ οι πειραματικές τιμές του ειδικού φορτίου και N ο αριθμός των μετρήσεων

Το σύμβολο $\sum_{i=1}^N$ σημαίνει άθροισμα από $i=1$ έως N . Να στρογγυλοποιήσετε το σφάλμα μέχρι να μείνει ένα ψηφίο που είναι διάφορο του μηδενός. Μετά στρογγυλοποιήστε και τη μέση τιμή $(e/m)_{av}$ του ειδικού φορτίου ώστε το τελευταίο ψηφίο της να έχει την ίδια τάξη μεγέθους με το ψηφίο του σφάλματος και γράψτε το αποτέλεσμα για το ειδικό φορτίο μαζί με το σφάλμα της μέσης τιμής.

Αν θέλετε, μπορείτε να κάνετε κάποιο γράφημα σ' αυτή τη σελίδα και να την επισυνάψετε μέσα στο τετράδιό σας.

Επιλέξτε τους άξονες τιτλοδοτήστε συμπεριλάβετε και τις κατάλληλες μονάδες σε κάθε άξονα.



ΣΥΝΟΠΤΙΚΕΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

Θεωρητικό Μέρος

Θέμα 1ο

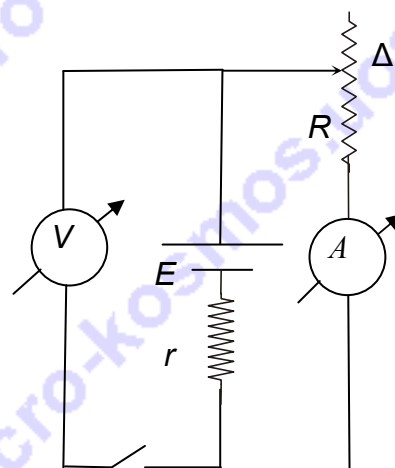
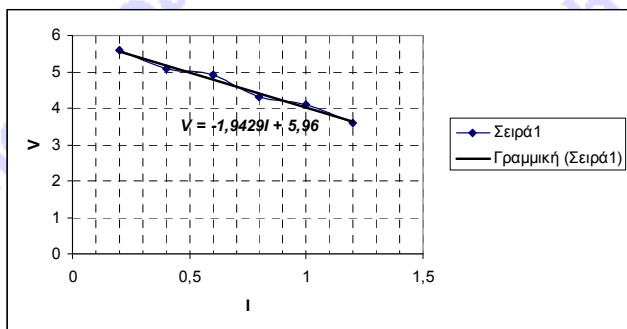
A. i) $E_P = k_c \frac{q}{r^2}$ δηλαδή: $E_P = 9 \cdot 10^9 \frac{10^2}{4 \cdot 10^6} = 2,25 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$

ii) $E_{αεροσπλ} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^2}{10^6} - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^2}{9 \cdot 10^6} = 9 \cdot 10^5 - 10^5 = 8 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$

B.

i) Το κύκλωμα που χρησιμοποίησαν οι μαθητές φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

ii) Από τα πειραματικά δεδομένα κάνουμε το γράφημα $V-I$ από το οποίο χαράσσοντας τη βέλτιστη ευθεία βρίσκουμε με επέκτασή της ότι $E=6V$ περίπου και $r=2\Omega$ περίπου.



Γ. Σωστή είναι η iv) Το B θα έχει μεγαλύτερη ορμή επειδή έχει μεγαλύτερο φορτίο και έτσι δέχεται μεγαλύτερη δύναμη.

Από τις σχέσεις: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ και $F = Eq$ προκύπτει ότι: $Eq = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ οπότε $\Delta p = Eq\Delta t$

Δ. Σωστή είναι η iv) Η δυναμική ενέργεια του A θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του B θα έχει και αυτή μειωθεί κατά το διπλάσιο ποσό ενέργειας.

Όταν ένα φορτισμένο σωματίο αφήνεται χωρίς αρχική ταχύτητα σε ηλεκτρικό πεδίο πάντα κινείται προς τα εκεί το έργο της ηλεκτρικής δύναμης θα είναι θετικό. Επειδή το έργο αυτό ισούται με το αντίθετο της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας, προκύπτει ότι η δυναμική

ενέργεια θα μειώνεται κατά $Eq\Delta x = Eq \frac{1}{2} at^2 = \frac{E^2 q^2}{2m} t^2$ από την οποία προκύπτει ότι η δυναμική

ενέργεια του A θα έχει μειωθεί κατά ένα ποσό και η δυναμική ενέργεια του B θα έχει και αυτή μειωθεί κατά το διπλάσιο ποσό ενέργειας αφού το B έχει διπλάσιο ηλεκτρικό φορτίο και διπλάσια μάζα.

Αλλιώς:

Όταν ένα φορτισμένο σωματίο αφήνεται χωρίς αρχική ταχύτητα σε ηλεκτρικό πεδίο πάντα κινείται προς τα εκεί το έργο της ηλεκτρικής δύναμης θα είναι θετικό. Επειδή το έργο αυτό ισούται με το αντίθετο της μεταβολής της δυναμικής ενέργειας, προκύπτει ότι η δυναμική ενέργεια θα μειώνεται. Συνεπώς θα αυξάνεται η κινητική ενέργεια κατά το ίδιο ποσό αφού η μόνη δύναμη είναι η συντηρητική ηλεκτρική δύναμη.

Από τη σχέση $K = \frac{p^2}{2m}$ που συνδέει την κινητική ενέργεια με το μέτρο της ορμής έχουμε την παρακάτω σχέση που συνδέει τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας με τη μεταβολή του μέτρου της ορμής (Προσοχή όχι με το μέτρο της μεταβολής της ορμής)

$\Delta K = \frac{(\Delta p)^2}{2m}$. Επειδή δε $\Delta p = Eq\Delta t$ όπως εξηγήθηκε στο ερώτημα Γ, προκύπτει ότι

$\Delta K = \frac{E^2 q^2 (\Delta t)^2}{2m}$ από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η αύξηση της κινητικής ενέργειας του Β

θα είναι διπλάσια εκείνης του Α. Συνεπώς η μείωση της δυναμικής ενέργειας του Β θα είναι διπλάσια από εκείνη του Α.

Θέμα 2ο

Α. Όταν ο μεταγωγός είναι στη θέση (1) ο πυκνωτής με τη γνωστή χωρητικότητα C θα έχει φορτίο $Q = CV_1$. Όταν ο μεταγωγός έρθει στη θέση (2) αποκτά φορτίο και ο πυκνωτής με την άγνωστη χωρητικότητα. Από την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου έχουμε:

$$C_x V_2 + CV_2 = CV_1 \quad \text{από την οποία} \quad C_x = \frac{C(V_1 - V_2)}{V_2}$$

Β.

i) Από το νόμο της ισόχωρης βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία γίνεται $32T_0$

Από το νόμο Poisson της αδιαβατικής μεταβολής έχουμε:

$$32P_0 V_0^\gamma = P_0 V_{\max}^\gamma \quad \text{ΟΠΟΤΕ}$$

$$V_{\max} = \sqrt[3]{32} \cdot V_0$$

και επειδή $\gamma = 5/3$

$$V_{\max} = (2^5)^{\frac{3}{5}} = 8V_0$$

ii) Από τη συνδυαστική εξίσωση για την αδιαβατική μεταβολή έχουμε:

$$\frac{P_0 8V_0}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad \text{οπότε}$$

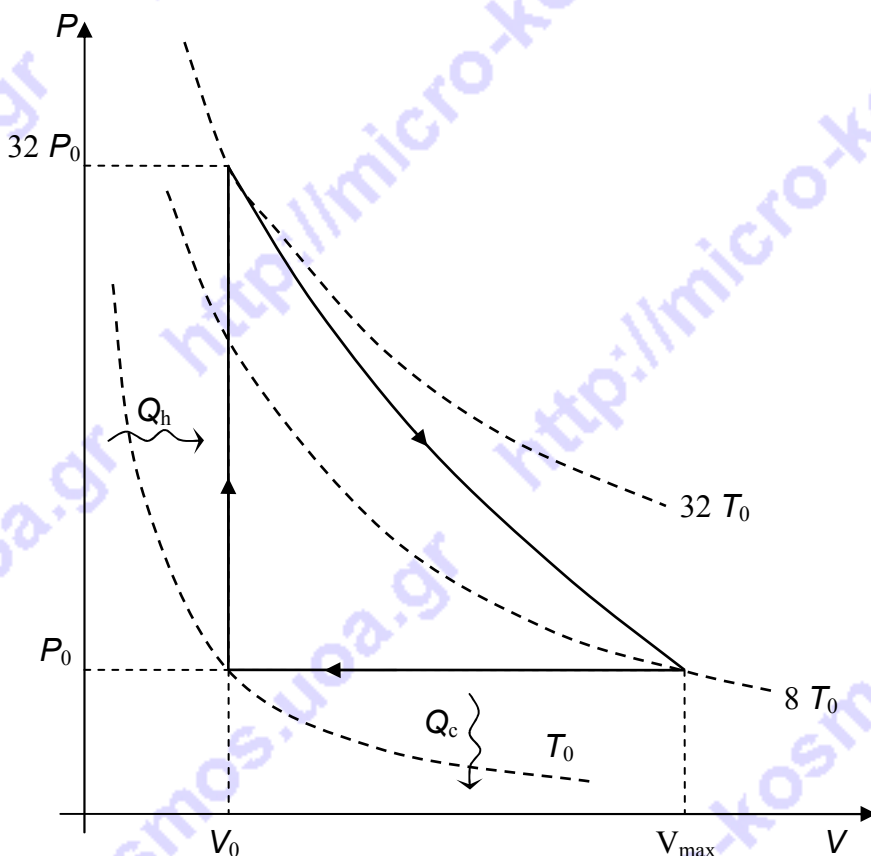
$$T = 8T_0$$

Η θερμότητα που αποδίδεται από το αέριο στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια ενός κύκλου (μη μετατρέψιμη θερμότητα)

$$Q_c = \frac{5}{2} nR(T_0 - 8T_0) \quad \text{δηλαδή} \quad Q_c = -\frac{5}{2} nR7T_0 \quad \text{οπότε} \quad Q_c = -\frac{35}{2} P_0 V_0$$

Η χορηγούμενη θερμότητα στο αέριο κατά τη διάρκεια ενός κύκλου είναι:

$$Q_h = \frac{3}{2} nR31T_0 \quad \text{ή} \quad Q_h = \frac{93}{2} P_0 V_0$$



Συνεπώς ο συντελεστής απόδοσης θα είναι: $e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h}$ και αντικαθιστώντας τις σχέσεις

$$\text{για τα } Q_c \text{ και } Q_c \text{ βρίσκουμε } e = 1 - \frac{\frac{35}{2} P_0 V_0}{\frac{93}{2} P_0 V_0} \text{ δηλαδή } e = 0,62$$

$$\text{iii) } e_c = 1 - \frac{T_0}{32T_0} \text{ δηλαδή } e_c = 0,97$$

Θέμα 3ο

A. Αφού το έμβολο κινείται αργά με σταθερή ταχύτητα, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Newton η συνισταμένη δύναμη που ασκείται σ' αυτό θα είναι μηδέν. Συνεπώς $F_{\text{αερ}} = F_{\text{ατμ}}$ δηλαδή $P = P_{\text{ατμ}}$ και η μεταβολή θα είναι ισοβαρής οπότε: $Q = nC_p \Delta T$

Όμως από το νόμο Joule: $Q = I^2 r t$ εξισώνοντας τα δεύτερα μέλη έχουμε:

$nC_p \Delta T = I^2 r t$ και με τη βοήθεια της καταστατικής έχουμε:

$$I^2 r t = C_p \frac{P \Delta V}{R} \text{ όμως } \Delta V = S \Delta x \text{ έτσι έχουμε: } I^2 r t = C_p \frac{P S \Delta x}{R} \text{ από την οποία:}$$

$$C_p = \frac{I^2 r t R}{P S \Delta x} \text{ όμως } \Delta x = v t \text{ έτσι έχουμε: } C_p = \frac{I^2 r t R}{P S v t} \text{ ή } C_p = \frac{I^2 r R}{P S v} \quad (1)$$

αλλά $K = \frac{R}{N_A}$ οπότε $R = K N_A$ αντικαθιστώντας στην (1) έχουμε τελικά:

$$C_p = \frac{I^2 r K N_A}{P S v}$$

B. Η απώλεια ισχύος στη γραμμή μεταφοράς είναι:

$$P_{\text{απωλ}} = I^2 R \quad (1)$$

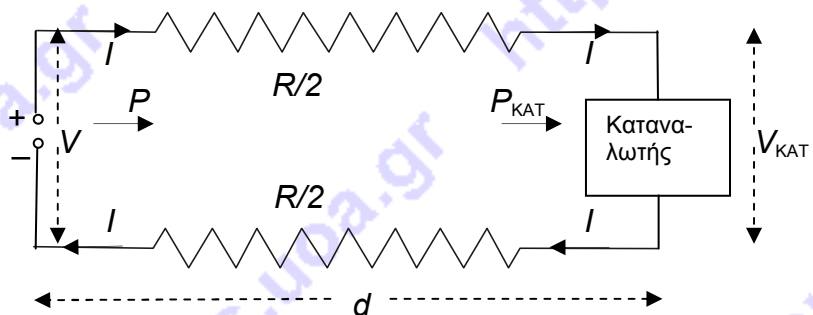
Η προς μεταφορά ισχύς P της γεννήτριας είναι:

$$P = VI \text{ οπότε } I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

$$\text{Οπότε } P_{\text{απωλ}} = \frac{P^2}{V^2} R \quad (3)$$

Η αντίσταση της γραμής μεταφοράς είναι $R = \rho \frac{2d}{S}$ (4) Έτσι η (3) με τη βοήθεια της (4)

δίνει: $P_{\text{απωλ}} = \frac{P^2}{V^2} \rho \frac{2d}{S}$ (5) Επειδή η απώλεια ισχύος στη γραμμή μεταφοράς δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% της ισχύος P της γεννήτριας, θα έχουμε:



$P_{απωλ} \geq \frac{5P}{100}$ οπότε με τη βοήθεια της (5) προκύπτει: $\frac{P^2}{V^2} \rho \frac{2d}{S} \leq \frac{5P}{100}$ από την οποία τελικά

έχουμε: $S \geq \frac{200P}{5V^2} \rho \cdot d$ συνεπώς $S_{\min} = \frac{200P}{5V^2} \rho \cdot d$

Πειραματικό Μέρος

A. Αφού τα ηλεκτρόνια πέφτουν στην οθόνη όταν έχουν εκτελέσει μισό κύκλο λόγω της κυκλικής κίνησης η OA_2 θα είναι η διάμετρος της κυκλικής κίνησης δηλαδή διπλάσια της ακτίνας r . Οπότε $OA_2=2r$

B. Το βήμα S της έλικας ισούται με το διάστημα που διανύουν τα ηλεκτρόνια στον άξονα x σε χρόνο μιας περιόδου T της κυκλικής κίνησης τους στο μαγνητικό πεδίο, από τη στιγμή που μπήκαν υπό γωνία στο μαγνητικό πεδίο. Στον άξονα x η κίνηση γίνεται με σταθερή ταχύτητα v_0 την οποία απέκτησαν τα ηλεκτρόνια επιταχυνόμενα μεταξύ ανόδου – καθόδου από την τάση V_α . Δηλαδή $S=v_0T$. Επειδή τα ηλεκτρόνια πέφτουν στην οθόνη όταν έχουν εκτελέσει μισό κύκλο λόγω της κυκλικής κίνησης θα έχουν διανύσει στον άξονα x διάστημα $D=v_0T/2$ οπότε $D=S/2$.

Γ. Ένα ηλεκτρόνιο που προέρχεται από τη θερμαινόμενη κάθοδο επιταχύνεται από την τάση μεταξύ ανόδου καθόδου $V_\alpha=300V$. Το ηλεκτρόνιο αυτό θα εισέρχεται στο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των πλακιδίων κατακόρυφης απόκλισης με ταχύτητα v_0 την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε από το θεώρημα μεταβολής της κινητικής ενέργειας

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - 0 = eV_\alpha \text{ οπότε } v_0 = \sqrt{\frac{2V_\alpha e}{m}} \quad (1)$$

Το ηλεκτρόνιο στη συνέχεια εκτρέπεται από το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των πλακιδίων κατακόρυφης απόκλισης και όταν εξέρχεται από αυτό θα έχει στον άξονα x ταχύτητα v_0 αφού δε δέχεται δύναμη στον άξονα αυτό και στον άξονα y θα έχει ταχύτητα v_y . Έτσι εισέρχεται στο ομογενές μαγνητικό πεδίο υπό μια οξεία γωνία και εκτελεί ελικοειδή κίνηση δηλαδή μια κυκλική κίνηση σε επίπεδο κάθετο στον άξονα y και μια ευθύγραμμη ομαλή κίνηση στον άξονα x με ταχύτητα v_0 .

Η ακτίνα της κυκλικής κίνησης θα είναι: $r = \frac{mv_y}{Be}$ (2)

Η περίοδος της κυκλικής κίνησης θα είναι: $T = \frac{2\pi m}{Be}$ (3)

Ο χρόνος κίνησης στο μαγνητικό πεδίο αφού τα ηλεκτρόνια πέφτουν στην οθόνη όταν έχουν εκτελέσει μισό κύκλο λόγω της κυκλικής κίνησης θα είναι $t=T/2$ οπότε από την (3)

έχουμε: $t = \frac{\pi m}{Be}$ (4)

Από τη (2) και την (4) προκύπτει ότι $t = \frac{\pi r}{v_y}$ (5)

Αλλά στο χρόνο αυτό διανύει το διάστημα D στον άξονα x με ταχύτητα v_0 , οπότε:

$$t = \frac{D}{v_0} \quad (6)$$

από τις (5) και (6) προκύπτει ότι: $\frac{D}{v_0} = \frac{\pi r}{v_y}$ οπότε $r = \frac{Dv_y}{v_0\pi}$ (7)

Από την (7) και την (2) έχουμε: $\frac{Dv_y}{v_0\pi} = \frac{mv_y}{Be}$ δηλαδή $\frac{DBe}{v_0\pi m} = 1$ (8)

Η (8) με τη βοήθεια της (1) δίνει: $\frac{DBe}{\sqrt{\frac{2V_\alpha e}{m}}\pi m} = 1$ υψώνοντας στο τετράγωνο έχουμε:

$$\frac{D^2 B^2 e^2}{\pi^2 2V_\alpha e m} = 1 \quad \text{από την οποία} \quad \frac{e}{m} = \frac{2\pi^2 V_\alpha}{B^2 D^2} \quad (9)$$

Δ. Αφού το μαγνητικό πεδίο B στο εσωτερικό του πηνίου είναι ανάλογο του ρεύματος I και η σταθερά αναλογίας είναι $k=0,0044$ (T/A), έχουμε $B=0,0044 I$ και συμπληρώνουμε τον πίνακα με τις τιμές του μαγνητικού πεδίου αλλά και τις τιμές που προκύπτουν για το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου από τη σχέση (9) με δεδομένη από τον κατασκευαστή την απόσταση μεταξύ του δεξιού άκρου των πλακιδίων κατακόρυφης απόκλισης και της οθόνης $D=0,07$ m.

V (V)	V_α (V)	I (A)	B $\times 10^{-3}$ (T)	e/m $\times 10^{11}$ ($\frac{C}{kg}$)
5	300	0,605	2,662	1,70372
5	350	0,641	2,820	1,77068
5	400	0,664	2,922	1,88587
5	450	0,710	3,124	1,8556
5	500	0,741	3,260	1,89287
8	300	0,617	2,715	1,63809
8	400	0,684	3,010	1,7772
8	500	0,760	3,344	1,79941
10	300	0,613	2,697	1,65954
10	400	0,699	3,076	1,70174
10	500	0,756	3,326	1,8185
16	300	0,609	2,680	1,68141
16	400	0,697	3,067	1,71152
16	500	0,789	3,472	1,66957

Η μέση τιμή για το ειδικό φορτίο θα είναι $(e/m)_{av} = \frac{\sum_{i=1}^N (\frac{e}{m})_i}{N}$ και αφού $N=14$ μετά τις πράξεις προκύπτει $(e/m)_{av} = 1,754694 \cdot 10^{11}$ C/kg.

Ε. Το σφάλμα της μέσης τιμής $\delta(e/m)$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\delta(e/m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{(e/m)_i - (e/m)_{av}\}^2}{N(N-1)}}$$

$$\delta(e/m) = 0,0229428 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

στρογγυλοποιούμε ώστε το σφάλμα να έχει ένα ψηφίο διάφορο του μηδενός και έχουμε:

$$\delta(e/m) = 0,02 \text{ C/kg}$$

Μετά στρογγυλοποιούμε και τη μέση τιμή $(e/m)_{av}$ του ειδικού φορτίου ώστε το τελευταίο ψηφίο της να έχει την ίδια τάξη μεγέθους με το ψηφίο του σφάλματος οπότε το αποτέλεσμα για το ειδικό φορτίο γράφεται:

$$(e/m)_{av} = 1,76 \cdot 10^{11} \pm 0,02 \text{ C/kg}$$