

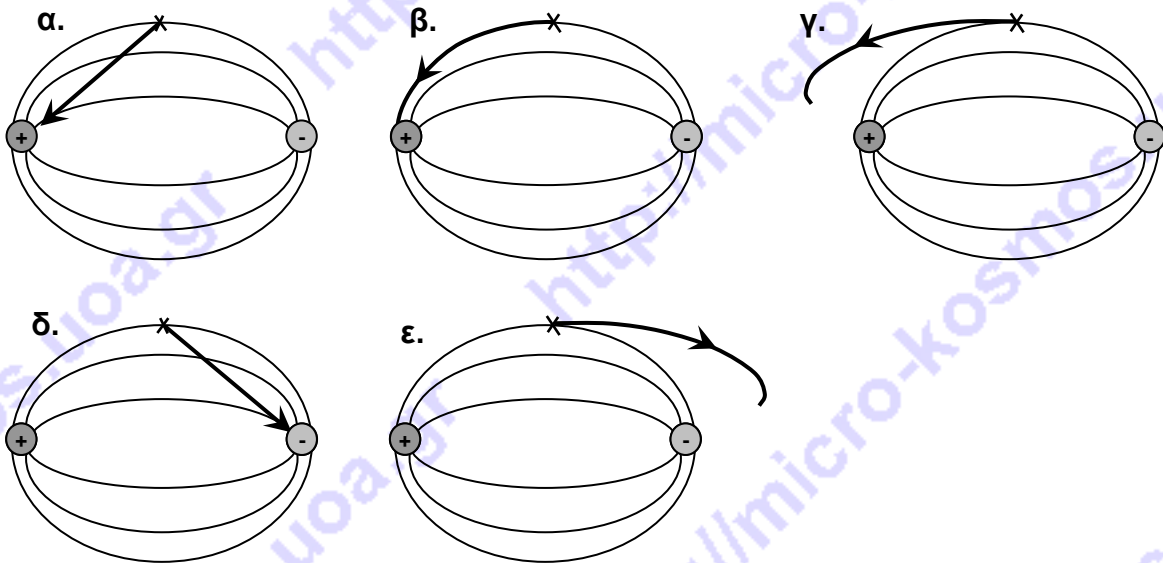
Β' Λυκείου

21 Απριλίου 2007

Θεωρητικό Μέρος

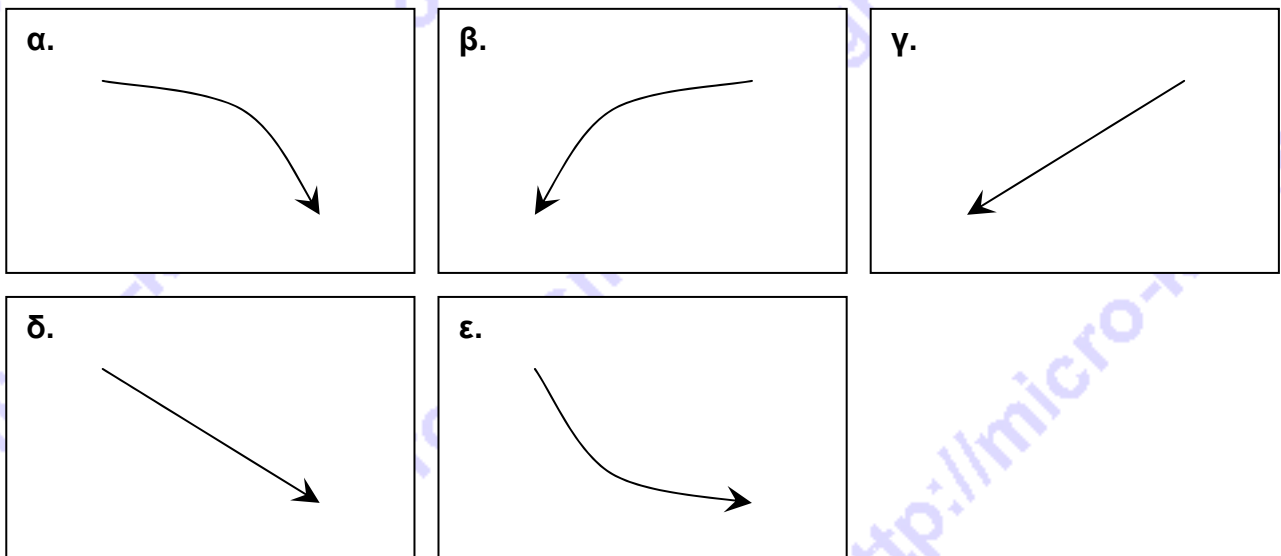
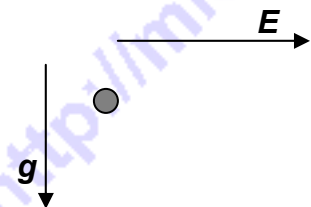
Θέμα 1°

1. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου το οποίο δημιουργείται μεταξύ δύο αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων. Ένα ηλεκτρόνιο ξεκινά από την ηρεμία στη θέση που εμφανίζεται με (x) και στη συνέχεια επιταχύνεται από το ηλεκτρικό πεδίο. Ποια τροχιά από αυτές που εικονίζονται με έντονο μαύρο είναι πιθανό να ακολουθήσει; Εξηγήστε συνοπτικά την απάντησή σας.

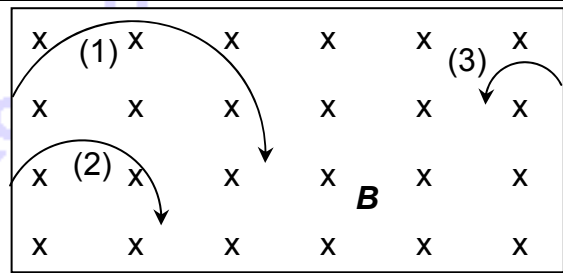


2. Ένα σώμα με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο είναι αρχικά ακίνητο μέσα σε ομογενές βαρυτικό και σταθερό ομογενές ηλεκτρικό πεδίο όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Ποια από τις παρακάτω θα είναι η μορφή της τροχιάς που θα ακολουθήσει το σώμα; Θεωρήστε αμελητέες πιθανές αλληλεπιδράσεις του σωματίου οι οποίες δεν οφείλονται στα δύο πεδία.



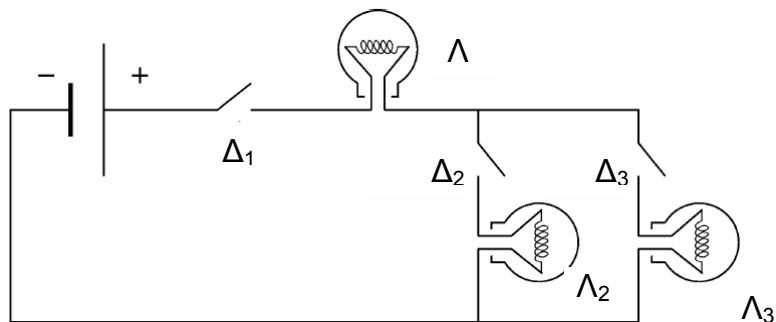
3. Το διπλανό σχήμα δείχνει τις τροχιές τριών φορτισμένων σωματιδίων που κινούνται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} κάθετο στο επίπεδο της σελίδας με φορά προς τα μέσα. Τα σωματίδια κινούνται στο επίπεδο της σελίδας. Η διεύθυνση κάθε σωματιδίου φαίνεται με τα βέλη.



- α. Για κάθε σωματίδιο, βρείτε αν έχει θετικό ή αρνητικό φορτίο.
- β. Αν και τα τρία σωματίδια έχουν την ίδια ορμή, ποιο έχει το μεγαλύτερο μέτρο ηλεκτρικού φορτίου $|q|$; Εξηγήστε.
4. Ένας κατασκευαστής θερμικών μηχανών ισχυρίζεται ότι κατασκεύασε μια μηχανή που όταν απορροφά ποσό θερμότητας 200 J από τη θερμή δεξαμενή θερμοκρασίας 227° C επιστρέφει στην ψυχρή δεξαμενή θερμοκρασίας 27° C ποσό θερμότητας 100 J . Να ελέγξετε τον ισχυρισμό του.
5. Ένα δοχείο γεμίζεται με άγνωστο αέριο. Για να ζεστάνουμε 1 kg από το αέριο αυτό κατά 1 βαθμό υπό σταθερή πίεση, πρέπει να του προσφέρουμε θερμότητα $907,8 \text{ J}$, ενώ για να το ζεστάνουμε υπό σταθερό όγκο κατά 1 βαθμό πρέπει να του προσφέρουμε θερμότητα $648,4 \text{ J}$. Βρείτε τη γραμμομοριακή μάζα του αερίου, προκειμένου να καθορίσετε ποιο είναι το αέριο αυτό. Δίνεται $R=8,314 \text{ J/mol K}$.
6. Ερμηνεύστε σε λίγες γραμμές, με βάση τα σωματίδια και τις κινήσεις τους στον μικρόκοσμο, την αύξηση της πίεσης
- α. Σε μια ισόθερμη συμπίεση και
- β. σε μια ισόχωρη θέρμανση ιδανικού αερίου.
- Για κάθε μεταβολή σχεδιάστε μια μικρή περιοχή του χώρου, στην οποία να φαίνονται τα μόρια στην περιοχή αυτή πριν και μετά την μεταβολή. (Χρησιμοποιήστε μικρούς κύκλους για την απεικόνιση των μορίων και βελάκια ή κάποιον άλλο συμβολισμό για τις κινήσεις τους)

Θέμα 2^ο

1. Το κύκλωμα του διπλανού σχήματος αποτελείται από μια μπαταρία (με αμελητέα εσωτερική αντίσταση), τρεις λαμπτήρες πυρακτώσεως (Λ_1 , Λ_2 και Λ_3) που ο καθένας τους



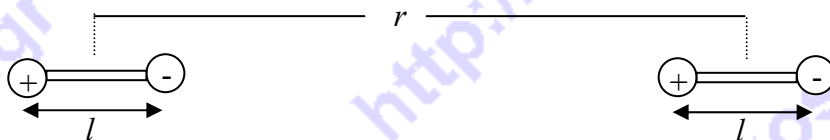
έχει ακριβώς την ίδια αντίσταση, και τρεις διακόπτες (Δ_1 , Δ_2 και Δ_3). Θεωρήστε ότι ανεξάρτητα από την ένταση του ρεύματος που κυκλοφορεί σε κάποιο λαμπτήρα, η αντίστασή του παραμένει αμετάβλητη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, τόσο εντονότερα φωτοβολεί ο λαμπτήρας.

Σε κάθε περίπτωση (α, β, γ) που περιγράφεται παρακάτω, θέλουμε να ξέρουμε ποιοι λαμπτήρες ανάβουν (και ποιοι όχι), και πόσο έντονα φωτοβολούν (ο ένας σε σχέση με τον άλλον). Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

- α. Ο διακόπτης Δ_1 είναι κλειστός, οι διακόπτες Δ_2 και Δ_3 είναι ανοικτοί.
- β. Οι διακόπτες Δ_1 και Δ_2 είναι κλειστοί, ο διακόπτης Δ_3 είναι ανοικτός.

- γ. Και οι τρεις διακόπτες (Δ_1 , Δ_2 και Δ_3) είναι κλειστοί.
 δ. Ποιος λαμπτήρας και σε ποια περίπτωση (α, β, γ) φωτοβολεί εντονότερα από όλους;
 ε. Σχεδιάστε κατ' εκτίμηση (σύμφωνα με το απλό κλασικό πρότυπο που αγνοεί την κυματική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων στα στερεά) την τροχιά της τυχαίας κίνησης ενός ελευθέρου ηλεκτρονίου μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός μεταλλικού αγωγού όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο και την τροχιά της κίνησής του όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο έντασης E . Στο σχήμα να φαίνεται το διάνυσμα E και η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

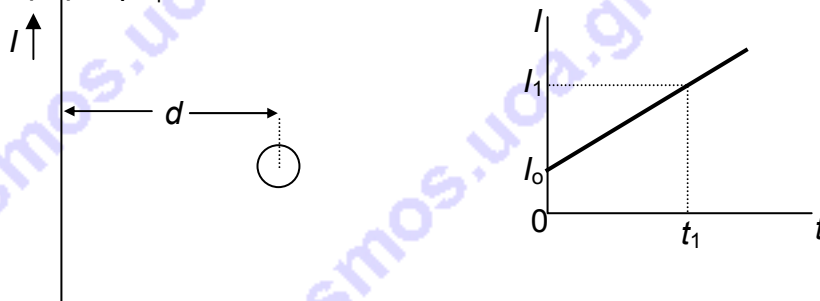
2. Οι δυνάμεις Van der Waals είναι ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων, τα οποία έχουν μια ασύμμετρη κατανομή φορτίου, αν και το συνολικό τους φορτίο είναι μηδέν. Υπάρχει δηλαδή μια περιοχή με περίσσεια θετικού φορτίου και μια περιοχή με περίσσεια αρνητικού φορτίου. Ένα τέτοιο μόριο με ασύμμετρη κατανομή φορτίου μπορεί να προσεγγιστεί από το μοντέλο του ηλεκτρικού διπόλου, δηλαδή από ένα σύστημα φορτίων $q_1=q>0$ και $q_2=-q$ που βρίσκονται στα άκρα ράβδου μήκους l . Ας φανταστούμε δύο δίπολα, όπως στο παρακάτω σχήμα σε απόσταση μεταξύ τους r .



- α. Δείξτε ότι μεταξύ των διπόλων ασκείται ελκτική δύναμη, της οποίας να βρείτε το μέτρο. Γνωστά θεωρούνται τα K_c , q , l και r .
 β. Δώστε μια απλούστερη μορφή στη σχέση που βρήκατε στο προηγούμενο ερώτημα αν λάβετε υπόψη σας ότι η απόσταση r είναι πολύ μεγαλύτερη από το l .

Θέμα 3^ο

1. Ευθύγραμμος αγωγός μεγάλου μήκους τροφοδοτείται με ρεύμα I , σταθερής φοράς, το οποίο μεταβάλλεται όπως στο παρακάτω διάγραμμα. Κυκλικός αγωγός αντίστασης R και ακτίνας r βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τον ευθύγραμμο και το κέντρο του απέχει d από αυτόν. Η ακτίνα r είναι μικρή σε σχέση με το d ώστε να μπορείτε να υποθέσετε ότι το μαγνητικό πεδίο του ρεύματος I έχει κάποια στιγμή σε όλα τα σημεία εντός του κυκλικού αγωγού την ίδια τιμή με αυτή που έχει στο κέντρο του. Να υπολογίσετε την τιμή του μαγνητικού πεδίου B στο κέντρο του κυκλικού αγωγού τη χρονική στιγμή t_1 . Γνωστά είναι τα μεγέθη K_μ , I_1 , I_0 , t_1 , d , R , r .



2. Σύμφωνα με τον De Broglie ένα σωματίο με μάζα m και ταχύτητα u μπορεί να ιδωθεί και ως υλικό κύμα με μήκος κύματος λ που είναι ίσο με τη σταθερά του Planck h δια το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητά του δηλαδή $\lambda=h/mu$. Ψύχοντας Ρουβίδιο σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, τα άτομά του περιέχονται σχεδόν όλα (συμπυκνώνονται) στη θεμελιώδη κατάσταση και προκύπτει μια νέα φάση της ύλης με διαφορετικές ιδιότητες που λέγεται συμπύκνωση Bose-Einstein. Θα λέγαμε ότι δημιουργείται ένα είδος «υπερατόμου». Η συμπύκνωση αυτή προκύπτει όταν το μήκος

κύματος De Broglie που αντιστοιχεί στα άτομα του Ρουβιδίου γίνεται ίσο με το ενδοατομικό διάστημα x (απόσταση δύο γειτονικών ατόμων).

α. Εκτιμήστε τη θερμοκρασία στην οποία θα έπρεπε να ψύξουμε Ρουβίδιο για να πετύχουμε συμπύκνωση Bose-Einstein. Υποθέστε ότι:

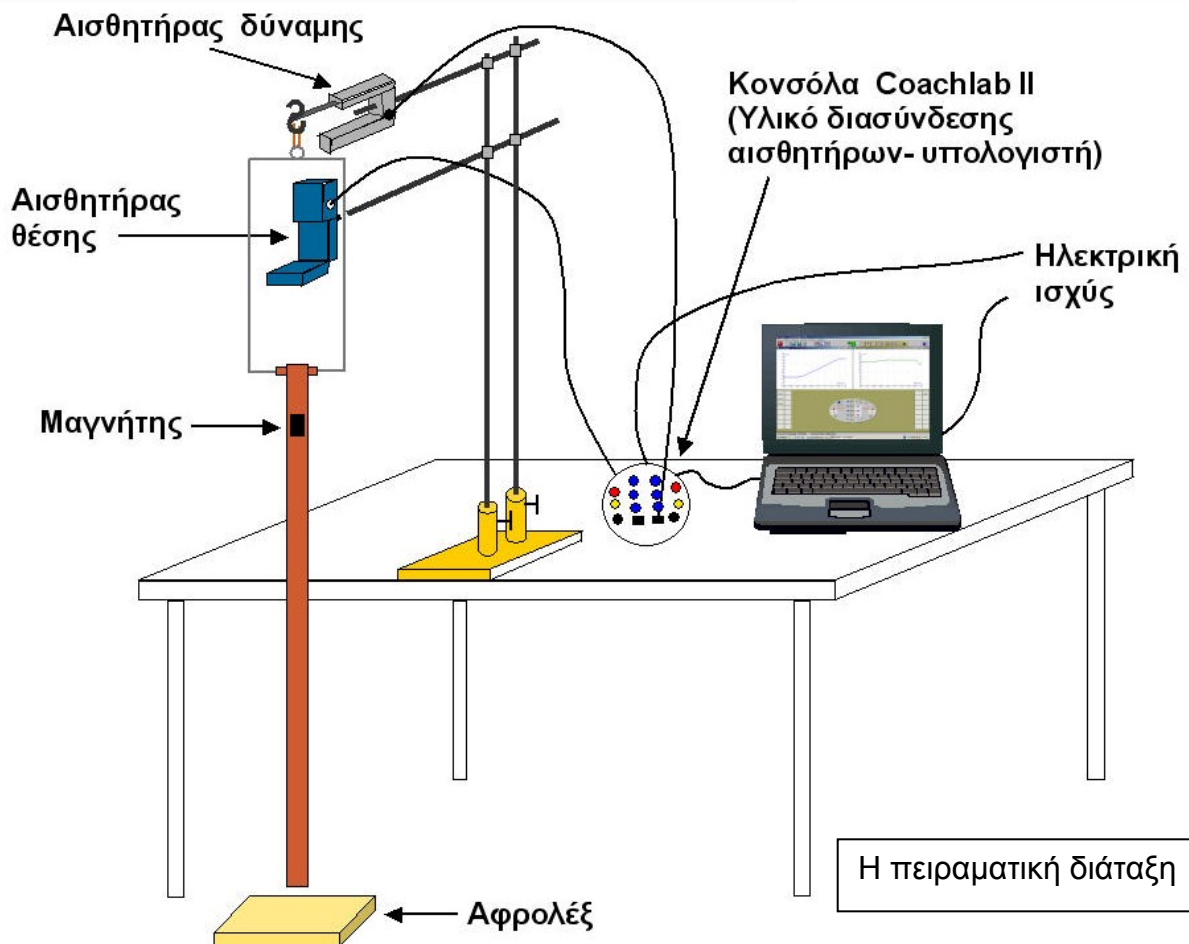
- Το Ρουβίδιο συμπεριφέρεται σαν κλασικό ιδανικό αέριο ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, πράγμα που βέβαια δεν ισχύει αλλά θα σας βοηθήσει για μια πρόχειρη εκτίμηση της ζητούμενης θερμοκρασίας.
- Η ψύξη αρχίζει από θερμοκρασία και πίεση δωματίου ($T=300\text{ K}$ και $P=1\text{ atm}$).
- Ο όγκος του παραμένει σταθερός.
- Τα άτομα του Ρουβιδίου είναι κανονικά κατανομημένα στον χώρο έτσι ώστε σε κάθε κύβο ακμής x να περιέχεται 1 άτομο Ρουβιδίου.

Δίνονται: Σταθερά Planck $h=6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$, Σταθερά Boltzman $k=1,38 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$,
 $1\text{ atm}=1,01 \cdot 10^5\text{ Nm}^{-2}$, μάζα ατόμου Ρουβιδίου $m=1,42 \cdot 10^{-25}\text{ Kg}$.

β. Αν μπορούσατε να ελαττώσετε την ατομική απόσταση, δεν θα χρειαζόταν να μειώσετε τόσο πολύ τη θερμοκρασία. Γιατί νομίζετε ότι στα πρώτα πειράματα συμπύκνωσης Bose-Einstein δεν χρησιμοποιήθηκαν πολύ υψηλές πιέσεις;

Πειραματικό Μέρος

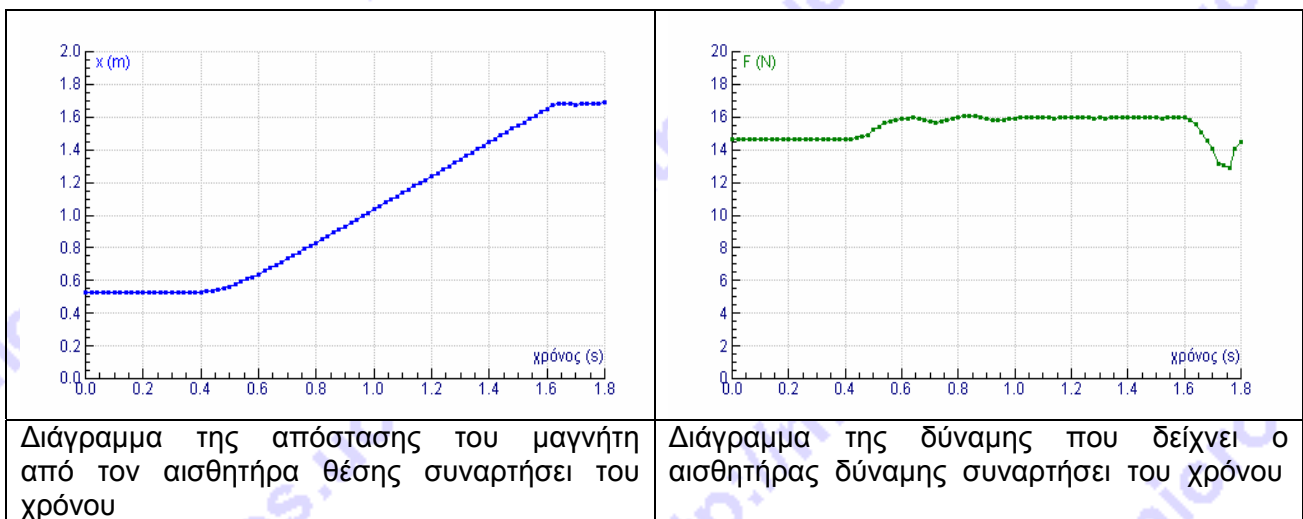
Στη διάταξη του παρακάτω σχήματος ένας κυλινδρικός μαγνήτης αφήνεται να πέσει μέσα σε ένα χάλκινο σωλήνα ο οποίος έχει αναρτηθεί από έναν αισθητήρα δύναμης και συγκεκριμένα από τη μεταλλική λάμα (έλασμα) του αισθητήρα αυτού, μέσω ενός



ορθογωνίου πλαισίου από αλουμίνιο. Ο αισθητήρας δύναμης μπορεί να παίρνει διαρκώς μετρήσεις της δύναμης που του ασκεί το αναρτημένο από αυτόν σύστημα

χάλκινου σωλήνα - αλουμινένιου πλαισίου. Πάνω από το στόμιο του χάλκινου σωλήνα έχει τοποθετηθεί ένας **αισθητήρας θέσης**, ο οποίος μπορεί να παίρνει διαρκώς μετρήσεις της απόστασης του μαγνήτη από αυτόν.

Αρχικά ο μαγνήτης με τη βοήθεια κάποιου μηχανισμού κρατιέται αιωρούμενος μέσα στον χαλκοσωλήνα, κοντά στην επάνω άκρη του τελευταίου, χωρίς να τον αγγίζει και σε απόσταση 52 cm από τον αισθητήρα θέσης. Η απόσταση αυτή είναι λίγο μεγαλύτερη από την ελάχιστη απαιτούμενη, ώστε ο αισθητήρας θέσης να μπορεί να μετράει σωστά. Ο μαγνήτης αφήνεται ελεύθερος 0,4 s μετά την έναρξη λήψης μετρήσεων. Οι μετρήσεις διαβιβάζονται από τους αισθητήρες στον Η/Υ μέσω κατάλληλου υλικού διασύνδεσης που συνίσταται στην κονσόλα Coachlab II. Με βάση τις μετρήσεις αυτές και με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (Coach 5) σχηματίζονται αυτόματα στην οθόνη του Η/Υ τα παρακάτω διαγράμματα:



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τι είδους κινήσεις κάνει ο μαγνήτης κατά την πτώση του;
2. Εκτός των αμελητέων δυνάμεων τριβής μεταξύ του μαγνήτη που πέφτει και του χαλκοσωλήνα, υπάρχει άλλη αλληλεπίδραση μεταξύ τους; Εξηγήστε.
3. Πώς ερμηνεύετε την κίνηση του μαγνήτη;
4. Πως μπορεί να εξηγηθεί η μορφή του διαγράμματος δύναμης – χρόνου;
5. Να υπολογίσετε κατά προσέγγιση το βάρος του μαγνήτη; Δικαιολογήστε.

Παρατήρηση: Δεν υπάρχει σιδηρομαγνητικό υλικό σε μικρή απόσταση από τον μαγνήτη.

Με τον όρο αισθητήρες εννοούμε συσκευές ή διατάξεις με τις οποίες ο Η/Υ "αισθάνεται" ή μετρά φυσικές ποσότητες του περιβάλλοντος, όπως θερμοκρασία, ένταση φωτός, πίεση, απόσταση κλπ. Για παράδειγμα, διασυνδεδεμένος με μια φωτοαντίσταση (ηλεκτρική αντίσταση της οποίας η τιμή εξαρτάται από την ένταση του φωτός που προσπίπτει πάνω της) και μετατρέποντας την τιμή της, είναι δυνατό να υπολογίσει την ένταση του φωτός, αν είναι γνωστή η σχέση της έντασης του φωτός με την τιμή της ηλεκτρικής αντίστασης,

Καλή Επιτυχία

Συνοπτικές απαντήσεις

Θέμα 1^ο

1. Σωστό είναι το γ.
2. Σωστό είναι το γ.
3. α. $q_1 < 0, q_2 < 0, q_3 > 0$

β. $Bv|q| = \frac{mU^2}{R} \Rightarrow |q| = \frac{mU}{BR}$. Αφού $R_3 < R_2 < R_1$, προκύπτει ότι: $|q_3| > |q_2| > |q_1|$.

4. Ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής φαίνεται να είναι: $e = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} \Rightarrow e = 0,5$.

Ο συντελεστής απόδοσης μηχανής Carnot για τις δεδομένες θερμοκρασίες είναι:

$$e_c = \frac{T_h - T_c}{T_h} \Rightarrow e_c = 0,4$$

Επειδή $e_c < e$, ο ισχυρισμός είναι ψευδής.

5. $\Delta Q = mc\Delta\theta$

$$mc_p\Delta\theta = \Delta U + W \quad (1)$$

$$mc_v\Delta\theta = \Delta U \quad (2)$$

από (1) και (2) $W = m\Delta\theta(c_p - c_v) \Rightarrow$

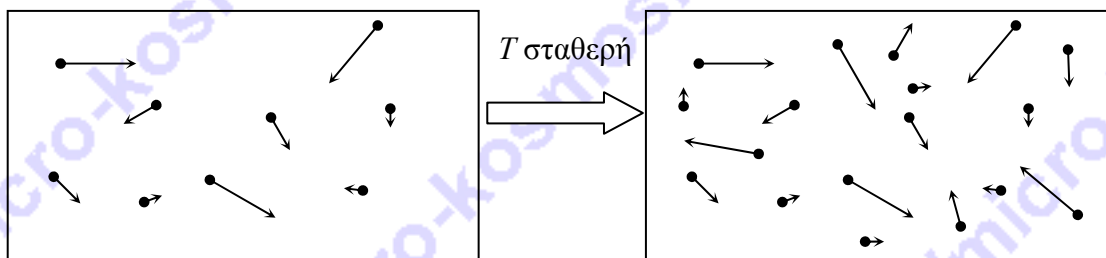
$$P\Delta V = m\Delta T(c_p - c_v) \quad (3)$$

Αλλά: $P\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T \quad (4)$

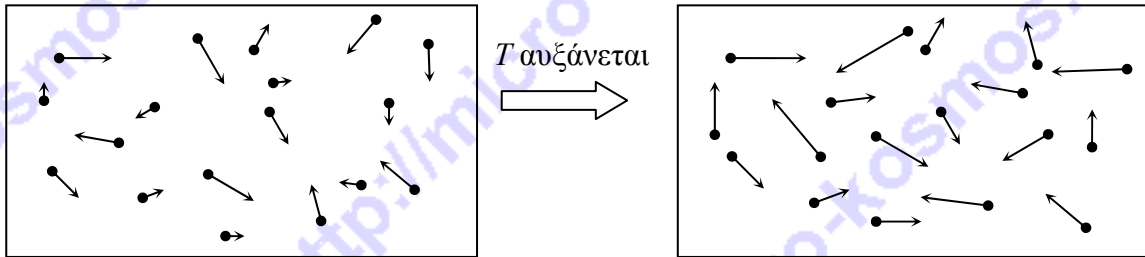
Από (3) και (4) $c_p - c_v = \frac{R}{M} \Rightarrow M = \frac{R}{c_p - c_v} \Rightarrow M = \frac{8,314}{907,8 - 648,4} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$

Άρα, το αέριο είναι το οξυγόνο.

6. Στην ισόθερμη συμπίεση η αύξηση της πίεσης οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των συγκρούσεων σε κάθε μονάδα επιφάνειας του δοχείου, αφού αντιστοιχούν περισσότερα μόρια σε ορισμένο όγκο του αερίου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια μικρή περιοχή του αερίου πριν και μετά την ισόθερμη συμπίεση. Στην περιοχή αυτή αντιστοιχούν περισσότερα μόρια μετά τη συμπίεση αλλά η μέση ταχύτητά τους είναι ή ίδια πριν και μετά τη συμπίεση.



Στην ισόχωρη θέρμανση η αύξηση της πίεσης οφείλεται στην αύξηση της μέσης τιμής των τετραγώνων των ταχυτήτων των μορίων του αερίου.



Θέμα 2^ο

1. α. Δεν ανάβει κανείς λαμπτήρας.

β. Ανάβουν οι Λ_1 και Λ_2 λαμπτήρες, και έχουν την ίδια λαμπρότητα αφού είναι σε σειρά και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

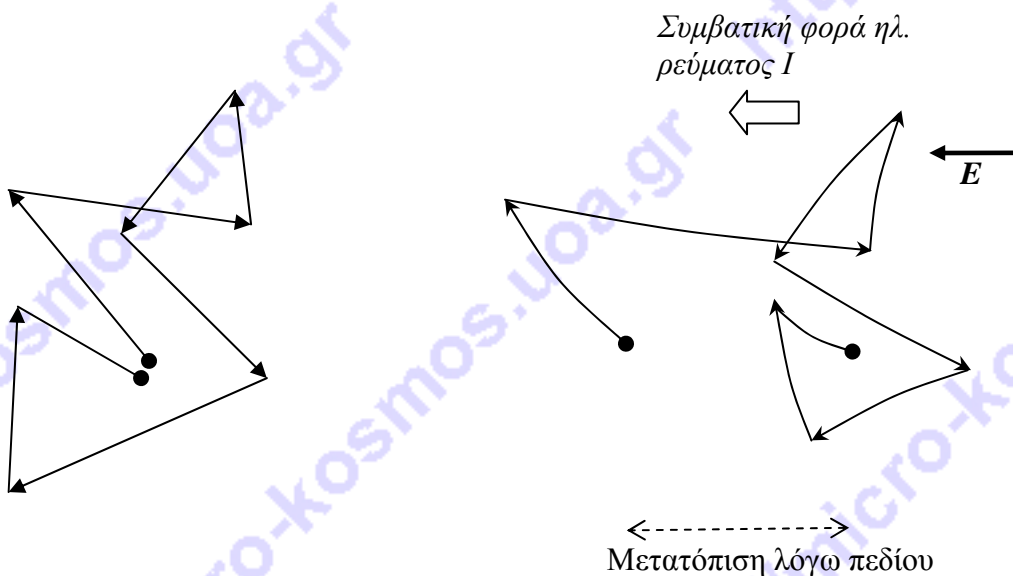
γ. Ανάβουν και οι τρεις λαμπτήρες. Οι λαμπτήρες Λ_2 και Λ_3 είναι παράλληλα συνδεδεμένοι και επειδή έχουν ίσες αντιστάσεις $I_2=I_3=I$. Όμως $I_1=I_2+I_3=2I$, και έτσι ο λαμπτήρας Λ_1 διαρρέεται από διπλάσιο ρεύμα. Άρα, οι λαμπτήρες Λ_2 και Λ_3 έχουν την ίδια λαμπρότητα, ενώ ο λαμπτήρας Λ_1 είναι πιο λαμπερός.

δ. Ο φωτεινότερος λαμπτήρας είναι ο Λ_1 στην περίπτωση γ, διότι διαρρέεται από ρεύμα

$$I_\gamma = \frac{E}{R + \frac{R}{2}}. \text{ Ενώ στην περίπτωση } \beta, \text{ διαρρέεται από ρεύμα } I_\beta = \frac{E}{2R}.$$

Οπότε $I_\gamma > I_\beta$.

ε.



Με την παρουσία του πεδίου οι τροχιές παρουσιάζουν μικρή καμπυλότητα.

$$2. \alpha. F = -k_c \frac{q^2}{r^2} + k_c \frac{q^2}{(r+1)^2} - k_c \frac{q^2}{r^2} + k_c \frac{q^2}{(r-1)^2}$$

μετά τις πράξεις: $F = 6K_c q^2 l^2 \frac{r^2 - 1^2}{r^2 (r^2 - 1^2)^2}$

$$\beta. F = \frac{6K_c q^2 l^2}{r^4}$$

Θέμα 3°

1. Το πεδίο του I είναι $B_1 = K_\mu \frac{2I_1}{d}$ (1) με φορά από τον αναγνώστη προς το χαρτί.

Στον κυκλικό αγωγό επάγεται ρεύμα με φορά αντίθετη από των δεικτών του ρολογιού (κανόνας Lenz)

$$I_{\text{επ}} = \frac{d\Phi}{Rdt} = \frac{\pi r^2 dB_1}{R dt} = \frac{\pi r^2}{R} K_\mu \frac{2}{d} \frac{I_1 - I_0}{t_1}$$

Στο κέντρο του κυκλικού αγωγού λόγω του ρεύματος από επαγωγή δημιουργείται μαγνητικό πεδίο με φορά από το χαρτί προς τον αναγνώστη

$$B_2 = K_\mu \frac{2\pi I_{\text{επ}}}{r} = \frac{4\pi^2 K_\mu^2 r (I_1 - I_0)}{Rdt_1} \quad (2)$$

Το πεδίο στο κέντρο του κυκλικού αγωγού θα είναι $B = B_1 - B_2$

$$2. \alpha. \bar{E}_k = \frac{3}{2}KT \quad \bar{E}_k = \frac{1}{2}m\bar{u}^2 \quad \sqrt{\bar{u}^2} = \sqrt{\frac{3KT}{m}} \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{3KTm}}$$

Αφού ο όγκος δεν αλλάζει η απόσταση των ατόμων παραμένει σταθερή.

Από την καταστατική εξίσωση: $P = \frac{nRT}{V}$

$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$, οπότε: $\frac{N}{V} = \frac{P}{KT}$, N ο αριθμός των ατόμων, K η σταθερά Boltzmann.

Υποθέστε ότι τα άτομα είναι κανονικά τοποθετημένα και x η απόσταση μεταξύ τους:

$$\frac{1}{x^3} = \frac{N}{V} = \frac{P}{KT}, \text{ οπότε προκύπτει: } x = 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

Για συμπύκνωση πρέπει $x = \lambda$, δηλαδή $x = \frac{h}{\sqrt{3KTm}}$, από την οποία: $T = \frac{h^2}{x^2 3Km}$ και $T = 6,5$ mK.

$\beta.$ Με την αύξηση της πίεσης συνήθως αυξάνεται και η θερμοκρασία, πράγμα που δεν είναι επιθυμητό. Εξάλλου για να ψύξουμε το αέριο απομακρύνουμε τα γρήγορα άτομα και έτσι η πίεση μειώνεται.

Πειραματικό Μέρος

1. Για το χρονικό διάστημα από 0 s μέχρι 0,4 s ο μαγνήτης παραμένει ακίνητος. Η απόστασή του από τον αισθητήρα θέσης στο διάστημα αυτό είναι σταθερή και ίση με 0,52 m. Από τη στιγμή 0,4 s αρχίζει μια επιταχυνόμενη κίνηση μέχρι περίπου τη χρονική στιγμή 0,6 s.

Στη συνέχεια, η κίνηση είναι ευθύγραμμη ομαλή μέχρι περίπου τη χρονική στιγμή 1,6 s. Η σταθερή ταχύτητα στο διάστημα αυτό είναι η μέγιστη που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του πειράματος και ονομάζεται οριακή ταχύτητα. (Από την κλίση της ευθείας βρίσκουμε ότι $v_{op}=1$ m/s). Τέλος, από τη στιγμή 1,6 s και μετά, ο μαγνήτης σταματάει να κινείται γιατί έχει φτάσει στο δάπεδο (αφρολέξ).

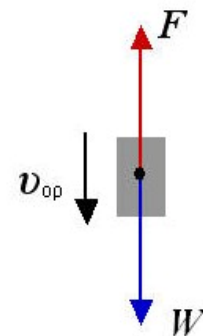
2. Κατά την πτώση του μαγνήτη επάγονται κυκλικά ρεύματα (δινορεύματα) στον χαλκοσωλήνα λόγω μεταβολών της μαγνητικής ροής. Αυτό συμβαίνει ανά πάσα χρονική στιγμή τόσο στο τμήμα του σωλήνα που βρίσκεται αμέσως μπροστά (κάτω) από τον μαγνήτη όσο και σε αυτό που βρίσκεται αμέσως πίσω (πάνω) του. Τα δινορεύματα που έπονται του μαγνήτη θα έχουν αντίθετη φορά από εκείνα που προηγούνται λόγω αντίθετου προσήμου στους ρυθμούς μεταβολής της μαγνητικής ροής πίσω (πάνω) και μπροστά (κάτω) από τον μαγνήτη. Σε κάθε περίπτωση όμως, σύμφωνα με τον νόμο του Lenz, τα δινορεύματα αυτά αντιδρούν στην αιτία που τα προκάλεσε. Έτσι μέσω του μαγνητικού τους πεδίου ασκούν δυνάμεις στον μαγνήτη (**δράσεις**) οι οποίες εμποδίζουν την πτώση του.

Η συνισταμένη όλων αυτών των δυνάμεων είναι μία δύναμη F , η οποία ασκείται στον μαγνήτη, κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω.

Με βάση όμως τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, και ο μαγνήτης ασκεί αντίθετες δυνάμεις στα δινορεύματα ή στον χαλκοσωλήνα μέσα στον οποίο αυτά αναπτύσσονται (αντιδράσεις). Η συνισταμένη όλων αυτών των αντιδράσεων είναι μία δύναμη F' στον χαλκοσωλήνα, κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω. Ανά πάσα χρονική στιγμή ισχύει: $F = -F'$.

3. Όπως αναφέρθηκε και στην απάντηση του προηγούμενου ερωτήματος, κατά την πτώση του μαγνήτη επάγονται δινορεύματα στον χαλκοσωλήνα τα οποία μέσω του μαγνητικού τους πεδίου ασκούν δυνάμεις στον μαγνήτη που εμποδίζουν την πτώση του.

Όσο οι δυνάμεις αυτές έχουν συνισταμένη με μέτρο μικρότερο του βάρους του μαγνήτη, η ταχύτητά του μεγαλώνει (κίνηση επιταχυνόμενη), οι μεταβολές της μαγνητικής ροής γίνονται γενικά γρηγορότερες, αυξάνεται η ένταση των δινορευμάτων και επομένως αυξάνεται και το μέτρο των δυνάμεων που εμποδίζουν την πτώση του. Κάποια στιγμή η συνισταμένη F όλων αυτών των δυνάμεων γίνεται ίση κατά μέτρο με το βάρος W του μαγνήτη. Από τότε και στο εξής ο μαγνήτης δεν μπορεί να επιταχυνθεί άλλο, και η κίνησή του γίνεται με σταθερή οριακή ταχύτητα.



Όταν η ταχύτητα του μαγνήτη είναι οριακή, ισχύει $F=W$.

4. Όταν ο μαγνήτης δεν έχει αρχίσει ακόμα να πέφτει, η δύναμη που καταγράφεται από τον αισθητήρα δύναμης δεν είναι άλλη από το συνολικό βάρος του συστήματος χαλκοσωλήνας - αλουμινένιο πλαίσιο που αναρτάται από αυτόν.

Όταν όμως αρχίσει η πτώση του μαγνήτη την χρονική στιγμή 0,4 s, λόγω των δινορευμάτων που επάγονται στον σωλήνα έχουμε την αλληλεπίδραση μαγνήτη - χαλκοσωλήνα και επομένως μία συνισταμένη δύναμη F' στον σωλήνα από τον μαγνήτη, κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω, η οποία προστίθεται στο βάρος του συστήματος

χαλκοσωλήνας-αλουμινένιο πλαίσιο και προκαλεί αύξηση της τιμής της δύναμης που καταγράφεται από τον αισθητήρα. Έτσι βλέπουμε στο διάγραμμα από τα 0,4s μέχρι τα 0,6s περίπου η τιμή της δύναμης να αυξάνεται.

Στη συνέχεια, κατά το χρονικό διάστημα από 0,6 s περίπου μέχρι 1,6 s κατά το οποίο ο μαγνήτης κινείται με σταθερή οριακή ταχύτητα, η συνισταμένη F' των αντιδράσεων του μαγνήτη στα δινορεύματα (και άρα στο σωλήνα) έχει τιμή σταθερή και ίση με την τιμή του βάρους W του μαγνήτη ($F'=W_{\text{μαγν}}$).

Διότι: $F = -F'$ (Δράση – αντίδραση)

Αλλά: $F = -W_{\text{μαγν}}$ (λόγω οριακής ταχύτητας)

Άρα: $F' = W_{\text{μαγν}}$

Έτσι, για όλο το προαναφερθέν διάστημα, στο βάρος του συστήματος χαλκοσωλήνας-αλουμινένιο πλαίσιο προστίθεται η σταθερή αυτή δύναμη F' που είναι ίση με το βάρος του μαγνήτη.

(Βέβαια, στο διάγραμμα δύναμης – χρόνου η δύναμη δεν σταθεροποιείται αμέσως στην αυξημένη τελική τιμή της, αλλά για λίγο (0,6s έως 1s) κυμαίνεται ελαφρώς λόγω της μεταλλικής λάμας του αισθητήρα δύναμης που λειτουργεί ως ελατήριο).

5. Με βάση τα αναφερθέντα στην προηγούμενη απάντηση, για να υπολογίσουμε το βάρος W του μαγνήτη, αφαιρούμε από την τελική σταθεροποιημένη τιμή της δύναμης στη διάρκεια της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης, την αρχική της τιμή. Έτσι έχουμε:

$$W_{\text{μαγν}} = 16 \text{ N} - 14,7 \text{ N} = 1,3 \text{ N}.$$