

ΦΥΣ 112

Τελική Εξέταση: 12-Δεκεμβρίου-2022

Πριν αρχίσετε συμπληρώστε τα στοιχεία σας (ονοματεπώνυμο και αριθμό ταυτότητας).

Ονοματεπώνυμο	Αριθμός Ταυτότητας
---------------	--------------------

Απενεργοποιήστε τα κινητά σας.

Το δοκίμιο περιέχει 30 ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών (2.5 μονάδες/ερώτηση) και 3 προβλήματα που θα πρέπει να λύσετε αναλυτικά (35 μονάδες/άσκηση). Η μέγιστη συνολική βαθμολογία της εξέτασης είναι 180 μονάδες.

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΣΤΕ ΜΟΝΟ ΤΙΣ ΣΕΛΙΔΕΣ ΠΟΥ ΣΑΣ ΔΙΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΜΗΝ ΚΟΨΕΤΕ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΣΕΛΙΔΑ

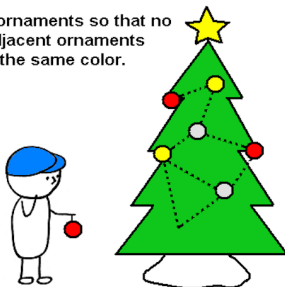
Η διάρκεια της εξέτασης είναι 4-ώρες. Καλή Επιτυχία !



Καλές Γιορτές

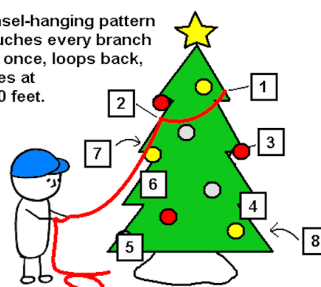
Gold, silver, and red Christmas tree ornaments.

Hang ornaments so that no two adjacent ornaments share the same color.



30 feet of tinsel.

Find tinsel-hanging pattern that touches every branch exactly once, loops back, and uses at most 30 feet.



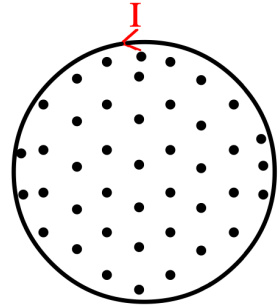
Nailed it.



Ερωτήσεις Πολλαπλών Επιλογών – Σύνολο 75 μονάδες – 2.5 μονάδες/ερώτηση

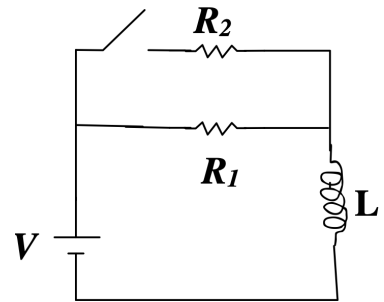
1. Το ρεύμα που διαρρέει ένα σωληνοειδές απείρου μήκους αυξάνει γραμμικά συναρτήσει του χρόνου στη διεύθυνση που φαίνεται στο διπλανό σχήμα το οποίο δείχνει μια διατομή του πηνίου καθώς και τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Το **ηλεκτρικό πεδίο** στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι:

- (Α) στη μορφή κύκλων με φορά αντίθετη αυτής των δεικτών του ρολογιού και με κέντρα στον άξονα του σωληνοειδούς.
(**Β**) στη μορφή κύκλων με φορά ίδιας με αυτή των δεικτών του ρολογιού και με κέντρα στον άξονα του σωληνοειδούς.
(Γ) παράλληλο προς τον άξονα του σωληνοειδούς.
(Δ) στην ακτινική διεύθυνση και από τον άξονα προς το εξωτερικό του σωληνοειδούς.
(Ε) δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του σωληνοειδούς.



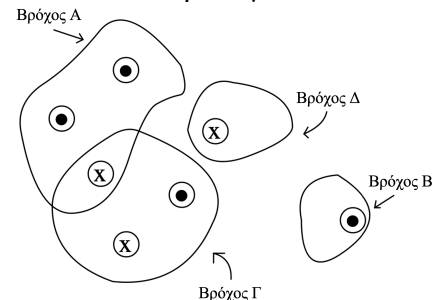
2. Ο διακόπτης στο κύκλωμα του σχήματος είναι ανοικτός για πολύ μεγάλο διάστημα. Ποιο το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη R_2 ακριβώς τη στιγμή μετά το κλείσιμο του διακόπτη;

- (Α) V/R_1 .
(Β) $V[\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}]$.
(**Γ**) $V/(R_1 + R_2)$.
(Δ) V/R_2 .
(Ε) 0.



3. Θεωρήστε 4 ευθύγραμμους αγωγούς απείρου μήκους που διαρρέονται από ρεύματα σταθερής έντασης ίδιου μέτρου και διεύθυνσης είτε προς το εσωτερικό ή το εξωτερικό της σελίδας, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ταξινομήστε κατά φθίνουσα σειρά το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα του μαγνητικού πεδίου $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ υπολογισμένο κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού:

- (Α) $A > \Gamma > B > \Delta$.
(Β) $\Delta > B > \Gamma > A$.
(Γ) $A = \Gamma > B = \Delta$.
(Δ) $A = B > \Gamma = \Delta$.
(**Ε**) $\Gamma = \Delta > A = B$.



4. Το παρακάτω σχήμα δείχνει έναν ανοικτό βρόχο από αγωγίμο σύρμα που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Δεν υπάρχουν φορτισμένα σωματίδια κοντά στον βρόχο. Φορτίο έχει συσσωρευτεί στο διάκενο του βρόχου με πολικότητα όπως φαίνεται στο σχήμα. Με βάση τη συγκεκριμένη κατάσταση, συμπεραίνουμε ότι:

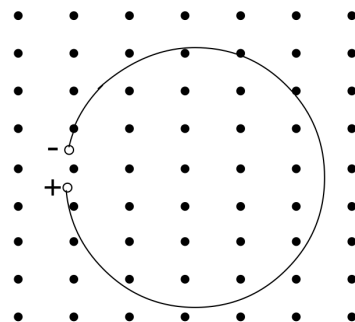
(Α) Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι σταθερή.

☒ (Β) Η ένταση του μαγνητικού πεδίου αυξάνει.

(Γ) Η ένταση του μαγνητικού πεδίου ελαττώνεται.

(Δ) Δεν μπορεί να υπάρξει συσσώρευση φορτίου στο διάκενο του βρόχου γιατί δεν είναι κλειστός βρόχος.

(Ε) Χρειάζεται περισσότερη πληροφορία για να απαντηθεί η ερώτηση.



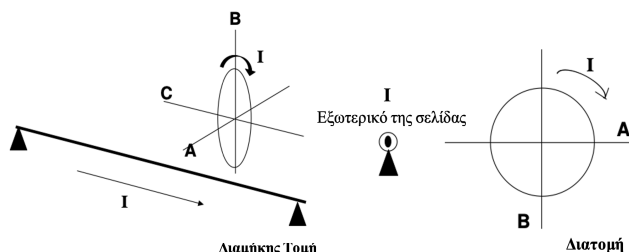
5. Ένας βρόχος από αγωγίμο υλικό διαρρέεται από ρεύμα I με φορά ίδια με αυτή των δεικτών του ρολογιού. Ένας πολύ μακρύς ευθύγραμμος αγωγός που διαρρέεται επίσης από ρεύμα I , περνά κοντά από τον βρόχο όπως φαίνεται στο σχήμα. Ποια είναι η διεύθυνση της ροπής που θα ασκηθεί στον βρόχο;

☒ (Α) Η συνισταμένη ροπή που ασκείται στον βρόχο έχει διεύθυνση στον A -άξονα.

(Β) Η συνισταμένη ροπή που ασκείται στον βρόχο είναι ως προς τον B -άξονα.

(Γ) Η συνισταμένη ροπή στον βρόχο έχει διεύθυνση στον C -άξονα.

(Δ) Η συνισταμένη ροπή που ασκείται στον βρόχο είναι μηδέν.



6. Δύο φορτία $+4Q$ και $-Q$ είναι τοποθετημένα όπως στο σχήμα. Το συνιστάμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι μηδέν ποιο κοντά στο σημείο:

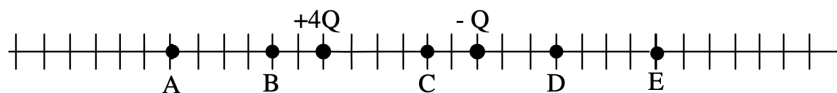
(Α) Α.

(Β) Β.

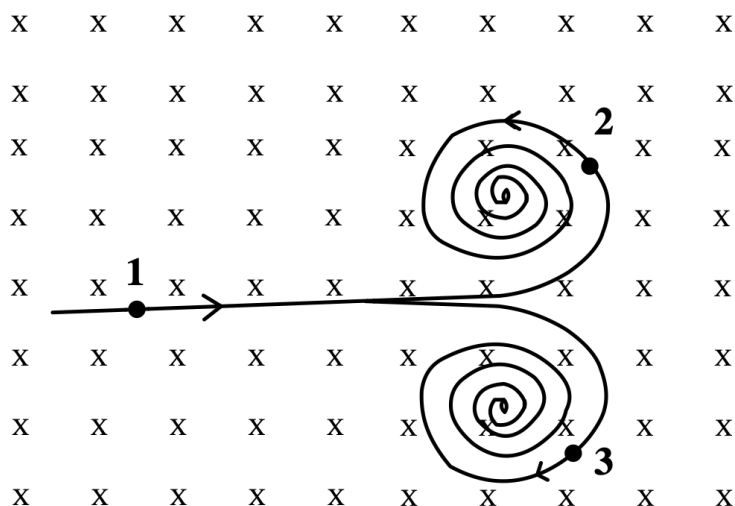
(Γ) Γ.

(Δ) Δ.

☒ (Ε) Ε.



7. Ένα ουδέτερο φορτισμένο σωματίδιο (με την ένδειξη 1) κινείται με σταθερή ταχύτητα σε μια περιοχή σταθερού ομογενούς μαγνητικού πεδίου, η διεύθυνση του οποίου είναι στην διεύθυνση προς το εσωτερικό της σελίδας όπως φαίνεται στο σχήμα. Κάποια χρονική στιγμή το σωματίδιο 1 διασπάται σε δύο διαφορετικά σωματίδια με την ένδειξη 2 και 3. Τα δύο παραγόμενα σωματίδια κινούνται με τροχιές όπως φαίνεται στο σχήμα και αρχικά έχουν την ίδια ακτίνα καμπυλότητας. Ποια/α από τις παρακάτω δηλώσεις είναι αληθής/εις;



- (I) Το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 2 είναι μεγαλύτερο από το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 3.
 (II) Το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 2 είναι ίδιο με το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 3.
 (III) Το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 2 είναι μικρότερο από το μέτρο της ορμής του σωματιδίου 3.
 (IV) Το σωματίδιο 2 έχει αρνητικό φορτίο και το σωματίδιο 3 έχει θετικό φορτίο.
 (V) Το σωματίδιο 2 έχει θετικό φορτίο και το σωματίδιο 3 έχει αρνητικό φορτίο.
 (VI) Η ταχύτητα του σωματιδίου 2 αυξάνει.
 (VII) Η ταχύτητα του σωματιδίου 2 ελαττώνεται.
 (A) Μόνο το I, IV, και VI είναι σωστά.
 (B) Μόνο τα II, IV, και VII είναι σωστά.
 (Γ) Μόνο τα II, V, και VII είναι σωστά.
 (Δ) Μόνο τα I, V, και VI είναι σωστά.
 (E) Μόνο τα I, V, και VII είναι σωστά.

8. Ένα σωληνοειδές έχει αυτεπαγωγή L_0 . Ένα δεύτερο πηνίο είναι πανομοιότυπο με το πρώτο εκτός από το γεγονός ότι οι γεωμετρικές του διαστάσεις είναι μεγαλύτερες κατά έναν παράγοντα 2 ενώ ο συνολικός αριθμός των σπειρών είναι ο ίδιος. Ποιος είναι ο λόγος της αυτεπαγωγής, L_1 , του δεύτερου σωληνοειδούς ως προς την αυτεπαγωγή του πρώτου, L_1/L_0 :

(A) 4.
(B) 2.
(Γ) 1
(Δ) 1/2.
(E) 1/4.

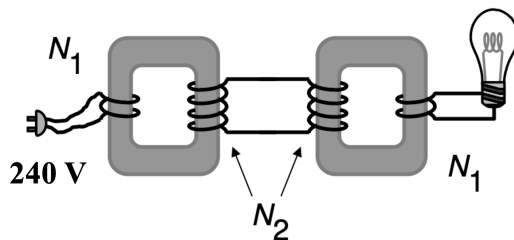
9. Ποια από τα παρακάτω μεγέθη αν διπλασιαστούν, τετραπλασιάζουν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε ένα σωληνοειδές;

(I) Το ρεύμα.
(II) Το μήκος.
(III) Η ακτίνα.
(IV) Ο αριθμός των σπειρών ανά μονάδα μήκους.

(A) Μόνο το I και το II.
(B) Μόνο το I και το III
(Γ) Μόνο το I, II και III.
(Δ) Μόνο το I, III και IV.
(E) Και τα 4 μεγέθη.

10. Δύο μετασχηματιστές είναι τοποθετημένοι όπως στο σχήμα και το καλώδιο τροφοδοσίας είναι στην πρίζα των 240V. Ο αριθμός των σπειρών N_2 , είναι διπλάσιος από τον αριθμό των σπειρών N_1 . Αν ρεύμα 1A διαρρέει το ενδιάμεσο σύρμα (το σύρμα που περιέχει N_2 σπείρες) ποιο είναι το ρεύμα που διαρρέει τον λαμπτήρα;

(A) 1/4 A.
(B) 1/2 A.
(Γ) 1 A.
(Δ) 2 A.
(E) 4 A.

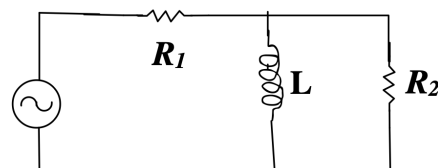


11. Οι ακροδέκτες μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος γωνιακής συχνότητας ω και πλάτους τάσης V_p είναι συνδεδεμένοι με έναν πυκνωτή χωρητικότητας C και εμπέδισης $X_C = 1/C\omega$. Ποια είναι η μέση ισχύς, $\langle P \rangle$, που καταναλώνεται στον πυκνωτή;

- (A) $\langle P \rangle = 0$
 (B) $\langle P \rangle = V^2/(\sqrt{2}X_C)$
 (Γ) $\langle P \rangle = V^2/(2X_C)$
 (Δ) $\langle P \rangle = V^2/(X_C)$
 (E) $\langle P \rangle = 2V^2/(X_C)$

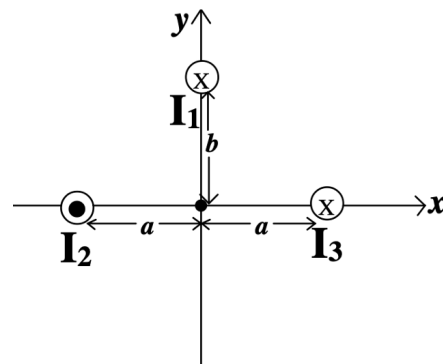
12. Δύο αντιστάτες και ένα πηνίο συνδέονται με πηγή εναλλασσόμενης τάσης όπως στο σχήμα. Καθώς η συχνότητα της AC τάσης αυξάνει, το *rms* ρεύμα στον αντιστάτη R_2 :

- (A) Αυξάνει.
 (B) Παραμένει ίδιο.
 (Γ) Ελαττώνεται.

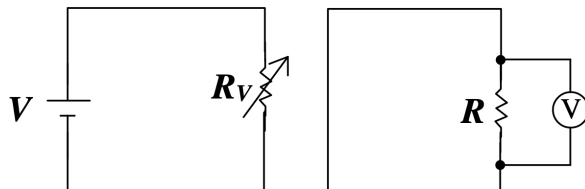


13. Τρεις ευθύγραμμοι αγωγοί απείρου μήκους διαρρέονται από σταθερό ρεύμα, ίδιας έντασης και με διευθύνσεις όπως στο σχήμα. Ποιο από τα διανύσματα αντιπροσωπεύει καλύτερα τη διεύθυνση της δύναμης που ασκείται στον αγωγό που βρίσκεται στη θέση $(x = 0, y = b)$;

- (A) \downarrow
 (B) \uparrow
 (Γ) \leftarrow
 (Δ) \rightarrow
 (E) 0



14. Το αριστερό κύκλωμα του σχήματος περιέχει μια μπαταρία τάσης V και έναν αντιστάτη R_V μεταβαλλόμενης αντίστασης. Το κύκλωμα στα δεξιά περιέχει έναν αντιστάτη R και ένα ιδανικό βολτόμετρο που συνδέεται στα άκρα του αντιστάτη. Καθώς η αντίσταση του μεταβλητού αντιστάτη R_V μεταβάλλεται γραμμικά με τον χρόνο, το βολτόμετρο μετρά:



- (Α) μη μηδενική και σταθερή διαφορά δυναμικού.
 (Β) μη μηδενική και αυξανόμενη διαφορά δυναμικού.
 (Γ) μη μηδενική και μειωνόμενη διαφορά δυναμικού.
 (Δ) μηδενική διαφορά δυναμική.
15. Η συχνότητα ενός LC ταλαντωτή (ένας πλήρως φορτισμένος πυκνωτής συνδεδεμένος σε σειρά με πηνίο) είναι ω_0 . Οι οπλισμοί του παράλληλου πυκνωτή απομακρύνονται σε απόσταση διπλάσια της αρχικής και ανάμεσα στους οπλισμούς τοποθετείται ένα διηλεκτρικό υλικό ($\kappa > 1$). Ποια είναι η νέα ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος;

(Α) $\frac{2}{\kappa} \omega_0$.

(Β) $\sqrt{\frac{2}{\kappa}} \omega_0$.

(Γ) $\sqrt{\frac{\kappa}{2}} \omega_0$

(Δ) $\frac{\kappa}{2} \omega_0$

16. Όταν ο διακόπτης κλείσει, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R είναι:

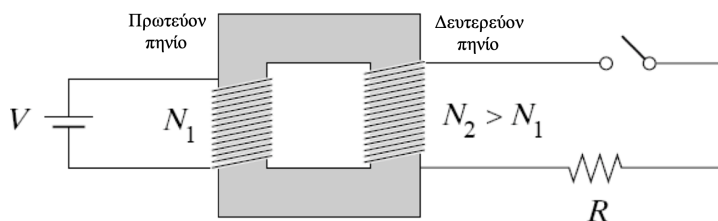
(Α) $V N_2 / N_1$.

(Β) $V N_1 / N_2$.

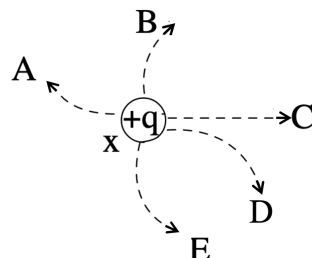
(Γ) V .

(Δ) 0.

(Ε) Δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες.



17. Τρεις μικρές σφαίρες x , y , και z είναι φορτισμένες με φορτία ίδιου μεγέθους και με πρόσημο όπως φαίνεται στο σχήμα. Οι σφαίρες τοποθετούνται στις κορυφές ενός ισοσκελούς τριγώνου με την απόσταση ανάμεσα στις σφαίρες x και y να ισούται με την απόσταση ανάμεσα στις σφαίρες x και z . Οι σφαίρες y και z κρατιούνται στη θέση ενός η x -σφαίρα είναι ελεύθερη να κινηθεί σε λεία επιφάνεια. Ποια από τις διαδρομές A, B, C, D ή E θα ακολουθήσει η x -σφαίρα όταν αφεθεί ελεύθερη να κινηθεί;

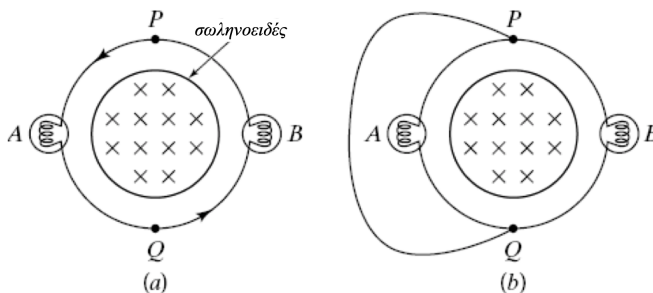


- (A) A
(B) B
(Γ) C
(Δ) D
(E) E

$+q$
y

$-q$
z

18. Στο σχήμα (α) παρακάτω, ένα σωληνοειδές παράγει ένα μαγνητικό πεδίο η ένταση του οποίου αυξάνει προς το εσωτερικό της σελίδας. Μια επαγόμενη ΗΕΔ αναπτύσσεται σε έναν αγωγίμο βρόχο που περιβάλλει το σωληνοειδές και αυτή η επαγόμενη ΗΕΔ μπορεί να φωτοβολήσει τους λαμπτήρες A και B. Στο σχήμα (β), τα σημεία P και Q βραχυκυκλώνονται. Μετά από το βραχυκύκλωμα αυτό:



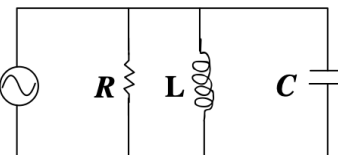
- (A) Ο λαμπτήρας A σβήνει και ο λαμπτήρας B φωτοβολεί περισσότερο.
(B) Ο λαμπτήρας B σβήνει και ο λαμπτήρας A φωτοβολεί περισσότερο.
(Γ) Ο λαμπτήρας A σβήνει και ο λαμπτήρας B φωτοβολεί λιγότερο.
(Δ) Ο λαμπτήρας B σβήνει και ο λαμπτήρας A φωτοβολεί λιγότερο.
(E) Οι δύο λαμπτήρες σβήνουν.

19. Θεωρήστε το παρακάτω κύκλωμα. Ένας αντιστάτης αντίστασης R , ένα πηνίο αυτεπαγωγής L και ένας πυκνωτής χωρητικότητας C σε παράλληλη συνδεσμολογία στα άκρα μια πηγής εναλλασσόμενης τάσης. Ποιο/α από τα παρακάτω είναι αληθές/ή;

(I) Το άθροισμα των στιγμιαίων ρευμάτων που

διαρρέουν κάθε στοιχείο του κυκλώματος ισούται $V_P \sin(\omega t)$

με το στιγμιαίο ρεύμα που παρέχει η πηγή.



(II) Το άθροισμα των στιγμιαίων διαφορών δυναμικού στα άκρα του κάθε στοιχείου του κυκλώματος ισούται με τη στιγμιαία διαφορά δυναμικού στα άκρα της πηγής.

(III) Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της χωρητικής αντίστασης έχει διαφορά φάσης 90° με την διαφορά δυναμικού στα άκρα του αντιστάτη.

(IV) Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της χωρητικής αντίστασης έχει διαφορά φάσης 180° με την διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου.

(V) Όλη η ενέργεια καταναλώνεται στον αντιστάτη.

☒ (A) Μόνο τα (I) και (V) είναι σωστά.

(B) Μόνο τα (II) και (V) είναι σωστά.

(Γ) Μόνο τα (I), (III) και (V) είναι σωστά.

(Δ) Μόνο τα (I) και (IV) και (V) είναι σωστά.

(E) Μόνο τα (II) και (IV) και (V) είναι σωστά.

20. Ποια από τις κατανομές φορτίου του σχήματος δίνει **μη-μηδενικό ηλεκτρικό πεδίο και μη μηδενική διαφορά δυναμικού** στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων, αν το δυναμικό ορίζεται να είναι μηδέν για ένα σημείο πολύ μακριά από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων. Σημείωση: όλες οι κατανομές ημικυκλίου ή τεταρτημορίου, έχουν την ίδια ακτίνα όπως ο πλήρης κύκλος του (A) και όλα έχουν κέντρο στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων.

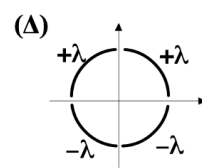
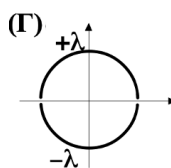
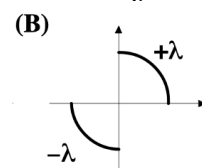
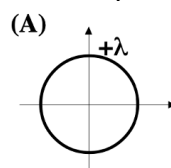
(A) A.

(B) B.

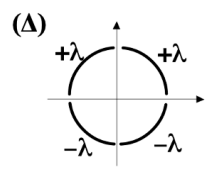
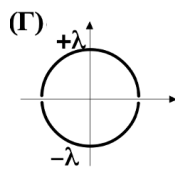
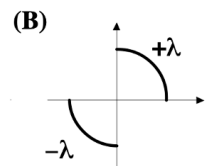
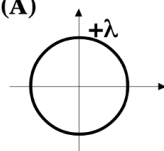
(Γ) Γ.

(Δ) Δ.

☒ (E) Καμία κατανομή δεν ικανοποιεί τα κριτήρια.



21. Ποια από τις κατανομές φορτίου του σχήματος δίνει **μηδενικό ηλεκτρικό πεδίο** και **μη μηδενική διαφορά δυναμικού** στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων, αν το δυναμικό ορίζεται να είναι μηδέν για ένα σημείο πολύ μακριά από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων. Σημείωση: όλες οι κατανομές ημικυκλίου ή τεταρτημορίου, έχουν την ίδια ακτίνα όπως ο πλήρης κύκλος του (Α) και όλα (Α) έχουν κέντρο στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων;



- (A) A.
(B) B.
(Γ) Γ.
(Δ) Δ.
(E) Καμία κατανομή δεν ικανοποιεί τα κριτήρια.

22. Ένα ηλεκτρικό δίπολο \vec{p} τοποθετείται σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} , όπως στο σχήμα.

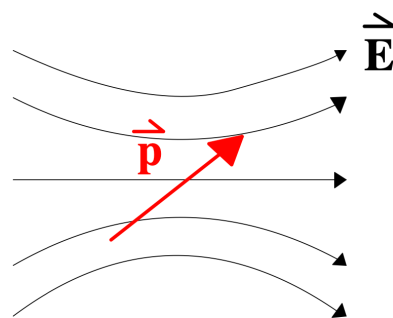
Ποια από τις παρακάτω δηλώσεις είναι αληθής;

(A) Στο ηλεκτρικό δίπολο ασκείται μη μηδενική συνισταμένη δύναμη αλλά μηδενική συνισταμένη ροπή.

(B) Στο ηλεκτρικό δίπολο ασκείται μη μηδενική συνισταμένη ροπή αλλά μηδενική συνισταμένη δύναμη.

(Γ) Στο ηλεκτρικό δίπολο ασκείται μη μηδενική συνισταμένη δύναμη και μη μηδενική συνισταμένη ροπή.

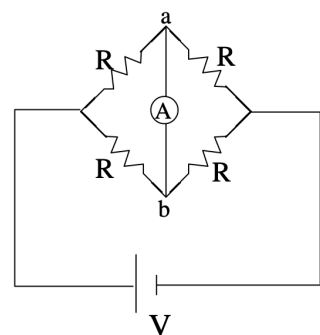
(Δ) Στο ηλεκτρικό δίπολο ασκείται μηδενική συνισταμένη δύναμη και μηδενική συνισταμένη ροπή.



23. Ένα ιδανικό αμπερόμετρο A, συνδέεται μεταξύ των σημείων a και b στο κύκλωμα του σχήματος. Όλοι οι αντιστάτες έχουν την ίδια αντίσταση. Το ρεύμα που διαρρέει το αμπερόμετρο είναι:

- (A) I .
(B) $I/2$.
(Γ) $I/4$.

(Δ) 0.



24. Ένα αρνητικό φορτίο $-q$, κινείται παράλληλα προς ένα πολύ μακρύ ευθύγραμμο σύρμα που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα έντασης I , όπως φαίνεται στο σχήμα. Ποιο από τα διανύσματα περιγράφει καλύτερα τη διεύθυνση της δύναμης που ασκείται στο φορτίο;

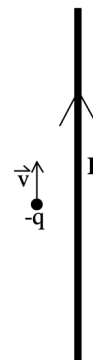
(Α) \otimes (προς το εσωτερικό της σελίδας).

(Β) \leftarrow

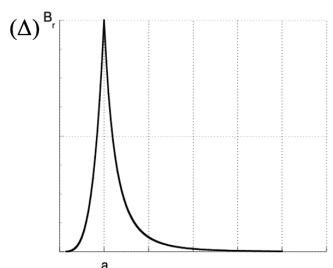
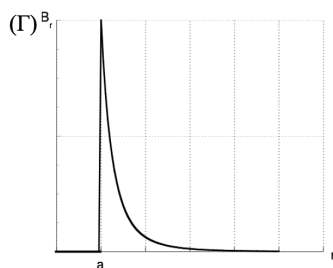
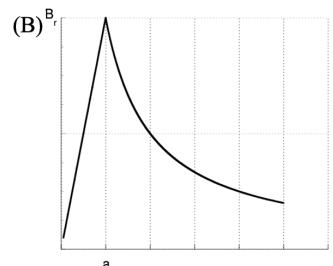
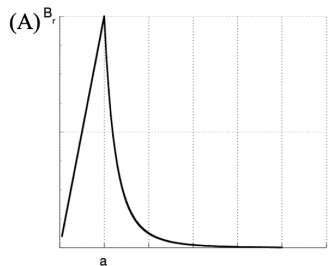
(Γ) \rightarrow

(Δ) \odot (προς το εξωτερικό της σελίδας).

(Ε) 0



25. Ένα καλώδιο ακτίνας a διαρρέεται από ρεύμα I το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα στο εσωτερικό του. Ποιο από τα (Α) B_r (Β) B_r γραφήματα του παρακάτω σχήματος αντιπροσωπεύει καλύτερα την ένταση του μαγνητικού πεδίου συναρτήσει της απόστασης r , από το κέντρο του καλωδίου;



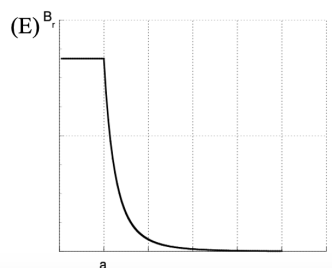
(Α) Α.

(Β) Β.

(Γ) Γ.

(Δ) Δ.

(Ε) Ε.



26. Ένας θετικά φορτισμένος δίσκος περιστρέφεται σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού όπως στο παρακάτω σχήμα. Ποια είναι η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου στο σημείο Α που βρίσκεται στο επίπεδο του δίσκου;

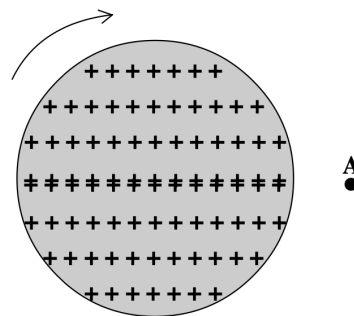
(Α) \otimes (προς το εσωτερικό της σελίδας).

(Β) \leftarrow

(Γ) \rightarrow

☒ (Δ) \odot (προς το εξωτερικό της σελίδας).

(Ε) 0.



27. Ένα μεταλλικό ελατήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σωληνοειδές. Το ελατήριο επιμηκώνεται ελαφριά και ηλεκτρικό ρεύμα αρχίζει να το διαρρέει. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται θα προκαλέσει:

☒ (Α) Το ελατήριο να συσπειρωθεί.

(Β) Το ελατήριο να επιμηκυνθεί περισσότερο.

(Γ) Δεν υπάρξει καμιά αλλαγή γιατί δεν συμβαίνει οτιδήποτε.

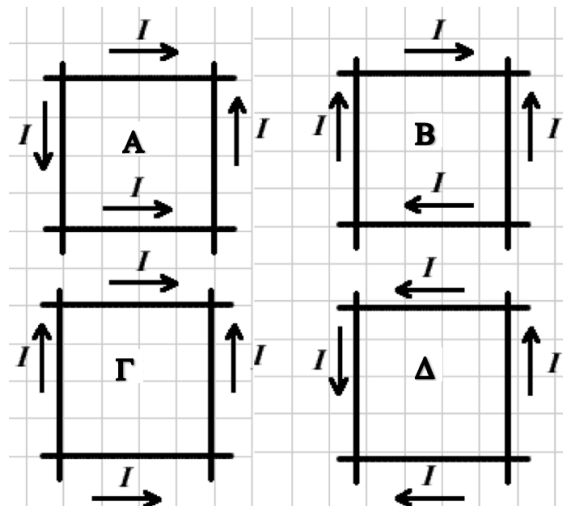
28. Το σχήμα δείχνει 4 διαφορετικούς προσανατολισμούς ευθύγραμμων αγωγών απείρου μήκους που διασταυρώνονται χωρίς ωστόσο να ακουμπούν μεταξύ τους. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς είναι η ίδια για όλες τις περιπτώσεις και οι διευθύνσεις των ρευμάτων είναι όπως στο σχήμα. Για ποια από τις 4 καταστάσεις το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο του τετραγώνου θα είναι μηδέν;

(Α) Α.

(Β) Β.

☒ (Γ) Γ.

(Δ) Δ.



29. Αν το μαγνητικό πεδίο σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι στην θετική x -διεύθυνση και το ηλεκτρικό πεδίο στη θετική y -διεύθυνση, τότε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα οδεύει

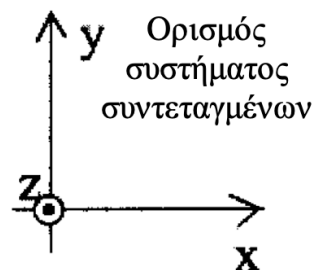
(A) στο x - y επίπεδο.

(B) στη x -διεύθυνση.

(Γ) στην αρνητική z -διεύθυνση.

(Δ) στην θετική z -διεύθυνση.

(E) στη διεύθυνση της διχοτόμου της γωνίας του x και y -άξονα.



30. Ποιο από τα ακόλουθα επικαμπύλια ολοκληρώματα είναι σωστό; Οι διευθύνσεις των προσανατολισμών των βρόχων φαίνονται στο σχήμα.

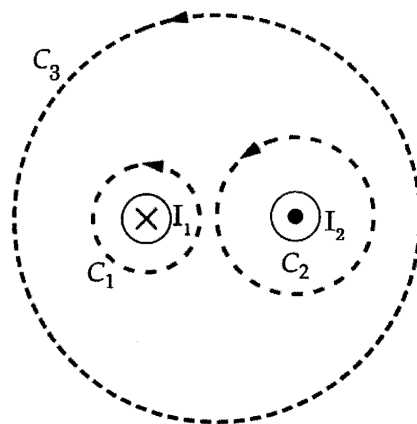
(A) $\oint_{C_1} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_1$

(B) $\oint_{C_2} \vec{B} \cdot d\vec{l} = -\mu_0 I_2$

(Γ) $\oint_{C_1} \vec{B} \cdot d\vec{l} = -\mu_0 I_2$

(Δ) $\oint_{C_3} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_2 - I_1)$

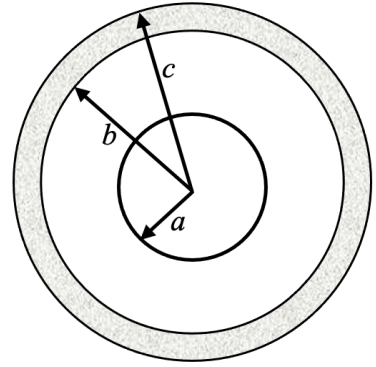
(E) $\oint_{C_3} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_1 - I_2)$



Μέρος Β – Αναλυτικά προβλήματα – Σύνολο 105 μονάδες

Άσκηση 1 [35μ]

Ένας μη αγώγιμος σφαιρικός φλοιός ακτίνας a και αμελητέου πάχους είναι τοποθετημένος έτσι ώστε το κέντρο του να συμπίπτει με την αρχή του συστήματος συντεταγμένων. Ο φλοιός είναι φορτισμένος με θετικό φορτίο $+3Q$ το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνειά του. Ένας δεύτερος σφαιρικός φλοιός έχει εσωτερική ακτίνα b μεγαλύτερη από την ακτίνα του πρώτου φλοιού και εξωτερική ακτίνα c . Ο δεύτερος αυτός σφαιρικός φλοιός είναι ομόκεντρος του πρώτου φλοιού και είναι κατασκευασμένος από αγώγιμο υλικό και έχει μηδενικό φορτίο. Η συντεταγμένη r μετρά την απόσταση από την αρχή του συστήματος συντεταγμένων.



(Α) Προσδιορίστε το ηλεκτρικό πεδίο, $\vec{E}(r)$, για όλες τις τιμές του r . Σχεδιάστε το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου, $|\vec{E}(r)|$, συναρτήσει της απόστασης r . [10μ]

(Β) Θεωρήστε ότι το ηλεκτροστατικό δυναμικό, $V(r)$, μηδενίζεται στο άπειρο. Προσδιορίστε το ηλεκτροστατικό δυναμικό για όλες τις τιμές του r . Σχεδιάστε το ηλεκτροστατικό δυναμικό συναρτήσει της απόστασης r . [10μ]

(Γ) Προσδιορίστε την ολική ηλεκτροστατική ενέργεια, U_E , που περιέχεται στο ηλεκτροστατικό πεδίο για όλες τις τιμές του r . [15μ]



(α) Υπολογισμός του $\vec{E}(r)$ για όλα τα r .

Για $r < a$ $\vec{E} = \vec{0}$ σύμφωνα με τον νόμο του Γκαους, η καθαρή

φορτίου είναι σφαιρικά συμμετρική και $Q_{\text{περ}} = 0$ στο εσωτερικό του 1^{ου} σφαιρικού φλοιού.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 4\pi r^2 E = 0 \Rightarrow E = 0.$$

Για $a < r < b$:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 4\pi r^2 E_r = \frac{Q_{\text{περ}}}{\epsilon_0} = \frac{3Q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow \left[\text{Για } a < r < b \quad \vec{E}_r = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \right]$$

Το πεδίο είναι παντού ακανόνιστο προς τα έξω

$$\left[\text{Για } b < r < c: \quad \vec{E} = \vec{0} \right]$$

Η περιοχή αυτή είναι μέσα σε αμυγό στο εσωτερικό του οποίου το ηλεκτρικό πεδίο είναι 0.

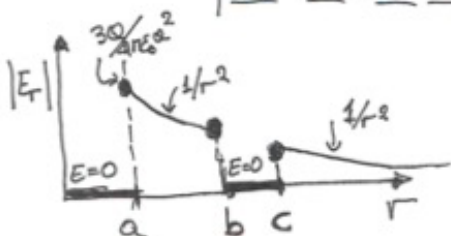
Για $r > c$, το συνολικό φορτίο που περιβάλλεται στην σφαιρική Γαουssiana σφαιρικός είναι:

ίσο με $3Q$ αφού το συνολικό φορτίο στον αμυγό είναι 0.

Επομένως

$$\left[\vec{E} = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \text{ για } r > c \right]$$

Να σημειωθεί ότι ο αμυγός θα πρέπει να έχει φορτίο $-3Q$ στο εσωτερικό του εσφαιρικού και φορτίο $+3Q$ στη σφαιρική του.



(β) Προσδιορισμός του δυναμικού $V(r)$ για όλα τα r .

Είναι ευκολότερο να ξεκινήσουμε με μεγάλες τιμές του r και να συνεχίσουμε με μικρές τιμές. Έχουμε από μια σφαιρικά συμμετρική κατανομή φορτίου, \vec{E} και V είναι ίδια με αυτές ενός σημειακού φορτίου Q στο κέντρο:

$$\left[V(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ για } r > c \right]$$

Στο εσωτερικό του αγωγού, $\vec{E} = \vec{0}$ και $\Delta V = 0$, δηλαδή η αλληλεπίδραση δυναμικό είναι μηδέν.

$$V(r=c) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 c} \text{ και αυτό είναι το δυναμικό για οποιοδήποτε ραβδί στο εσωτερικό}$$

του αγωγού, αφού στο εσωτερικό ενός αγωγού $V = \text{const}$.

Επομένως:
$$V(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 c} \text{ για } b < r < c$$

Για $a < r < b$, μπορούμε να προσδιορίσουμε το δυναμικό $V(r)$, με το να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικών ΔV και να προσδίδουμε το δυναμικό στη θέση $r=b$, που είναι $V(r=b) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 c}$.

Αλλά $\Delta V = - \int_r^b \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \Rightarrow \Delta V = + \int_r^b \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr$ Το πρόσημο γίνεται + επειδή \vec{E} και $d\vec{\ell}$ είναι αντιστραφείνως
 $\vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -E dr$

Επομένως: $\Delta V = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} \right) \Big|_r^b \Rightarrow \Delta V = - \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{r} \right) \Rightarrow \Delta V = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b} \right)$

Ελέγχουμε το πρόσημο: Το δυναμικό V θα πρέπει να αυξάνει καθώς κινούμαστε από το b στο r , εφόσον κινούμαστε αντίθετα με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, \vec{E} . Η δυναμική ενέργεια ενός δοκιμίου φορτίου επομένως αυξάνει. Η διαφορά δυναμικών που βρήκαμε παραπάνω είναι θετική εφόσον $b > r$.

Προσδίδουμε τώρα το δυναμικό στη θέση $r=b$ και θα έχουμε:

$$a < r < b \quad V(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 c} + \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r} - \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 b} \Rightarrow \boxed{\text{Για } a < r < b \quad V(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{c} - \frac{1}{b} \right)}$$

Με διαφορετικές λίες θα ήταν να βρούμε το δυναμικό στο $r=b$.

$$V(a < r < b) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r} + k \text{ με } k = \text{const.}$$

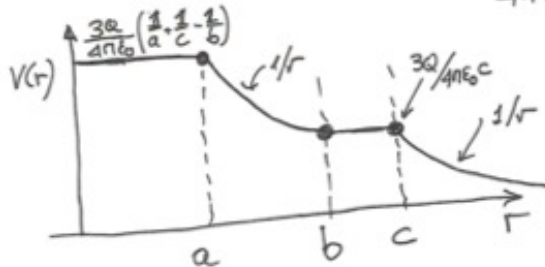
Ξέρουμε ακόμα ότι $V(r)$ είναι συνεχές και επομένως: $V(r=b) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 b} + k = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 c}$

οπότε βρίσκουμε ως προς $k = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{b} \right)$

Επομένως για $a < r < c$ $V(r) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{b} \right)$ που συμφωνεί με το προηγούμενο αποτέλεσμα.

Για $r < a$, $\vec{E} = \vec{0}$ και επομένως $\Delta V = 0$.

Άρα: $V(r < a) = V(r = a) = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{c} - \frac{1}{b} \right)$



(Γ) Η ηλεκτροστατική ενέργεια του πεδίου, βρίσκεται ολοκληρώνοντας την πυκνότητα ενέργειας $u_E(r)$ σε περιοχές που το πεδίο δεν είναι μηδέν, $a \rightarrow b$, και $c \rightarrow \infty$.

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left(\frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right)^2 \Rightarrow u_E = \frac{1}{2} \frac{9Q^2}{16\pi^2 \epsilon_0^2 r^4} \Rightarrow \boxed{u_E = \frac{9Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0 r^4}}$$

Θεωρούμε την περιοχή μεταξύ a και b :

$$U_1 = \int_a^b u_E dV = \frac{9Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0} \int_a^b \frac{4\pi r^2 dr}{r^4} = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \int_a^b \frac{dr}{r^2} = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} \Big|_a^b \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{U_1 = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)}$$

Για την περιοχή από c έως ∞ , το ολοκλήρωμα είναι ίδιο εφόσον από τα όρια:

$$U_2 = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} \Big|_c^\infty \right) \Rightarrow U_2 = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{\infty} \right) \Rightarrow \boxed{U_2 = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0 c}}$$

Επομένως η ολική ενέργεια θα είναι:

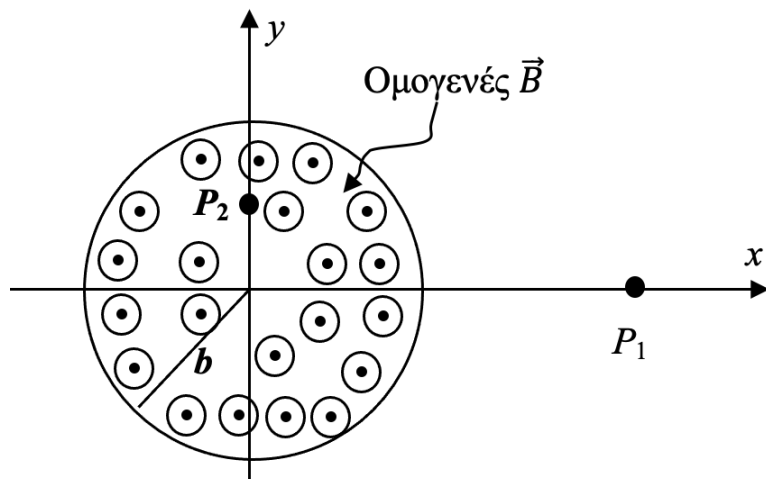
$$\boxed{U = U_1 + U_2 = \frac{9Q^2}{8\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{c} - \frac{1}{b} \right)}$$

Άσκηση 2 [35μ]

Μία κυλινδρική περιοχή στο χώρο περιέχει ομογενές μαγνητικό πεδίο \vec{B} το οποίο έχει διεύθυνση προς το εξωτερικό της σελίδας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η συντεταγμένη r μετρά αποστάσεις από τον άξονα της κυλινδρικής περιοχής. Για την άσκηση θα αγνοήσουμε φαινόμενα που σχετίζονται με μη ομοιόμορφα μαγνητικά πεδία που εμφανίζονται στις συννοριακές περιοχές της κυλινδρικής περιοχής. Θεωρούμε δηλαδή ότι το μαγνητικό πεδίο μηδενίζεται όταν $r = b$. Παρόλο που το μαγνητικό πεδίο είναι ομογενές στο χώρο, το μέτρο του αυξάνει με σταθερό ρυθμό $\frac{d|\vec{B}|}{dt} = a$.

(Α) Προσδιορίστε το ηλεκτρικό πεδίο, \vec{E} , που δημιουργείται από το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, παντού στο χώρο. Θα πρέπει να προσδιορίσετε τη διεύθυνση και το μέτρο του πεδίου. Σχεδιάστε το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου, $|\vec{E}(r)|$ συναρτήσει της απόστασης r . [10μ]

(Β) Προσδιορίστε την επιτάχυνση που αποκτά (αν αποκτά) ένα ηλεκτρόνιο όταν αφεθεί από την ηρεμία στο σημείο P_1 ($x = 2b$, $y = 0$), ακριβώς μετά τη στιγμή που το αφήνουμε ελεύθερο να κινηθεί; Ποια η επιτάχυνση που αποκτά το ηλεκτρόνιο (αν αποκτά) αν αφεθεί να κινηθεί από το σημείο P_2 με συντεταγμένες ($x = b/2$, $y = 0$) ακριβώς μετά τη στιγμή που αφήνεται ελεύθερο; [5μ]

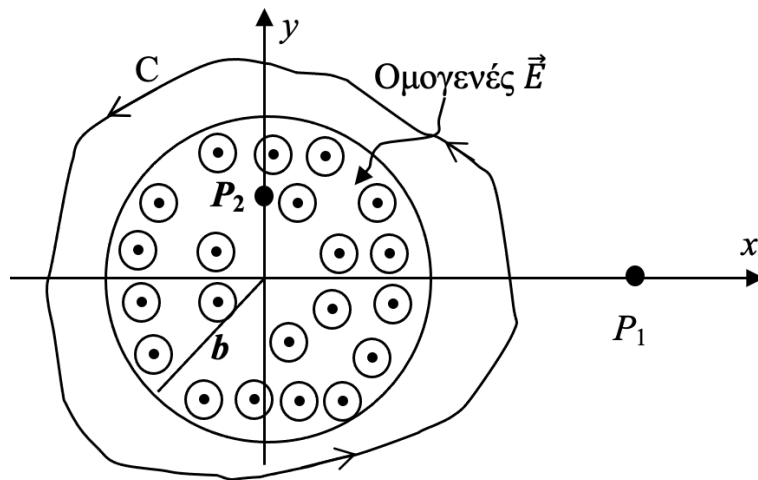


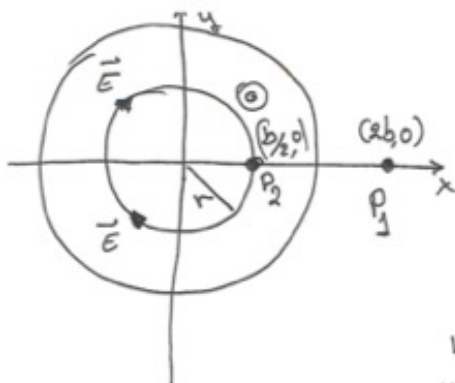
Θεωρήστε τώρα μία παρόμοια κατάσταση, με τη διαφορά ότι αντί του ομογενούς μαγνητικού πεδίου στην κυλινδρική περιοχή, τώρα υπάρχει ομογενές ηλεκτρικό πεδίο. Όπως και προηγουμένως, το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνει με σταθερό ρυθμό $\frac{d|\vec{E}|}{dt} = a$.

(Γ) Προσδιορίστε το μαγνητικό πεδίο, \vec{B} , που δημιουργείται από το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο, παντού στο χώρο. Θα πρέπει να προσδιορίσετε τη διεύθυνση και το μέτρο του πεδίου. Σχεδιάστε το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου, $|\vec{B}(r)|$ συναρτήσει της απόστασης r . [10μ]

(Δ) Προσδιορίστε το ρεύμα μετατόπισης, I_D , το οποίο περνά από την περιοχή που οριοθετείται από την καμπύλη C που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [5μ]

(Ε) Προσδιορίστε την επιτάχυνση που αποκτά (αν αποκτά) ένα ηλεκτρόνιο όταν αφεθεί από την ηρεμία στο σημείο P_1 ($x = 2b$, $y = 0$), ακριβώς μετά τη στιγμή που το αφήνουμε ελεύθερο να κινηθεί; Ποια η επιτάχυνση που αποκτά το ηλεκτρόνιο (αν αποκτά) αν αφεθεί να κινηθεί από το σημείο P_2 με συντεταγμένες ($x = b/2$, $y = 0$) ακριβώς μετά τη στιγμή που αφήνεται ελεύθερο; [5μ]





$\frac{dB}{dt} = a$ και το μαγνητικό πεδίο αυξάνει.

(α) Από τον νόμο του Faraday: $\int \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d\phi_M}{dt}$

Από την κυλινδρική συμμετρία, το \vec{E} είναι σταθερό κατά μήκος μιας περιφερειακής κίνησης ακτίνας r .

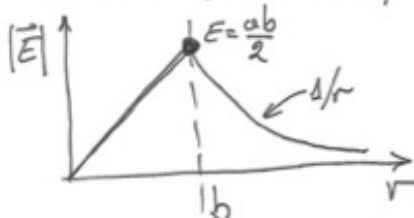
Η συνίσταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου δίνεται από τον κανόνα του Lenz. Από τη στιγμή που το μαγνητικό πεδίο αυξάνει προς το εξωτερικό της ελπίδας, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο \vec{E} σχηματίζει κλειστές βρόχους με φορά αυτή των δεικτών του ρολογιού ώστε να ελαττώσει την αύξηση της μαγνητικής ροής.

Για $r < b$, $\phi_M = \pi r^2 B \Rightarrow \frac{d\phi_M}{dt} = \pi r^2 \frac{dB}{dt} \Rightarrow \frac{d\phi_M}{dt} = \pi r^2 a$

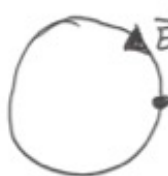
Επομένως: $\int \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 2\pi r |\vec{E}| = \pi r^2 a \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{ar}{2}$ με διεύθυνση αυτή της φοράς των δεικτών του ρολογιού

Για $r > b$, $\phi_M = \pi b^2 B$ και $\frac{d\phi_M}{dt} = \pi b^2 a$

Επομένως $\int \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 2\pi r |\vec{E}| = \pi b^2 a \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{b^2 a}{2r}$ με διεύθυνση αυτή της φοράς των δεικτών του ρολογιού



(β) Ένα ηλεκτρόνιο αφήνεται να κυλάει από την γραμμή στο $x=2b, y=0$



Η επιτάχυνση είναι προς τα πάνω: $\vec{F} = -e\vec{E} \Rightarrow |\vec{E}(r=2b)| = \frac{b^2 a}{4b} = \frac{ba}{4}$

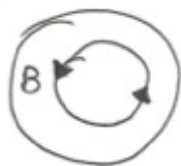
Επομένως: $\vec{F} = \frac{eba}{4} \hat{j} = m_e \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{eba}{4m_e} \hat{j}$ στο P_1

Στο $P_2 (b/2, 0)$ θα ισχύει: $E(b/2, 0) = \frac{ab/2}{2} = \frac{ba}{4}$

$\vec{F} = -e\vec{E} = \frac{eba}{4} \hat{j} = m_e \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{eba}{4m_e} \hat{j}$ στο P_2

Να σημειωθεί ότι εφόσον το ηλεκτρόνιο αφήνεται από την γραμμή, δεν επιταχύνεται από το μαγνητικό πεδίο.

(8)



Στην περίπτωση αυτή έχουμε μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

$$\frac{d\vec{E}}{dt} = \vec{a}$$

Από τον νόμο Ampere-Maxwell έχουμε:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

Από συμμετρία, το μαγνητικό πεδίο \vec{B} δημιουργείται ομοιόμορφα γύρω από το δισκίο, με διεύθυνση αντιστάσης ως προς τον άξονα του δισκίου.

Για $r < b$ $\phi_E = \pi r^2 E$

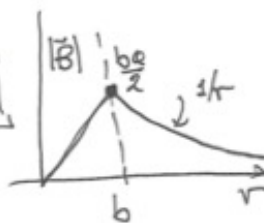
$$\frac{d\phi_E}{dt} = \pi r^2 \frac{dE}{dt} = \pi r^2 a \quad \text{και επιπλέον} \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 2\pi r B = \mu_0 \epsilon_0 \pi r^2 a \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 2\pi r B = \mu_0 \epsilon_0 \pi r^2 a \Rightarrow$$

$$r < b \Rightarrow |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \epsilon_0 a r}{2} \quad \text{με διεύθυνση αντιστάσης ως προς τον άξονα του δισκίου}$$

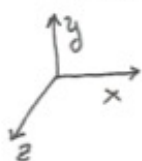
Για $r > b$, $\phi_E = \pi b^2 E$, $\frac{d\phi_E}{dt} = \pi b^2 a$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 2\pi r B = \mu_0 \epsilon_0 \pi b^2 a \Rightarrow r > b \Rightarrow |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \epsilon_0 b^2 a}{2r}$$



$$(d) \quad I_D = \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} = \epsilon_0 \pi b^2 \frac{dE}{dt} \Rightarrow I_D = \epsilon_0 \pi b^2 a$$

(ε) Αν ένα ηλεκτρόνιο αφεθεί ελεύθερο από το σημείο P_1 ($x=2b$, $y=0$), βρίσκεται έξω από την περιοχή του ηλεκτρικού πεδίου \vec{E} και από τη στιγμή που αφήνεται από την γραμμή δεν επιταχύνεται από το μαγνητικό πεδίο. Επιπλέον στο P_1 , $|\vec{a}|=0$. Στο P_2 ($x=b/2$, $y=0$), η επιτάχυνση εφ'αίτια του μαγνητικού πεδίου φανερώνεται να είναι μηδέν, αφού αφήνεται από την γραμμή. Ωστόσο, τώρα $\vec{E} \neq 0$ και άρα το ηλεκτρόνιο θα επιταχυνθεί κάθετα στην ελπίδα.



$$\vec{F}_e = -e\vec{E} = -eE(t)\hat{k} = m_e \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = -\frac{eE(t)}{m_e} \hat{k}$$

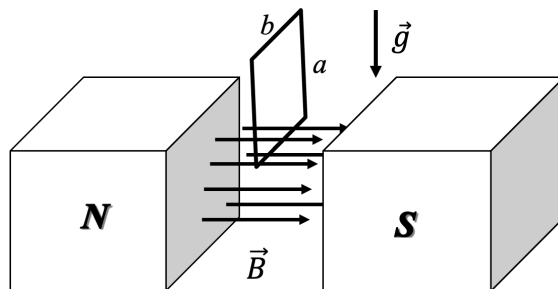
Επιτάχυνση του ηλεκτρονίου στο εσωτερικό της ελπίδας.

Άσκηση 3 [35μ]

Ένας διπολικός μαγνήτης δημιουργεί μια μεγάλη περιοχή στο χώρο με ομογενές μαγνητικό πεδίο \vec{B} , με διεύθυνση προς τα δεξιά όπως φαίνεται στο σχήμα. Έξω από τον μαγνήτη το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν. Ένας συρμάτινος βρόχος από αγωγίμο υλικό, (μάζας m , αντίστασης R , πλάτους b , και ύψους a) κρατιέται κατακόρυφα και αφήνεται να πέσει στην περιοχή του ομογενούς μαγνητικού πεδίου. Εκφράστε τις απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα συναρτήσει των μεγεθών R , m , a , b , του μέτρου του μαγνητικού πεδίου $|\vec{B}|$,

και της επιτάχυνσης της βαρύτητας, g .

Αρχικά θεωρήστε τη χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια της οποίας το κάτω μέρος του βρόχου βρίσκεται στο χώρο του μαγνητικού πεδίου αλλά το πάνω μέρος του βρόχου δεν είναι.



(Α) Καθώς ο βρόχος πέφτει με ταχύτητα v_0 , προσδιορίστε το μέτρο της έντασης του ρεύματος που επάγεται στον βρόχο και τη διεύθυνση του ρεύματος (δεξιόστροφο ή αριστερόστροφο) βλέποντας την επιφάνεια του βρόχου και ανατρέχοντας από δεξιά προς τα αριστερά. [8μ]

(Β) Καθώς ο βρόχος πέφτει με ταχύτητα v_0 , προσδιορίστε τη μαγνητική δύναμη, \vec{F}_B , που ασκείται στον βρόχο. Θα πρέπει να προσδιορίσετε το μέτρο και την διεύθυνσή της. [6μ]

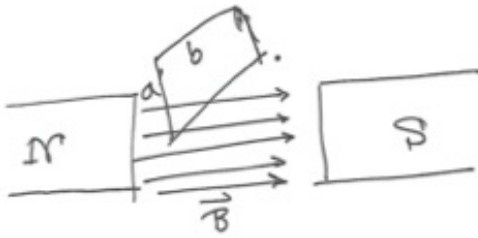
(Γ) Υποθέτοντας ότι η περιοχή με το μαγνητικό πεδίο είναι αρκετά μεγάλη και ο βρόχος είναι αρκετά μεγάλος, ο βρόχος θα αποκτήσει οριακή ταχύτητα v_t . Προσδιορίστε την ταχύτητα αυτή. [6μ]

Ο βρόχος εξακολουθεί να πέφτει με οριακή ταχύτητα έως ότου το πάνω μέρος του εισέλθει στο χώρο του μαγνητικού πεδίου. Θεωρήστε την χρονική περίοδο που ο βρόχος είναι ολόκληρος στο εσωτερικό του μαγνητικού πεδίου.

(Δ) Κατά την χρονική αυτή περίοδο, προσδιορίστε το μέτρο και διεύθυνση του ρεύματος που επάγεται στον βρόχο. [4μ]

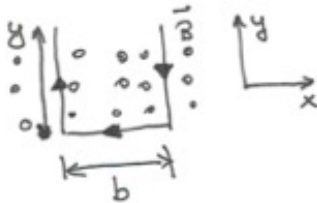
(Ε) Προσδιορίστε την επιτάχυνση με την οποία κινείται ο βρόχος κατά τη διάρκεια της χρονικής αυτής περιόδου. [6μ]

(ΣΤ) Καθώς ο βρόχος εξακολουθεί να πέφτει, το κάτω τμήμα του θα εξέλθει από το μαγνητικό πεδίο ενώ το πάνω τμήμα του εξακολουθεί να κινείται στο χώρο του μαγνητικού πεδίου. Εξηγήστε ποιοτικά τι συμβαίνει στην περίπτωση αυτή. [5μ]



(α) Στο σκίσιμο αυτό έχουμε το κάτω τμήμα του βρόχου μέσα στο μαγνητικό πεδίο και όχι το πάνω τμήμα.

Η ροή μέσα από το βρόχο καθορίζεται από την επιφάνεια που οριοθετεί το κάτω τμήμα του βρόχου η οποία σταθερά αυξάνει από μεγαλύτερο τμήμα του βρόχου που εισέρχεται στο χώρο του μαγνητικού πεδίου:



Η μαγνητική ροή στο πλαίσιο θα είναι:

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}_{\text{βρόχου}} = B A_{\text{βρόχου}}$$

$$A_{\text{βρόχου}} = b \cdot y$$

όπου y το μήκος του πλαισίου που
είναι εμβαδόν στο μαγνητικό πεδίο

$$\Rightarrow \mathcal{E} = -Bb \frac{dy}{dt} \Rightarrow \boxed{\mathcal{E} = -Bbv_y}$$

Την χρονική στιγμή που $v_y(t) = v_0$

Το ρεύμα που εγχέεται θα είναι ενομένου:

$$\boxed{I_{\text{εμπ}} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{Bbv_0}{R}}$$

εμφανίζεται η φορά των δυνάμεων ταρσοποι είναι το βλέπουμε από δεξιά στο αριστερά.

(β) Την ίδια χρονική στιγμή η δύναμη που αναπτύσσεται στο πλαίσιο θα είναι: $F = q\vec{v} \times \vec{B} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$

Οι δύο πλευρές (κατακόρυφες) δέχονται δύο ίσες αλλά αντίθετες δυνάμεις.

$$\vec{F}_B = I_{\text{εμπ}} b (-\hat{i}) \times B(\hat{k}) = \left(\frac{Bbv_0}{R}\right) b B \hat{j} \Rightarrow \boxed{\vec{F}_B = \frac{B^2 b^2 v_0}{R} \hat{j}}$$

δύναμη προς τα πάνω.

(γ) Η δύναμη αυξάνει με την ταχύτητα και σε κάποια χρονική στιγμή γίνεται ίση με τη δύναμη της βαρύτητας οπότε η επιτάχυνση γίνεται 0 και ο βρόχος αποκτά οριζική ταχύτητα.

Επομένως; όταν $a=0 \Rightarrow \sum \vec{F}_y = \vec{0} \Rightarrow mg = \frac{B^2 q^2 R}{2} \Rightarrow \boxed{v_t = \frac{mgR}{B^2 b^2}}$

(δ) Όταν ο βρόχος έχει εισέλθει εφόδου του μέσα στο χώρο του μαγνητικού πεδίου,

$\frac{d\Phi_B}{dt} = 0 \Rightarrow \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = 0 \Rightarrow \boxed{I_{\text{επαγ}} = 0}$ η μαγνητική ροή είναι μέγιστη και διαφορετική με το χρόνο αλλά σταθερή.

(ε) Αν δεν υπάρχει ρεύμα να διαρρέει τον βρόχο, η δύναμη που ασκείται πάνω του είναι επίσης $\vec{F}_B = \vec{0}$. και έτσι η δύναμη της βαρύτητας ασκείται στον βρόχο

οπότε $\boxed{a_y = -g \hat{j}}$

(στ) Καθώς το πλαίσιο εφίρχεται από τον χώρο του μαγνητικού πεδίου, η μαγνητική ροή αρχίζει να ελαττώνεται οπότε $\frac{d\Phi_B}{dt} \neq 0$ και επομένως $I_{\text{επαγ}} \neq 0$.

Το ρεύμα που επαίχεται και πάλι στον βρόχο έχει φορά αντίθετη με αυτή της περίπτωσης (α). Επομένως η φορά του είναι αντίθετη της φοράς αν δείκαμε τον ρολογιού ώστε να αυξήσει και πάλι τη μαγνητική ροή σύμφωνα με τα κανόνες του Lenz.

Η δύναμη \vec{F}_B ασκείται στο πάνω τμήμα του βρόχου και έχει και πάλι φορά προς τα πάνω. Το πλαίσιο μπορεί να αποκτήσει και πάλι οριζική ταχύτητα έως ότου το πάνω τμήμα του βρόχου είναι στο εσωτερικό του μαγνητικού πεδίου, και αλληλεπιδρά με αυτό.

