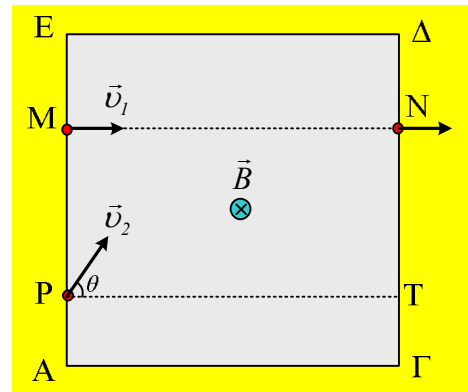


Ένα σύνθετο πεδίο, ηλεκτρικό και μαγνητικό

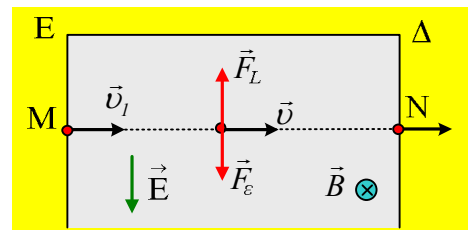
Ένα φορτισμένο σωματίδιο, με φορτίο $q=1,6 \cdot 10^{-19}C$, εισέρχεται με ταχύτητα $v_1=4km/s$ στο σημείο M, μιας περιοχής, η τομή της οποίας στο επίπεδο της σελίδας είναι τετράγωνο ΑΓΔΕ και κινείται ευθύγραμμα κατά μήκος της MN, όπου η MN είναι κάθετη στην πλευρά ΑΕ του τετραγώνου. Στην περιοχή συνυπάρχουν ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B=2T$, κάθετο στο επίπεδο της σελίδας με φορά προς τα μέσα και ένα ηλεκτρικό πεδίο.



- i) Αν το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομογενές και οι δυναμικές του γραμμές είναι παράλληλες στην πλευρά ΑΕ, να προσδιορίσετε την έντασή του.
- ii) Υποστηρίζεται ότι με ένα κατάλληλο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο στην ίδια περιοχή και της ίδιας κατεύθυνσης, μπορεί το σωματίδιο να εξέλθει από τα πεδία, με ταχύτητα μέτρου $v_1' > v_1$. Να εξετάσετε αν αυτό μπορεί να συμβεί.
- iii) Σε μια επανάληψη του πειράματος, με τα ίδια πεδία στο χώρο, το ίδιο σωματίδιο εισέρχεται στο τετράγωνο από το σημείο P, με ταχύτητα v_2 , η οποία σχηματίζει γωνία $\theta=60^\circ$ με την PT, την κάθετη στην ΑΕ. Να υπολογισθεί το μέτρο της ταχύτητας v_2 , αν το σωματίδιο αποκτά επιτάχυνση στην διεύθυνση PT, αμέσως μετά την είσοδο στα δυο πεδία.
- iv) Να βρεθεί ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής ενέργειας του σωματιδίου, αμέσως μόλις μπει στο χώρο των δύο πεδίων.

Απάντηση:

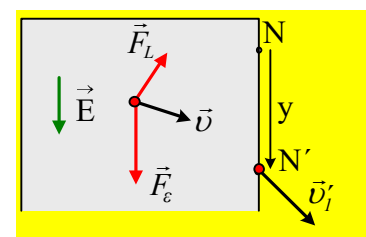
- i) Στο διπλανό σχήμα, έχουμε πάρει το σωματίδιο σε μια τυχαία θέση και με βάση τον κανόνα των τριών δακτύλων έχουμε σχεδιάσει τη δύναμη Lorentz \vec{F}_L που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο. Για να μπορεί να κινείται ευθύγραμμα το σωματίδιο και να μην εκτρέπεται, θα πρέπει να δέχεται αντίθετη δύναμη \vec{F}_e από το ηλεκτρικό πεδίο, όπως στο σχήμα, οπότε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, έχει την κατεύθυνση του σχήματος και μέτρο:



$$\Sigma \vec{F} = 0 \rightarrow F_L = F_e \rightarrow Bvq = qE \rightarrow$$

$$E = Bv = 2 \cdot 4.000 \frac{N}{C} = 8.000 \frac{N}{C}$$

- ii) Η παραπάνω περίπτωση είναι μια πολύ ειδική περίπτωση, όπου το σωματίδιο κινείται ευθύγραμμα. Αν για παράδειγμα το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο είχε ένταση ίδιας διεύθυνσης αλλά μέτρου $E'=10.000N/C$, τότε το σωματίδιο θα επιταχυνόταν στην διεύθυνση της έντασης, με αποτέλεσμα



να άλλαζε η ταχύτητα και μετά από λίγο θα είχαμε την εικόνα του διπλανού σχήματος, όπου θα είχαμε αύξηση στο μέτρο της ταχύτητας, ενώ το σωματίδιο δεν θα εξέλθει από το τετράγωνο από το σημείο N, αλλά «χαμηλότερα» κατά y, από το σημείο N'.

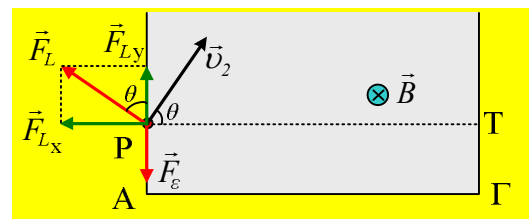
Αλλά τότε εφαρμόζοντας το Θ.Μ.Κ.Ε. για το σωματίδιο, ανάμεσα στις θέσεις N και N' και λαμβάνοντας υπόψη ότι σε κάθε θέση η δύναμη Lorentz είναι κάθετη στην ταχύτητα και το έργο της είναι μηδενικό, θα έχουμε:

$$K_{τελ} - K_{αρχ} = W_{F_e} + W_{F_L} \rightarrow \frac{1}{2} m v_1'^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = qE'y + 0 \rightarrow$$

$$|v_1'| > |v_1|$$

Δηλαδή το σωματίδιο θα εξέλθει με ταχύτητα μεγαλύτερου μέτρου, από την ταχύτητα εισόδου.

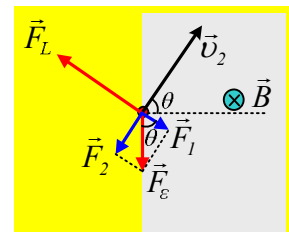
- iii) Στο διπλανό σχήμα έχουν σχεδιαστεί οι δυνάμεις που ασκούνται στο σωματίδιο μόλις μπει στην περιοχή που υπάρχουν τα δύο πεδία. Αφού λάβουμε υπόψη ότι η γωνία μεταξύ της δύναμης F_L και της πλευράς AE είναι θ (οξείες γωνίες με κάθετες πλευρές) και παίρνοντας δύο κάθετους άξονες x,y (ορίζονται κατακόρυφο στο σχήμα) με αρχή το σημείο P, τότε η επιτάχυνση είναι στον άξονα x, θα έχουμε:



$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow F_L \cdot \sigma \nu \theta = F_e \rightarrow B v_2 q \cdot \sigma \nu \theta = qE \rightarrow$$

$$v_2 = \frac{E}{B \cdot \sigma \nu \theta} = \frac{8.000}{2 \cdot \frac{1}{2}} m/s = 8 km/s$$

- iv) Αναλύουμε την δύναμη από το ηλεκτρικό πεδίο, σε δύο συνιστώσες, όπως στο διπλανό σχήμα. Μια συνιστώσα F_1 κάθετη στην ταχύτητα και μια F_2 παράλληλη στην ταχύτητα. Η συνισταμένη των δυνάμεων στη διεύθυνση της F_L , μεταβάλλει τη διεύθυνση της ταχύτητας (παίζει το ρόλο της κεντρομόλου), ενώ η συνισταμένη στη διεύθυνση της ταχύτητας μεταβάλλει το μέτρο της ταχύτητας, συνεπώς και την κινητική ενέργεια του σωματιδίου, οπότε:



$$\frac{dK}{dt} = \frac{dW_{ολ}}{dt} = \frac{|F_2| \cdot |ds| \cdot \sigma \nu 180^\circ}{dt} = -|F_2| \cdot |v_2| = -|F_e| \cdot |v_2| \cdot \eta \mu \theta = -qE v_2 \cdot \eta \mu \theta$$

$$\frac{dK}{dt} = -1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8.000 \cdot 8.000 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} J/s \approx -8,9 \cdot 10^{-12} J/s$$

Ερώτημα:

Και ένα πρόσθετο ερώτημα, για σκέψη:

Αν μειώνεται η κινητική ενέργεια του σωματιδίου, συμβαίνει το ίδιο με τη μηχανική του ενέργεια (K+U);

Αλλά και όταν μιλάμε για δυναμική ενέργεια, σε ποιο πεδίο αναφερόμαστε;

Στο ηλεκτρικό, στο μαγνητικό ή και στα δύο;