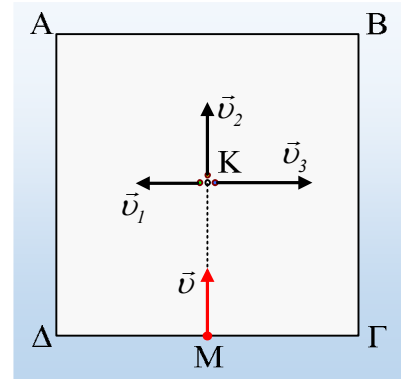


Μια διάσπαση σωματιδίου σε μαγνητικό πεδίο

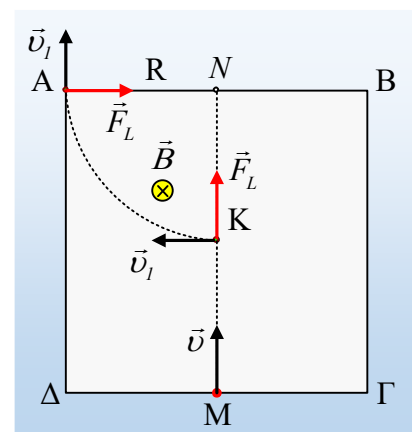
Στο σχήμα φαίνεται η τομή ABΓΔ ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, η ένταση του οποίου είναι κάθετη στο επίπεδο της σελίδας με μέτρο $B=0,01\text{T}$, σχήματος τετραγώνου πλευράς $a=10\text{cm}$. Σε μια στιγμή ένα σωματίδιο Θ εισέρχεται με ορισμένη ταχύτητα v , κάθετα στην πλευρά ΓΔ, στο μαγνητικό πεδίο, στο μέσον της Μ. Το σωματίδιο κινείται ευθύγραμμα και μετά από λίγο φτάνει στο κέντρο Κ του τετραγώνου, όπου και διασπάται σε τρία «σωματίδια- θραύσματα» X^- , Y^+ και Z , τα οποία αποκτούν ταχύτητες v_1 , v_2 και v_3 αντίστοιχα, όπου η v_1 και v_3 έχουν διεύθυνση παράλληλη στην πλευρά AB, ενώ η v_2 είναι κάθετη στην AB.



- i) Αν το σωματίδιο (X^-) βγαίνει από το πεδίο από την κορυφή A, κάθετα στην πλευρά AB, να βρείτε την κατεύθυνση της έντασης του πεδίου, δικαιολογώντας την απάντησή σας. Ποιο το μέτρο της ορμής του X^- κατά την κίνησή του στο πεδίο;
 - ii) Να εξηγήσετε γιατί το σωματίδιο Θ είναι αφόρτιστο.
 - iii) Αν και το σωματίδιο Y^+ εξέρχεται από ένα σημείο της πλευράς AB, να σχεδιάσετε κατ' εκτίμηση την τροχιά του. Με βάση την σχεδίαση που κάνατε, να συγκρίνετε τις ορμές των σωματιδίων X^- και Y^+ .
 - iv) Να βρείτε το σημείο εξόδου από το πεδίο για το σωματίδιο Z.
 - v) Αν το σωματίδιο Z είναι ένα φωτόνιο, να υπολογιστεί η ενέργειά του.
- Δίνεται το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο $|e|=1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$, $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$, ενώ οι ταχύτητες όλων των σωματιδίων (εκτός των φωτονίων...) είναι πολύ μικρότερες της ταχύτητας του φωτός.

Απάντηση:

- i) Αν το σωματίδιο X^- βγει από την κορυφή A του μαγνητικού πεδίου, τότε θα έχει διαγράψει ένα τεταρτοκύκλιο, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα, όπου το κέντρο της τροχιάς είναι το μέσον N της AB. Γιατί; Αρκεί να σχεδιάσουμε την δύναμη Lorentz που ασκείται στο σωματίδιο, στις θέσεις K και A, κάθετη στην ταχύτητα η οποία παίζει τον ρόλο της κεντρομόλου, άρα κατευθύνεται στο κέντρο της κυκλικής τροχιάς. Αλλά το σημείο που τέμνονται οι δυο φορείς της δύναμης είναι το σημείο N, το μέσον της AB. Αλλά τότε από τον κανόνα των τριών δακτύλων βρίσκουμε ότι η ένταση του πεδίου θα έχει φορά προς τα μέσα, όπως στο σχήμα.



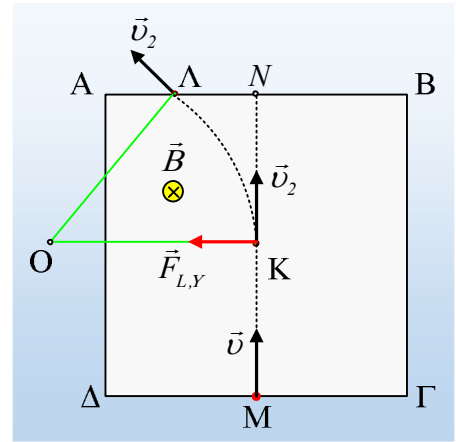
Εξάλλου για την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς $R_1 = \frac{1}{2} a$ θα έχουμε:

$$R_l = \frac{mv_l}{B|q_l|} \rightarrow R_l = \frac{p_l}{B|q_l|} \rightarrow p_l = B|q_l|R_l \quad (1) \rightarrow$$

$$p_l = 0,01 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,05 \text{kgm} / \text{s} = 8 \cdot 10^{-23} \text{kgm} / \text{s}$$

ii) Το σωματίδιο Y^+ φέρει θετικό φορτίο και συνεπώς θα δεχτεί δύναμη Lorentz όπως στο διπλανό σχήμα, με αποτέλεσμα να εκτραπεί προς τα αριστερά και να βγει από το πεδίο από κάποιο σημείο μεταξύ A και N.

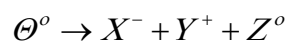
Αν δεχθούμε σαν σημείο εξόδου το σημείο Λ του σχήματος, τότε φέρνοντας τις κάθετες στην ταχύτητα στα σημεία K και Λ βρίσκουμε ότι το κέντρο της τροχιάς του σωματιδίου είναι το σημείο O, με αποτέλεσμα η ακτίνα της τροχιάς $R_2=(OK)$ θα είναι μεγαλύτερη από $\frac{1}{2} a$, οπότε από την σχέση (1) προκύπτει ότι και η ορμή του σωματιδίου Y^+ θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ορμή του σωματιδίου X^- . Αξίζει να προσθέσουμε ότι όσο περισσότερο το σημείο Λ πλησιάζει την κορυφή A, η ακτίνα της τροχιάς του μειώνεται. Έτσι αν σημείο εξόδου γίνει η κορυφή A, τότε η ακτίνα του γίνεται ίση με $\frac{1}{2} a$ και η αντίστοιχη ορμή γίνεται κατά μέτρο ίση με την ορμή του σωματιδίου X^- .



iii) Παρατηρώντας την τροχιά MK του σωματιδίου Θ, βλέπουμε ότι είναι ευθύγραμμη, συνεπώς το σωματίδιο δεν δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο, παρότι κινείται κάθετα στις δυναμικές του γραμμές. Για να συμβαίνει αυτό θα πρέπει $q=0$, αφού για το μέτρο της δύναμης Lorentz ισχύει:

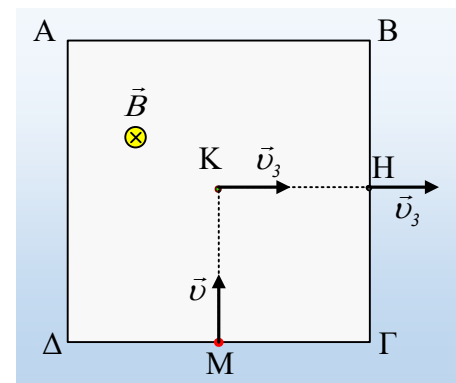
$$F_L = Bv|q| \cdot \eta\mu\theta \xrightarrow{\eta\mu\theta=1} F_L = Bv|q| = 0 \rightarrow |q| = 0$$

iv) Αν γράψουμε την αντίδραση διάσπασης του σωματιδίου Θ θα έχουμε:



Όπου το σωματίδιο Θ δεν έχει φορτίο. Αλλά τότε με βάση την διατήρηση του φορτίου και το τρίτο σωματίδιο Z που παράγεται από την διάσπαση έχει μηδενικό φορτίο, αφού το συνολικό φορτίο μετά την διάσπαση πρέπει να είναι μηδενικό.

Πράγμα που σημαίνει ότι και το σωματίδιο Z δεν δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο, αυτό θα κινηθεί ευθύγραμμα και θα εξέλθει από το πεδίο, από το μέσον H της πλευράς BΓ του μαγνητικού πεδίου.



v) Από την διατήρηση της ορμής, κατά την διάρκεια της διάσπασης του σωματιδίου Θ, παίρνουμε:

$$\vec{p}_{\pi\rho} = \vec{p}_{\mu\epsilon\tau} \rightarrow \begin{cases} p_\Theta = p_2 \\ p_{X^-} + p_3 = 0 \end{cases} \rightarrow p_2 = -p_3 = -8 \cdot 10^{-23} \text{kgm} / \text{s}$$

Οπότε αν το σωματίδιο Z είναι ένα φωτόνιο θα έχει ενέργεια:

$$E_3 = hf = h \frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda} = |p_3|c \quad (2)$$

$$E_3 = 8 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ J} = 24 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Η εξίσωση (2) για την ενέργεια του φωτονίου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί απευθείας, χωρίς την παραπάνω διαπραγμάτευση.

dmargaris@gmail.com