

IA FATICK

LYCEE NIAKHAR

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS $\vec{B}$

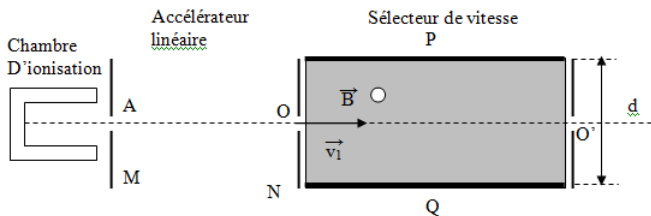
Niveau : TERMINALE

Année scolaire : 2024-2025

Exercice 1



Une chambre d'ionisation produit des ions d'hélium ${}^3_2\text{He}^+$, ${}^4_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$ de masses respectives m_1 , m_2 et m_3 . Leurs poids sont négligeables devant les forces électromagnétiques qu'ils subissent. Ils pénètrent en A sans vitesse initiale dans un accélérateur linéaire où ils sont soumis à l'action d'un champ électrique uniforme $\vec{E}_0$, créé par une différence de potentiel $U_0 = V_M - V_N$. On désignera par V_1 , V_2 et V_3 les vitesses respectives en O des ions ${}^3_2\text{He}^+$, ${}^4_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$. On notera e la charge électrique élémentaire.



- 1 (a) Déterminer le signe de U_0 afin d'accélérer les particules.
- (b) Quelle est la nature du mouvement de chaque ion entre A et O ?
- (c) A la sortie de l'accélérateur, les différents ions ont-ils la même énergie cinétique ? La même vitesse ?

- 2 les ions pénètrent ensuite dans un sélecteur de vitesse limité par les deux plaques P et Q distants de d . Ils sont alors soumis à l'action simultanée de deux champs :

- un champ électrique uniforme $\vec{E}$ créé par $U = V_Q - V_P$ positive.
- Un champ magnétique $\vec{B} \rightarrow$ orthogonal aux vecteurs vitesse des particules.

- (a) Représenter le champ magnétique $\vec{B}$ pour que la force électrique et la force magnétique aient la même direction mais des sens contraires.
- (b) On règle la valeur de U de façon que le mouvement des ions ${}^4_2\text{He}^+$ soit rectiligne uniforme, de trajectoire OO' . Exprimer U en fonction de B , V_2 et d .
- (c) Donner l'allure des trajectoires des ions ${}^3_2\text{He}^+$ et ${}^4_2\text{He}^{2+}$.

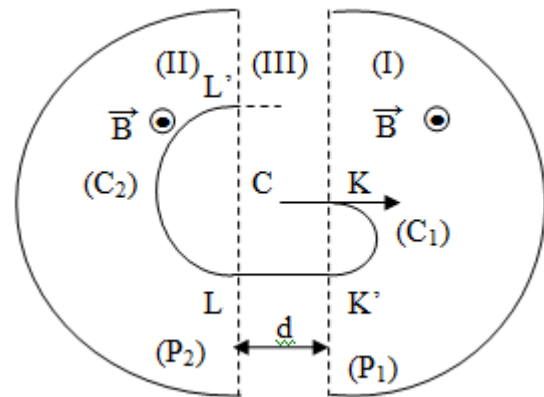
Données : $m_1 = 3 \text{ u}$; $m_2 = m_3 = 4 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Exercice 2



Dans un cyclotron, une particule de masse m et charge q , pénètre en C avec une vitesse négligeable, dans un espace (III) où règne un champ électrique $\vec{E}$ (cf.figure). Cet

espace est limité par deux grilles planes (P1) et (P2), assimilables à deux plaques métalliques, distantes de d ; on applique entre ces grilles une tension électrique $U_{P_2P_1}$ positive. La particule se déplace de C en K où son vecteur vitesse est $\vec{V}_0$. Elle pénètre alors dans la région (I), décrit une trajectoire (C1) et arrive en K'. De part et d'autre des grilles, dans les « dees » (régions (I) et (II)), règne un champ magnétique uniforme et constant $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure.



- 1 (a) Exprimer l'énergie cinétique de la particule en K', en fonction de m et V_0 . Quel est le rôle du champ magnétique B ?
- (b) Exprimer le rayon R_1 de la trajectoire (C1) en fonction de m , q , V_0 et B .

- 2 Pendant que la particule était dans l'espace (I), le signe de la tension $U_{P_2P_1}$ a changé. Lors de son passage entre K' et L, la particule est animée d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré. Exprimer son énergie cinétique en L en fonction de m , q , V_0 et U . Quel est l'intérêt du passage de la particule dans (III) ?

- 3 La particule décrit ensuite la portion de trajectoire circulaire (C2).

- (a) Exprimer le rayon R_2 de la trajectoire (C2) en fonction de m , q , V_0 , B et U .
- (b) Exprimer la durée du demi-tour KK' .
- (c) En déduire la fréquence de la tension alternative $U_{P_1P_2}$ nécessaire pour accélérer la particule à chacun de ses passages entre les " dees ".

- 4 Un cyclotron a un diamètre maximal utile de 52 cm.

- (a) Calculer en MeV, l'énergie cinétique maximale des protons accélérés par ce cyclotron lorsque la fréquence de l'oscillateur électrique qui accélère les protons entre chaque " dees " est de 12 mégahertz. Quelle est alors la valeur du champ magnétique B produit par l'électroaimant ?

- (b) L'amplitude de la différence de potentiel alternative appliquée entre les deux " dees " est de 200 kV. Calculer le nombre de tours effectués

par les protons pour atteindre leur énergie cinétique maximale.

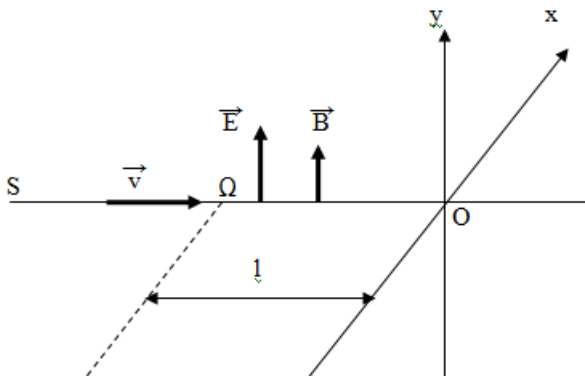
- (c) Avec le même cyclotron, on accélère des deutons ($m_d = 2m_p$) ou des particules α ($m_\alpha = 4m_p$). Les deutons possèdent une charge élémentaire $+e$, les particules α une charge $+2e$. Quelles sont les énergies maximales atteintes par ces deux particules lorsqu'on maintient la fréquence à 12 Mhz ?

Données : $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$; $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (masse du proton).

Exercice 3



En 1886 Goldstein découvrit des rayons chargés positivement qu'il appela " rayons canaux ". Sir J.J. Thomson montra en 1912, en utilisant le dispositif schématisé sur la figure ci-dessous, que ces " rayons canaux " étaient composés d'ions de deux isotopes du néon. Un faisceau constitué d'ions positifs se déplaçant le long de l'axe SO, et de vecteurs vitesses $\vec{V}$ différents, est soumis aux actions simultanées d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$ parallèles et de même sens (direction de l'axe Oy). Soit $l = \Omega O$ la largeur de la portion d'espace sur laquelle les deux champs sont actifs.



- 1 Calculer la déviation verticale y d'un ion positif de charge q et de masse m , soumis à l'action du champ électrique $\vec{E}$ seul.
- 2 Calculer la déviation horizontale x de ce même ion soumis à l'action du champ magnétique $\vec{B}$ seul. On admettra que l'angle de déviation est **petite**.
- 3 On peut montrer que, dans les conditions de l'expérience les coordonnées x et y de la particule lorsque $\vec{E}$ et $\vec{B}$ sont mis en service simultanément sont pratiquement égales à celles obtenues lorsqu'ils agissent seuls. Etablir l'équation cartésienne de la trace formée sur l'écran par les impacts d'ions de même charge et de même masse mais de vitesses différentes. Quelle est l'allure de cette trace ?
- 4 Que se passe-t-il si le faisceau est constitué d'ions de charges massiques $\frac{q}{m}$ différentes ?
- 5 Dans le cas où la source d'ions est le néon, on peut observer sur l'écran deux arcs de parabole dont les prolongements sont tangents en O à l'axe Ox.
 - (a) Pourquoi les paraboles ne sont-elles pas tracées jusqu'au point O ?

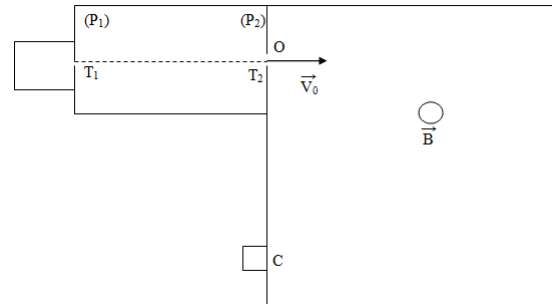
- (b) Sur la première parabole, on relève les coordonnées d'un point M_1 : $x_1 = 12,0 \text{ mm}$; $y_1 = 4,5 \text{ mm}$. Sur la deuxième, on relève les coordonnées d'un point M_2 : $10,9 \text{ mm}$; $y_2 = 4,1 \text{ mm}$. Montrer qu'il s'agit des traces des deux isotopes $^{20}_{10}\text{Ne}^+$ et $^{22}_{10}\text{Ne}^+$.

Données : masse molaire atomique de $^{20}_{10}\text{Ne}^+$: $20 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$. masse molaire atomique de $^{22}_{10}\text{Ne}^+$: $22 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exercice 4



Le principe d'un spectrographe de masse est schématisé ci-dessous (fig.2).



Dans tout l'exercice, on suppose que le mouvement des ions se fait dans le vide et on néglige leur poids par rapport aux autres forces. La charge élémentaire est notée e .

- 1 Dans la chambre d'ionisation (1), on produit des ions de masse m et de charge $q = 2e$. Ces ions pénètrent par le trou T1 dans une enceinte (A) avec une vitesse négligeable. Dans cette enceinte les ions sont accélérés par une tension $U = V_{P1} - V_{P2}$.
 - (a) Quel doit être le signe de la tension U pour que les ions soient accélérés ? On admettra pour la suite que les ions Zn^{2+} sont soumis entre P_1 et P_2 à une force constante $\vec{F}$ colinéaire à $\vec{T_1T_2}$.
 - (b) Quelle est la trajectoire d'un ion Zn^{2+} entre P_1 et P_2 ? Quelle est la nature de son mouvement ?
 - (c) Etablir l'expression de sa vitesse V_0 lorsqu'il se présente devant le trou T2 situé à la plaque P_2 en fonction de e , m , U .
 - (d) L'élément zinc contient deux isotopes de nombre de masse $A_1 = 68$ et $A_2 = 70$. Ils sont ionisés de façon identique. Déterminer le rapport littéral des vitesses $\frac{V_{O1}}{V_{O2}}$ de ces ions en fonction de leurs masses respectives m_1 et m_2 à leur passage T2.
- 2 Les ions sortant par T2, entrent avec la vitesse $\vec{V}_0$ perpendiculaire à P_2 dans une enceinte (D) dans laquelle règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure fig.2. Ils sont déviés et viennent dans un collecteur C dont la fente d'ouverture O, très étroite, perpendiculaire au plan de figure, se trouve dans le plan P_2 .
 - (a) Quel doit être le sens de $\vec{B}$ pour que les ions puissent être recueillis par le collecteur C ?
 - (b) On admet que les ions Zn^{2+} ont un mouvement circulaire uniforme et que leur trajectoire

est dans le plan de la figure. Etablir l'expression du rayon de cette trajectoire en fonction de m , e , V_0 et B .

- A quelle distance x de T_2 doit se trouver la fente O du collecteur C ? On donnera x en fonction de m , e , U et B .
- Calculer la distance C_1C_2 séparant les positions respectives de la fente du collecteur permettant de recueillir les ions de masse m_1 et m_2 .

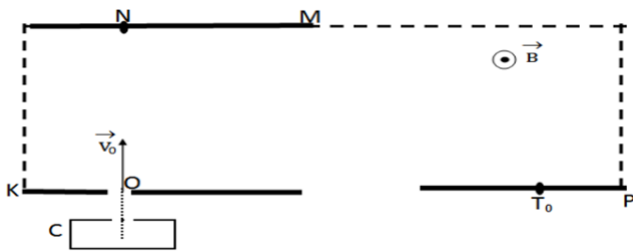
Données : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $U = 4000 \text{ V}$; $B = 0,1 \text{ T}$; $m_1 = A_1 \cdot u$ et $m_2 = A_2 \cdot u$ avec $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Exercice 5



Dans toute la suite on néglige le poids de la particule devant la force magnétique

Les mouvements sont rapportés au référentiel du laboratoire supposé galiléen.



- Une particule de charge q , de masse m , pénètre dans un champ magnétique uniforme avec la vitesse V_0 perpendiculaire à $\vec{B}$
 - Montrer que le mouvement de la particule est à vitesse constante dans la région où règne un champ magnétique.
 - Montrer que la trajectoire est circulaire. Donner l'expression littérale du rayon R de cette trajectoire. Reproduire le schéma et ébaucher l'allure de cette trajectoire.
- Une chambre d'ionisation C produit des ions de masse m , de charge q , accélérés par une tension appliquée entre la chambre d'ionisation C et l'électrode K horizontal percée d'un trou O . Passant par O avec une vitesse $\vec{V}_0$, les ions pénètrent dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme. La trajectoire décrite par les ions est telle qu'ils viennent frapper en T_0 la plaque photographique P située dans le plan horizontal passant par K .
 - Exprimer en fonction de q , m , V_0 et B la distance $d_o = OT_0$.
 - A l'entrée dans le champ la valeur de la vitesse de l'ion est $V = V_0 + \Delta V$. L'ion frappe à un point T de la plaque P . Exprimer en fonction de q , m , V_0 et ΔV , la distance $d = OT$.
 - En réalité le faisceau d'ions n'est pas homocinétiq, les valeurs des vitesses des ions sont comprises entre $V_0 - \Delta V$ et $V_0 + \Delta V$. Exprimer littéralement les rayons R_1 et R_2 des trajectoires correspondant aux vitesses limites en fonction de q , m , V_0 et ΔV . Exprimer littéralement la distance entre les deux trace T_1 et T_2 , puis calculer numériquement cette distance pour ΔV

$= 5 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$. Données : $|q| = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; masse de l'ion $m = 232u$; $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $V_0 = 10^5 \text{ m.s}^{-1}$, $B = 0,2 \text{ T}$.

- On superpose au champ un champ électrique uniforme.
 - Déterminer le sens du champ pour recueillir sur la plaque M en N seulement les ions animés de la vitesse V_0 du faisceau non homocinétiq précédant (N est sur la même verticale que O).
 - Qu'arrive-t-il aux particules de vitesse $V = V_0 - \Delta V$?
 - Quel nom général donne-t-on à ce dispositif?