



SERIE D'EXERCICE SUR P6: MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

EXERCICE 1:

1/ Des protons H^+ de masse $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg sont produits par une chambre d'ionisation. On néglige les forces de pesanteur. Ces protons pénètrent en S sans vitesse initiale dans un accélérateur linéaire où ils sont soumis à un champ électrique uniforme E créé par une tension $U = V_C - V_A$ (voir schéma ci-dessous).

1-1/ Exprimer l'accélération d'un proton en fonction de U , d , m et la charge élémentaire e .

1-2/ Ecrire l'équation horaire du mouvement d'un proton dans l'accélérateur.

2/ Les protons pénètrent ensuite en O avec une

Vitesse $\vec{V}_O$ dans un domaine limité par deux plans P et P' où règne un champ magnétique uniforme

$\vec{B}$ orthogonal à la vitesse $\vec{V}_O$.

2-1/ Reproduire le schéma sur votre feuille de copie Et représenter la force magnétique subie par un proton en O. Calculer sa norme.

2-2/ Montrer que le mouvement des protons est uniforme

et circulaire entre P et P'. Exprimer le rayon de leur trajectoire en fonction de m , B , e et U .

2-3/ On admet que la distance ℓ entre les plans P et P' est négligeable devant L (distance entre O et l'écran) et que les protons sortent par P' et viennent heurter l'écran en M.

2-3-1/ Quelle est la nature du mouvement des protons après leur sortie du champ magnétique ?

2-3-2/ Exprimer la déflexion magnétique O'M en fonction de L , ℓ , B , e , U et m .

2-3-3/ Pour empêcher les protons d'atterrir sur l'écran, on augmente la largeur ℓ du champ magnétique. Quelle valeur minimale ℓ' faudrait-il donner à ℓ pour que les protons ressortent par le plan P ?

Données : $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C ; $U = 10$ kV ; $B = 0,5$ T

EXERCICE 2:

On se propose de déterminer le nombre de masse de l'un des isotopes du potassium, élément chimique, mélange de deux types d'isotope : ^{39}K et ^xK . L'isotope ^{39}K est plus abondant. On utilise alors un spectrographe de masse constitué essentiellement de trois compartiments : Dans le premier compartiment, les atomes de potassium sont ionisés en cations ($^{39}\text{K}^+$ et $^x\text{K}^+$) ; dans le deuxième compartiment, les ions sont accélérés, leurs vitesses initiales étant négligeables et dans le troisième compartiment, les ions sont soumis à l'action d'un champ magnétique; en fin de course, ils atteignent un écran luminescent.

Données: Le mouvement des particules a lieu dans le vide; le poids d'un ion est négligeable devant la force électrique et la force magnétique. La charge élémentaire est $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C ; la tension U établie entre les plaques A et C a pour valeur; $U = V_A - V_C = 1,0 \cdot 10^3$ V; l'intensité du champ magnétique régnant dans la zone 3 est $B = 100$ mT ; la masse d'un nucléon est $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ; la masse de l'ion $^{39}\text{K}^+$ est $m_1 = 39 m_0$, la masse de l'ion $^x\text{K}^+$ est $m_2 = x m_0$

1/ Entre les plaques A et C, les ions sont accélérés par un champ électrique uniforme. Leur vitesse au point T_1 de la plaque A est supposée nulle.

a/ Reproduire la figure sur la feuille de copie et représenter la force électrique s'exerçant sur un ion potassium se trouvant en M.

b/ Montrer que, arrivés au niveau de la plaque C, en T_2 , tous les ions potassium ont la même énergie cinétique.

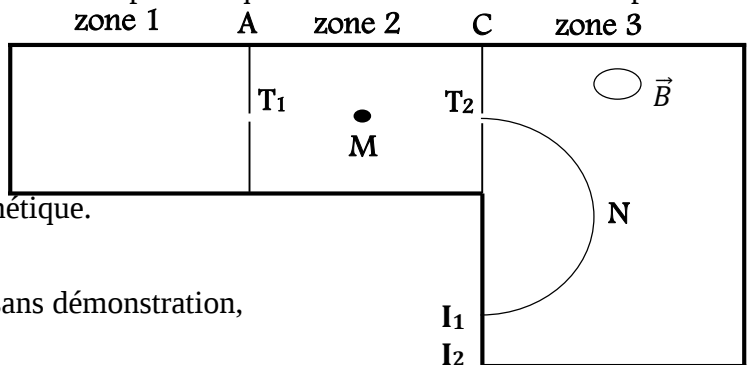
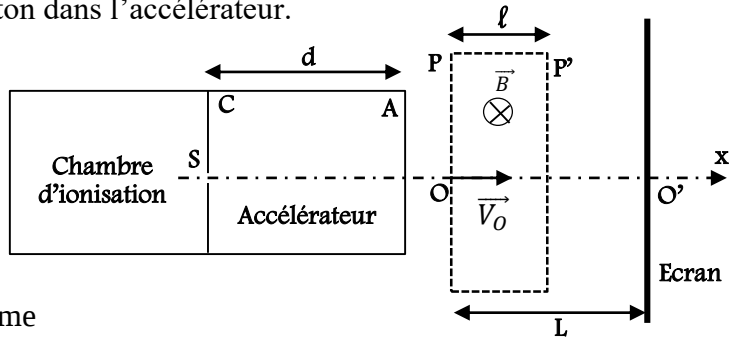
c/ Montrer alors qu'en T_2 , la vitesse de chaque

ion $^{39}\text{K}^+$ a pour expression : $V_1 = \sqrt{\frac{2eU}{39m_0}}$. En déduire, sans démonstration,

l'expression de la vitesse V_2 des isotopes $^x\text{K}^+$ en T_2 .

2/ A partir de T_2 , les ions pénètrent dans la zone 3 avec des vitesses perpendiculaires à la plaque C. Chaque type d'isotope effectue, dans le plan de la figure, un mouvement circulaire uniforme.

a/ En un point N de l'une des trajectoires, représenter sur la figure déjà reproduite, la vitesse d'un ion potassium et la force magnétique qui s'exerce sur cet ion.



b/ Compléter la figure en représentant le sens du champ magnétique régnant dans la zone 3.

3/ Montrer que le rayon de la trajectoire des ions $^{39}\text{K}^+$ a pour expression: $R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{78m_0 U}{e}}$.

En déduire l'expression du rayon R_2 de la trajectoire des isotopes $^x\text{K}^+$.

4/ Déterminer, par calcul, la valeur du rayon R_1 de la trajectoire des ions $^{39}\text{K}^+$.

5/ Les deux types d'isotopes rencontrent l'écran luminescent en deux points d'impact I_1 et I_2 ; le point d'impact I_1 étant plus lumineux.

a/ Préciser, en justifiant, le point d'impact de chaque type d'isotopes.

b/ Montrer que le rapport des rayons des trajectoires des isotopes du potassium dans la zone 3 est :

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{39}{x}}.$$

c/ La distance entre les points d'impact est $d = 2,2 \text{ cm}$. Déterminer la valeur du nombre de masse x de l'isotope $^x\text{K}^+$.

EXERCICE 3:

On considère le dispositif expérimental schématisé ci-contre, comportant 4 zones notées 1, 2, 3, 4.

zone 1: chambre d'accélération entre P_1 et P_2 .

zone 2: sélecteur de vitesse entre P_2 et P_3 .

zone 3: chambre de déviation de largeur ℓ .

zone 4: région où il ne règne ni un champ électrique, ni un champ magnétique. (E) est un écran

placé à une distance D de la plaque P_3 , perpendiculairement à l'axe horizontal ($x'x$). C, est une chambre d'ionisation qui émet

des ions sodium Na^+ de masse m et de charge q . P_1 , P_2 , P_3 sont des plaques métalliques

verticales percées de trous T_1 , T_2 , T_3 alignés sur l'axe horizontal $x'x$. A_1 et A_2 sont des plaques métalliques horizontales séparées par une distance d ;

elles n'ont aucun contact électrique avec P_2 et P_3 . Le dispositif est placé dans le vide. On néglige le poids des ions devant les autres forces.

1/ Les ions Na^+ sortent du trou T_1 , avec une vitesse supposée nulle. Accélérés par une différence de potentiel $U = V_{P_1} - V_{P_2}$ entre les plaques P_1 et P_2 , ils franchissent le trou T_2 avec une vitesse V_0 .

Par application du théorème de l'énergie cinétique, montrer que le rapport $\frac{q}{m}$ (charge massique) pour un ion Na^+ est donné par l'expression: $\frac{q}{m} = \frac{V_0^2}{2U}$.

2/ Dans la zone 2, règnent simultanément un champ électrique uniforme de vecteur $\vec{E}$ vertical et un champ magnétique uniforme dont le vecteur $\vec{B}$ est perpendiculaire au plan de la figure.

a/ Sur votre feuille de copie, faire un schéma où sera représentée la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur un ion se trouvant dans la zone 2.

b/ Sur le même schéma, représenter, justification à l'appui, la force magnétique $\vec{F}_m$ qui doit s'appliquer sur le même ion pour qu'il suive une trajectoire rectiligne jusqu'au trou T_3 .

c/ En déduire le sens du vecteur champ magnétique $\vec{B}$ dans la zone 2. Compléter le schéma en mettant le sens de $\vec{B}$.

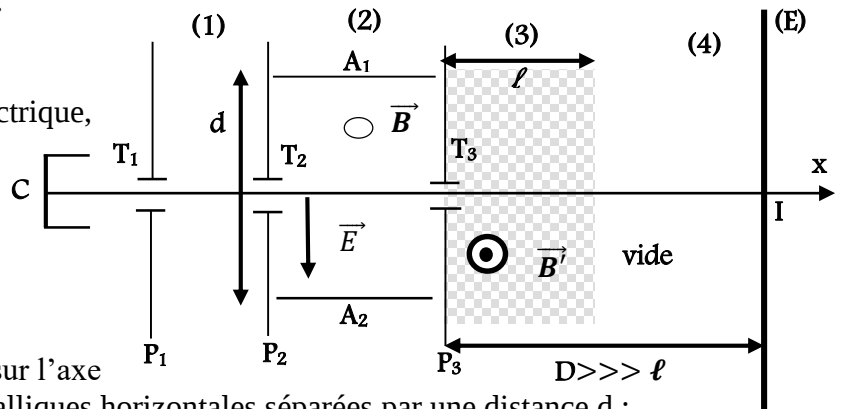
d/ Exprimer le rapport q/m en fonction de U , E et B . Faire l'application numérique.

Données: $U = 3,9 \text{ kV}$; $E = 9.10^3 \text{ V.m}^{-1}$; $B = 5.10^{-2} \text{ T}$.

3/ Après le trou T_3 , les ions arrivent dans la zone 3 où règne le champ magnétique uniforme de vecteur $\vec{B}'$ représenté sur la figure. A la sortie de la zone 3, le vecteur vitesse d'un ion Na^+ fait un angle α faible avec l'axe ($x'x$).

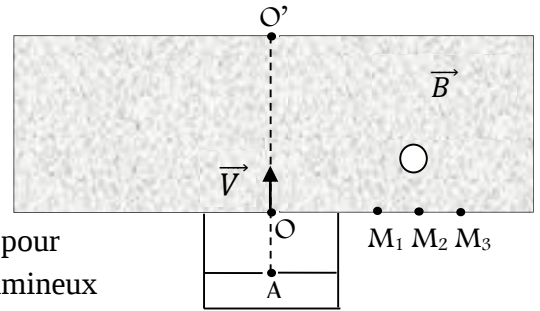
a/ Représenter, justification à l'appui, la trajectoire d'un ion de T_3 à l'écran.

b/ Le point M est le point d'impact des ions Na^+ sur l'écran, I est le point d'intersection de l'axe ($x'x$) avec l'écran. Établir l'expression de la déflexion magnétique $Y = IM$ en fonction de q , m , V_0 , B' , ℓ et D puis en fonction de q , m , U , B' , ℓ et D . Peut-on en déduire une détermination expérimentale de $\frac{q}{m}$? Expliquer.



EXERCICE 4:

Pour déterminer la composition isotopique de l'oxygène naturel, on utilise le spectrographe de masse schématisé ci-dessous. On ionise les atomes d'oxygène en ions oxydes (O^{2+}) dans la première chambre, on les accélère dans la deuxième chambre dans laquelle est appliquée une tension $U_{P_1P_2}=|U|=1000\text{ V}$ et on les sépare dans la troisième chambre où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Etablir l'expression de la vitesse d'un ion lorsqu'il passe par le trou O.



- On observe trois points lumineux au niveau de la zone de réception pour une orientation de $\vec{B}$ donnée. Le point le plus proche de O est le plus lumineux suivi du plus éloigné. Interpréter la différence de luminosité.
- Quel doit être le sens de $\vec{B}$ pour que les points lumineux puissent être observés ?
- Les points lumineux étant notés M_1 , M_2 et M_3 respectivement: on mesure $R_1=4,97\text{cm}$; $R_3=5,27\text{cm}$ et $M_2M_3=0,3\text{cm}$.
 - Exprimer les rayons R_1 et R_3 en fonction de e , B , U , A_1 , u ou A_3 et le rayon R_2 en fonction de A_2 , A_3 et R_3 .
 - Calculer le nombre de masse de chaque ion puis écrire la représentation de chaque isotope sachant qu'il s'agit de l'oxygène O.
- On branche maintenant un fil conducteur à chaque point lumineux et par l'intermédiaire d'un ampèremètre on relie le fil conducteur au sol; on fabrique ainsi des compteurs électriques. Les intensités de courant sont respectivement I_1 , I_2 et I_3 et on constate que $I_1=4,99I_3$ et $I_2=0,2I_3$.
 - Calculer le pourcentage isotopique de chacun des isotopes.
 - Déterminer la masse molaire de l'oxygène naturel.
- Déterminer les caractéristiques du vecteur champ $\vec{E}$ qu'il faut superposer au champ $\vec{B}$ dans la troisième chambre pour que les ions de masse m_2 puissent traverser le trou O' . Comment seront déviés les autres ions? **Données:** $B=0,26\text{ T}$; $V_A=0\text{ m/s}$; $1u=1,66.10^{-27}\text{ Kg}$.

EXERCICE 5:

Le spectrographe de masse est une technique analytique essentielle et polyvalente avec des applications vastes et diversifiées. Son importance réside dans sa capacité à fournir des informations précises et détaillées sur la masse et la structure des composés chimiques, ce qui est crucial pour la recherche scientifique, le diagnostic médical, l'analyse environnementale, la sécurité alimentaire, et bien d'autres domaines. On considère un dispositif d'analyse de particules, constitué de trois parties : une chambre d'accélération, un filtre de vitesse et une chambre de déviation. (Figure 2)

1-Accélération des ions

Des ions positifs isotopes du cuivre $^{63}\text{Cu}^{2+}$ et $^x\text{Cu}^{2+}$ de même charge $q = 2e$, de masse respective $m = 63u$ et $m' = x u$, émis à partir du point O_1 avec une vitesse initiale négligeable, sont accélérés entre O_1 et O_2 par la tension U_0 existant entre les plaques P_1 et P_2 telle que $|U_0| = |U_{P_1P_2}| = 5.10^3\text{ V}$.

Ils se déplacent dans le vide suivant la direction horizontale de O_1 vers O_2 . On négligera le poids des ions devant les autres forces. On donne : $e = 1,6.10^{-19}\text{ C}$ et $u = 1,67.10^{-27}\text{ kg}$

- Quel est le signe de la tension $U_{P_1P_2}$? Justifier.
- Calculer la vitesse v de l'isotope $^{63}\text{Cu}^{2+}$ en O_2 .
- v et v' désignent respectivement les vitesses en O_2 des deux isotopes $^{63}\text{Cu}^{2+}$ et $^x\text{Cu}^{2+}$. Etablir la relation entre v , v' , m et m' .
- Le rapport $\frac{v}{v'} = 1,016$; en déduire la valeur entière x du nombre de masse de l'ion $^x\text{Cu}^{2+}$.

2. Filtre de vitesse

Arrivés en O_2 , les ions pénètrent dans un filtre de vitesse constitué par :

✓ deux plaques horizontales P et Q distantes de $d = 20\text{ cm}$ entre lesquelles on établit une différence de potentiel $U = V_P - V_Q = 1,50.10^3\text{ V}$ créant un champ électrique $\vec{E}$.

✓ un dispositif adéquat crée dans l'espace situé entre les deux plaques un champ magnétique $\vec{B}$ perpendiculaire aux vitesses $\vec{v}$ et $\vec{v}'$ ainsi qu'au champ électrique $\vec{E}$.

2.1. Déterminer le sens du champ magnétique $\vec{B}$ pour que les ions $^{63}\text{Cu}^{2+}$, arrivant en O_2 , traversent le dispositif par un mouvement rectiligne uniforme avec la vitesse v .

2.2. Exprimer l'intensité B du champ magnétique en fonction de v , U , d . Calculer B .

Dans quel sens sont alors déviés les ions $^x\text{Cu}^{2+}$?

2.3. Déterminer la valeur B' du champ magnétique pour que les ions ${}^x\text{Cu}^{2+}$ traversent le dispositif sans de déviation.

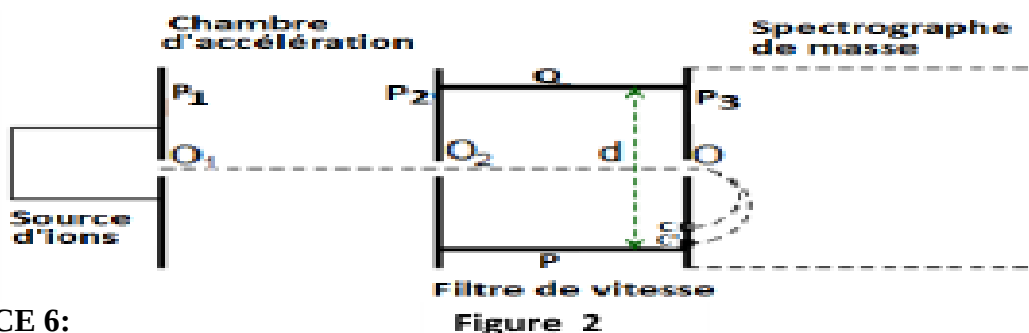
3-Spectrographe de masse

En faisant varier la valeur du champ magnétique B dans le filtre de vitesse, on peut faire passer par le point O l'un ou l'autre des isotopes. Les ions pénètrent alors dans la chambre de déviation où règne un champ magnétique $\vec{B}_0$ d'intensité $B_0 = 0,5 \text{ T}$. C et C' sont les points d'impact respectifs des ions ${}^{63}\text{Cu}^{2+}$ et ${}^x\text{Cu}^{2+}$ (fig 2)

3.1. Etablir l'expression du rayon R de la trajectoire de l'ion ${}^{63}\text{Cu}^{2+}$. Calculer R .

3.2. On place au niveau des collecteurs C et C' un dispositif permettant de mesurer les intensités des courants I et I' correspondant au nombre d'ions N et N' y arrivant par seconde.

On trouve que $I = \frac{7}{3} I'$. En déduire les pourcentages en ions ${}^{63}\text{Cu}^{2+}$ et ${}^x\text{Cu}^{2+}$ dans le cuivre naturel.



EXERCICE 6:

Un cyclotron est un dispositif constitué de deux demi-cylindres D_1 et D_2 , appelés « dees », séparés par une distance très faible d devant leur diamètre. Le tout est placé dans le vide. Un champ magnétique $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure est créé dans D_1 et D_2 . Entre les « dees » et sur la distance d agit un champ électrique uniforme $\vec{E}$. Ce champ $\vec{E}$ est constamment nul à l'intérieur des deux « dees ». On suppose que la d.d.p U entre D_1 et D_2 reste constante.

On donne : $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $d = 1 \text{ cm}$; $U = 4000 \text{ V}$.

1 Au voisinage immédiat de D_2 une source S émet des protons avec une vitesse initiale négligeable.

Préciser la nature du mouvement du proton entre D_2 et D_1 et établir l'expression de la vitesse V_1 du proton au moment il pénètre dans D_1 , en fonction de e , m et U . Calculer V_1 .

2 Le proton pénètre dans D_1 , sa vitesse $\vec{V}_1$ est perpendiculaire à $\vec{B}$

a) Montrer que le mouvement du proton dans D_1 est circulaire uniforme.

b) Donner l'expression du rayon R_1 du demi-cercle décrit par le proton en fonction de e , m , B et U .

c) Exprimer littéralement le temps de transit τ mis par le proton pour décrire ce demi-cercle ; montrer qu'il est indépendant de la vitesse donc non modifiée par la présence du champ électrique accélérateur.

Faire l'application numérique avec $B = 1 \text{ T}$.

3 Au moment précis où le proton quitte D_1 , on inverse le sens de $\vec{E}$ le proton pénètre ainsi dans D_2 avec une vitesse V_2 . Etablir l'expression de V_2 du proton et donner l'expression du rayon R_2 de la trajectoire décrite dans D_2 . Exprimer le temps de transit dans D_2 . Le comparer à τ .

4 Quand le proton quitte D_2 , on inverse à nouveau le sens de $\vec{E}$, La particule, accélérée par la même tension U , pénètre dans D_1 avec une vitesse V_3 , y décrit un demi-cercle de rayon R_3 , ainsi de suite... Exprimer le rayon R_n de la nième trajectoire demi-circulaire en fonction du rayon R_1 de la première trajectoire.

Donner la valeur de n pour $R_n = 0,14 \text{ m}$. Calculer la vitesse correspondante V_n du proton. Quelle serait la d.d.p constante qui aurait donné cette vitesse au proton initialement émis sans vitesse initiale ? Commenter.

