

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME

EXERCICE 1:

On envisage la séparation d'isotopes du zinc à l'aide d'un spectrographe de masse.

On négligera le poids des ions devant les autres forces.

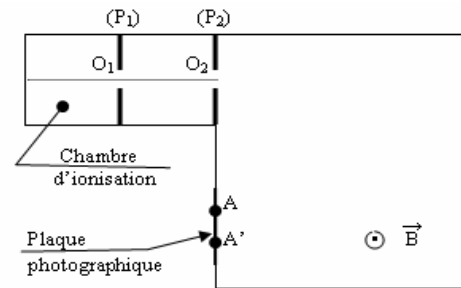
1. Une chambre d'ionisation produit des ions $^{68}\text{Zn}^{2+}$ et $^x\text{Zn}^{2+}$, de masses respectives 68 u et x u. Ces ions sont ensuite accélérés dans le vide entre deux plaques métalliques parallèles P_1 et P_2 .

La tension accélératrice a pour valeur $U = 10^3$ V.

On négligera la vitesse des ions lorsqu'ils traversent la plaque P_1 en O_1 .

- Quelle est la plaque qui doit être portée au potentiel le plus élevé ?
 - Calculer la vitesse v_0 des ions $^{68}\text{Zn}^{2+}$ lorsqu'ils sont en O_2 .
 - Exprimer en fonction de x et de v_0 la vitesse v'_0 des ions $^x\text{Zn}^{2+}$ en O_2 .
2. Les ions pénètrent ensuite dans une région où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal au plan de la figure, d'intensité $B = 0,1$ T.

- Indiquer sur le schéma le vecteur $\vec{B}$ pour que les ions $^{68}\text{Zn}^{2+}$ parviennent en A, et les ions $^x\text{Zn}^{2+}$ en A'. Justifier la construction.
- Montrer que les trajectoires des ions sont planes ; établir la nature du mouvement ainsi que la forme de ces trajectoires. Calculer le rayon de courbure pour les ions $^{68}\text{Zn}^{2+}$.
- On donne $AA' = 8$ mm. Calculer x.



EXERCICE 2 :

La figure représente une coupe horizontale, vue de dessus d'un spectrographe de masse.

1. Des ions de masse m et de charge $q < 0$ sont produits dans la chambre d'ionisation (I) avec une vitesse négligeable. Ils entrent en E dans l'enceinte A, sous vide, où ils sont accélérés, et ils ressortent en S. Les orifices E et S sont pratiquement ponctuels. On note U_0 la différence de potentiel accélératrice. La vitesse des ions reste suffisamment faible pour que les lois de la mécanique classique s'applique. Exprimer la norme du vecteur vitesse d'un ion à sa sortie S, en fonction de m, q et U_0 .

2. A leur sortie en S, les ions pénètrent dans une seconde enceinte sous vide D, dans laquelle règne un champ magnétique uniforme vertical.

1.1. Déterminer le sens du vecteur champ magnétique pour que les ions puissent atteindre le point O_1 ou le point O_2 .

1.2. En S, le vecteur vitesse des ions est orthogonal à la droite passant par les points O_1 , O_2 et S. Montrer que la trajectoire d'un ion dans l'enceinte D est plane et que la vitesse est constante. Prouver que la trajectoire est un cercle dont on déterminera le rayon.

2. Le jet d'ions sortant de la chambre d'ionisation est un mélange d'ions ^{79}Br , de masse $m_1 = 1,3104 \cdot 10^{-25}$ kg, et d'ions ^{81}Br , de masse $m_2 = 1,3436 \cdot 10^{-25}$ kg.

2.1. Déterminer le collecteur C_1 ou C_2 qui reçoit les ions de masse m_1 .

2.2. Calculer la distance entre les entrées O_1 et O_2 des deux collecteurs.

2.3. Les quantités d'électricité reçues en une minute par les collecteurs C_1 et C_2 sont respectivement $q_1 = -6,60 \cdot 10^{-8}$ C et $q_2 = 1,95 \cdot 10^{-8}$ C. Déterminer la composition du mélange d'ions.

Données : $U_0 = 4,00 \cdot 10^3$ V ; $B = 0,1$ T

EXERCICE 3 :

Données : $D = 40$ cm ; $l = 1$ cm ; $d = 10$ cm ; $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $E = 5 \cdot 10^4$ V.m⁻¹.

Dans tout l'exercice, on négligera le poids de l'électron devant les autres forces qui agissent sur lui.

1. Des électrons de masse m et de charge q sont émis sans vitesse initiale par la cathode (C). Ils subissent sur la longueur d, l'action du champ électrique uniforme $\vec{E}$.

1.1. Quelle est la nature du mouvement de l'électron entre la cathode (C) et l'anode (A) ?

1.2. Que vaut la vitesse $\|\vec{v}_0\|$ d'un électron au point O_1 ?

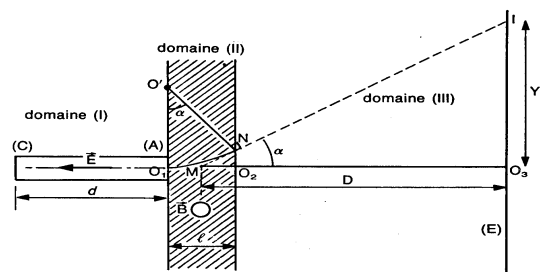
2. Arrivés en O_1 , les électrons subissent sur la distance l l'action d'un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure (le domaine où règne ce champ $\vec{B}$ est hachuré).

2.1. Quel doit être le sens du vecteur $\vec{B}$ pour que les électrons décrivent l'arc de cercle O_1N . Justifier la réponse.

2.2. Établir l'expression du rayon $R = O'O_1 = O'N$ de cet arc de cercle. A.N. Calculer R pour $B = 2 \cdot 10^{-3}$ T.

3.

3.1. Quelle est la nature du mouvement de l'électron dans le domaine III où n'existe aucun champ ?



3.2. Le domaine III est limité par un écran (E) sur lequel arrivent les électrons. Exprimer en fonction de m , e , B , D , l et V_0 la déflexion magnétique $O_3I = Y$ subie par un électron à la traversée du système II + III.

NB.

On fera les hypothèses simplificatrices suivantes :

- dans le domaine II de l'espace, on peut confondre la longueur de l'arc avec la longueur $O_1O_2 = l$ où règne le champ $\vec{B}$.
- On supposera que la déviation angulaire est faible.

3.3. Sachant que $Y = 3,35$ cm, retrouver la valeur $\|\vec{V}_0\|$ de la vitesse de l'électron au point O_1 .

EXERCICE 4 :

Soit un cyclotron à fréquence fixe N . C'est un accélérateur de particules constitué de deux demi-cylindres

conducteurs creux D_1 et D_2 appelés « dés », séparés par un intervalle étroit. A l'intérieur des deux dés D_1 et D_2 , règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ (voir figure). Une tension U est maintenue entre les deux dés. Cette tension change de signe périodiquement. Des protons sont lancés à partir d'un point O dans la région D_1 avec un vecteur vitesse $\vec{V}_0$.

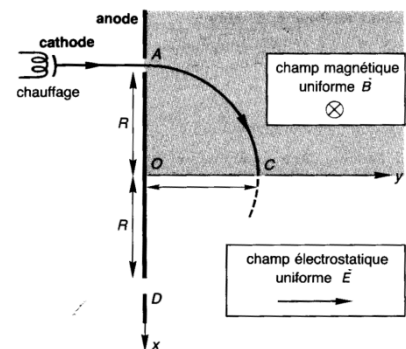
- 1) Exprimer le rayon R , de la trajectoire des protons dans le dé D_1 , ainsi que la durée du trajet effectué.
- 2) Déterminer le vecteur vitesse $\vec{V}_0$ des protons lorsqu'ils sortent de la région D_1 en traversant la paroi PQ . Quel doit être alors le signe de la tension U pour accélérer les protons ? Avec quelle vitesse V_2 pénètrent-ils dans le dé D_2 ?
- 3) Exprimer le rayon R_2 de la trajectoire des protons dans le « dé » D_2 , ainsi que la durée du trajet effectué.
- 4) Quel est le signe de la tension U lorsque les protons quittent le dé D_2 en traversant la paroi PQ ? Calculer la période T et la fréquence N de la tension U , en négligeant la durée de transfert dans l'intervalle entre les deux dés.
- 5) Soit R_0 le rayon des dés. Donner les expressions de la vitesse et de l'énergie cinétique maximales acquises par les protons.

EXERCICE 5 :

Données : Charge de l'électron : $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C ; masse de l'électron $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg

Un faisceau d'électrons, émis d'une cathode par effet thermoélectrique est accéléré au moyen d'une anode OA. La différence de potentiel entre anode et cathode vaut $U_0 = 285$ volts (fig. ci-contre).

- 1) En admettant que les électrons sont émis par la cathode avec une vitesse négligeable, exprimer littéralement puis numériquement la vitesse V_0 des électrons lorsqu'ils traversent le trou A.
- 2) Le faisceau d'électrons pénètre ensuite dans une région où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, dans laquelle il décrit un quart de cercle de rayon $R = 20$ cm.
- 2.a- Calculer littéralement (en fonction de U_0 et de R), puis numériquement, la norme B du champ magnétique.
- 2.b- Caractériser le vecteur vitesse $\vec{v}$ des électrons (direction et norme) à la traversée du trou C.



- 3) Le faisceau d'électrons est enfin dévié par un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ parallèle à l'axe Oy , régnant dans le dièdre xOy (voir la figure).

3.a- Etablir les équations horaires du mouvement projeté sur les axes Ox et Oy .

3.b- En déduire l'équation et la nature de la trajectoire.

3.c- Calculer la valeur à donner à la norme E du champ électrostatique pour que le faisceau d'électrons traverse le trou D à une distance R du point O ; on exprimera E en fonction de U_0 et de R .

EXERCICE 6 :

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.

- 3.1. Une particule de charge q , de masse m , pénètre dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ avec une vitesse $\vec{v}_0$ perpendiculaire à $\vec{B}$.
 - 3.1.1. Montrer que le mouvement de la particule est à vitesse constante dans la région où règne le champ magnétique $\vec{B}$.
 - 3.1.2. Montrer que la trajectoire est circulaire et est située dans un plan que l'on précisera. Donner l'expression littérale du rayon R de cette trajectoire.
- 3.2. 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 en O avec une vitesse $\vec{v}_0$, les ions pénètrent dans une région où règne un champ magnétique uniforme horizontal $\vec{B}$. 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 (voir figure).

3.2.1. Exprimer en fonction de q , m , v_0 et B la distance $d_0 = OT_0$.

3.2.2. A l'entrée dans le champ $\vec{B}$, la valeur de la vitesse de l'ion est $v = v_0 + \Delta v$. L'ion frappe la plaque P en T. Exprimer en fonction de d_0 , v_0 et Δv la distance $D = TT_0$.

3.2.3. En réalité le faisceau d'ion n'est pas homocinétique, les valeurs des vitesses des ions sont comprises entre $v_0 - \Delta v$ et $v_0 + \Delta v$.

3.2.3.1. Exprimer littéralement les rayons R_1 et R_2 des trajectoires correspondant aux vitesses limites en fonction de q , m , v_0 , Δv et B .

3.2.3.2. Exprimer littéralement la distance entre les deux traces T_1 et T_2 , puis calculer numériquement cette distance pour $\Delta v = 5.10^3$.

Données : $|q| = 3,2.10^{-19}$ C ; masse de l'ion $m = 232$ u ; $1 \text{ u} = 1,66.10^{-27}$ kg ; $v_0 = 10^5$ m/s ; $B = 0,20$ T

3.4. On suppose au champ $\vec{B}$ un champ électrique uniforme $\vec{E}$.

3.4.1. Déterminer les caractéristiques de $\vec{E}$ pour recueillir sur la plaque

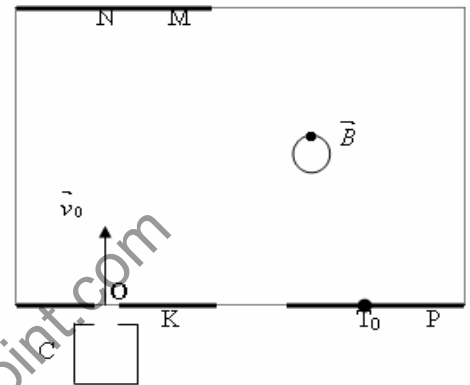
M en N seulement les ions animés de la vitesse v_0 du faisceau non

homocinétique précédent (N est sur la même verticale que O).

3.4.2. Qu'arrive-t-il aux particules de vitesse $v_0 - \Delta v$? De vitesse $v_0 + \Delta v$?

Le dispositif convient-il aussi bien pour les charges positives que pour les charges négatives ?

(Bac 2004 TS2)



EXERCICE 7 :

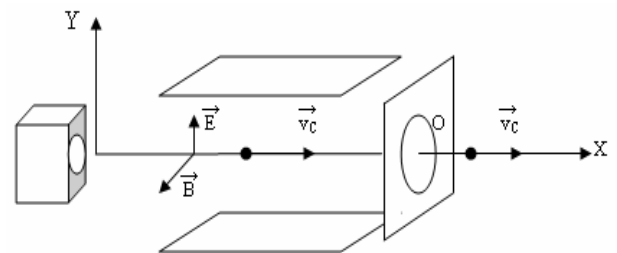
Pour obtenir un faisceau homocinétique à l'entrée d'un spectromètre de masse, on place avant la chambre de déviation un sélecteur de vitesses (**filtre de Wien**). Ce filtre ne laissera passer par une ouverture O que les particules ayant une certaine vitesse v_0 et déviara les particules ayant une vitesse différente.

Le principe d'un filtre considéré est le suivant :

- des particules chargées positivement sont projetées dans l'appareil suivant l'axe des abscisses ;

- Deux plaques parallèles distantes de d entre lesquelles existe une tension U produisent un champ électrique $\vec{E}$.

Dans toute la région où règne $\vec{E}$ existe un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ orthogonal à $\vec{E}$ et à l'axe des abscisses.



1. On observe que pour une certaine vitesse v_0 les particules ne sont pas déviées. Montrer que : $v_0 = \frac{E}{B}$.

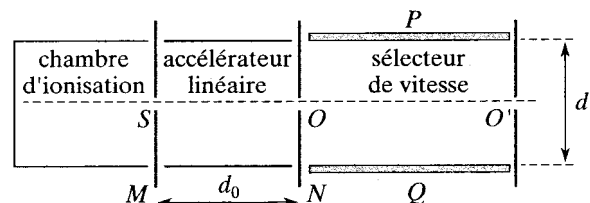
2. Décrire comment seront déviées les particules de vitesse $v > v_0$ et celles de vitesse $v < v_0$.

3. Calculer v_0 dans le cas où $B = 0,10$ T, $d = 0,5$ cm et $U = 50$ V.

EXERCICE 8 :

Données : ${}^3_2\text{He}^{2+}$: $m_1 = 5,0.10^{-27}$ kg ; ${}^4_2\text{He}^{2+}$: $m_2 = 6,7.10^{-27}$ kg ; ${}^6_2\text{He}^{2+}$: m_3

Une chambre d'ionisation produit des noyaux d'hélium ${}^3_2\text{He}^{2+}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$, ${}^6_2\text{He}^{2+}$ de masses respectives m_1 , m_2 , m_3 . Leur poids est négligeable devant les forces électromagnétiques qu'ils subissent. Ils pénètrent en S 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 $\vec{V}_1$, $\vec{V}_2$, $\vec{V}_3$ les vecteurs vitesse en O des ions ${}^3_2\text{He}^{2+}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$, ${}^6_2\text{He}^{2+}$

On notera e la charge électrique élémentaire.

1.a. Déterminer le signe de U_0 et représenter le champ électrique $\vec{E}_0$ dans l'accélérateur.

1.b. Exprimer l'accélération d'un ion ${}^4_2\text{He}^{2+}$ en fonction de U_0 , d_0 , e et m_2 ; préciser la nature de son mouvement.

2. Montrer qu'en O, à la sortie de l'accélérateur, $m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 = m_3 v_3^2$.

3. Les ions pénètrent ensuite dans un sélecteur de vitesse limité par les plaques P et Q. Ils sont alors soumis à l'action simultanée de

deux champs : un champ électrique uniforme $\vec{E}$, créé par une différence de potentiel positive $U = V_Q - V_P$, et un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire à $\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3$.

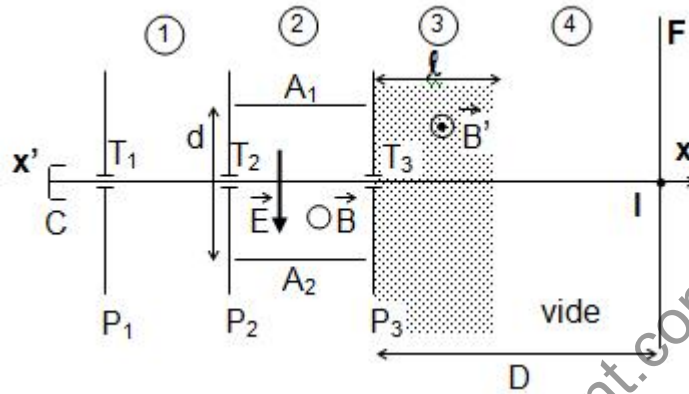
3.a. Représenter le champ magnétique $\vec{B}$ pour que la force électrique et la force magnétique aient même direction, mais des sens contraires.

3.b. On règle la valeur de U de façon que le mouvement des ions ${}^4_2\text{He}^{2+}$ soit rectiligne uniforme de trajectoire OO' . Exprimer U en fonction de B, v_2 et d .

4. Comment seront déviés les ions ${}^3_2\text{He}^{2+}, {}^4_2\text{He}^{2+}, {}^6_2\text{He}^{2+}$?

On se contentera de donner l'allure des trajectoires sans préciser leur nature et sans faire de calcul.

EXERCICE 9 :



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.

F 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.

4.1

Les ions Na^+ du trou T_1 , avec une vitesse supposée nulle. Accélérés par une différence de potentiel $U = V_{P1} - V_{P2}$ entre les plaques P_1 et P_2 , ils franchissent le trou T_2 avec une vitesse $\vec{V}_0$.

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

$$\text{l'expression : } \frac{q}{m} = \frac{V_0^2}{2U}$$

4.2

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.

4.2.1 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.

4.2.2 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 .

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

4.2.4 : Exprimer le rapport $\frac{q}{m}$ en fonction de U, E et B . Faire l'application numérique.

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

4.3

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 θ faible avec l'axe $x'x$.

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

4.3.2 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.

Etablir 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.