

P 6 - MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME.

TRAVAUX DIRIGES TERMINALE S

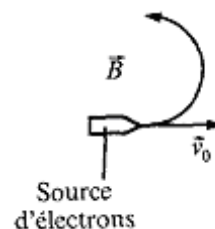
1 Questions de cours

On considère une particule de charge q , animée d'une vitesse \vec{V}_0 , dans une région où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} .

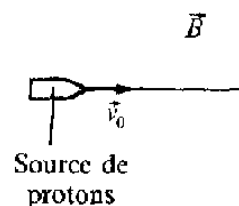


- 1) Comment s'appelle la force magnétique subie ?
- 2) Quelle est la valeur de la puissance fournie par la force magnétique ?
- 3) Quelle est la valeur de la force magnétique subie si $\vec{V}_0 \perp \vec{B}$? Déterminer alors l'accélération a de la particule ?
- 4) Donner la forme de la trajectoire si $\vec{V}_0 \perp \vec{B}$.
- 5) La période de rotation T dépend-elle de la masse des particules, de leur vitesse ?
- 6) Donner l'expression du rayon de courbure R de la trajectoire décrite lorsque $\vec{V}_0 \perp \vec{B}$.
- 7) Le trièdre $(\vec{V}_0, \vec{B}, \vec{F})$ est-il direct lorsque $q < 0$? - lorsque $q > 0$?
- 8) Un champ magnétique peut-il accélérer une particule chargée ?
- 9) Dans quels appareils est utilisée la déflexion magnétique ?
- 10) Rappeler le principe du cyclotron.

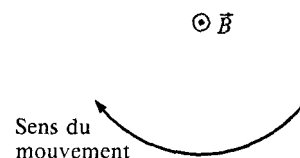
2 Représenter le vecteur champ magnétique permettant au faisceau d'électrons d'adopter la trajectoire plane et circulaire schématisée ci-contre.



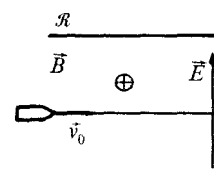
3 Représenter le vecteur champ magnétique \vec{B} permettant au faisceau de protons de conserver la trajectoire rectiligne ci-contre, à la sortie de la source.



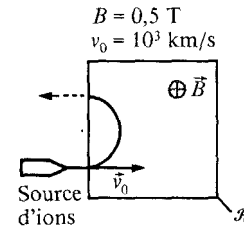
4 Quel est le signe de la charge électrique portée par la particule dont la trajectoire plane et circulaire est représentée ci-contre ?



5 Un faisceau horizontal de protons pénètre dans une région où règnent un champ électrique uniforme \vec{E} et un champ magnétique uniforme \vec{B} . On constate que certaines particules traversent le dispositif sans déviation. Quelle est la seule orientation possible pour le champ \vec{B} ?



6 Un ion noyau ${}_{10}^{20}\text{Ne}^+$ possédant une vitesse initiale \vec{V}_0 pénètre dans la région R où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} . La particule effectue un demi-tour circulaire avant de ressortir. Déterminer la durée du mouvement dans la région R.



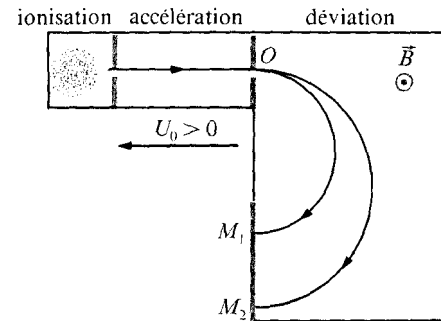
7 Une particule, de charge q et de masse m, plongée dans un champ magnétique \vec{B} , possède un mouvement circulaire et uniforme de période T appelée période cyclotron. Donner l'expression de T en fonction de m, q et B.

Application: La fréquence cyclotron d'une particule de charge q et de masse m, en mouvement circulaire uniforme dans un champ magnétique de valeur $B = 0,1 \text{ T}$ est $N = 1,534 \text{ MHz}$. Identifier la particule.

Particule	Charge (C)	Masse (kg)
électron \bar{e}	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$
proton p	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,66 \cdot 10^{-27}$
mésion K^+	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$8,79 \cdot 10^{-28}$

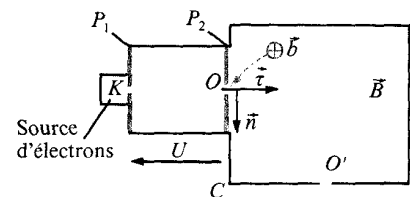


8 Des ions ${}^{\text{A}_1}_Z \text{X}^+$ et ${}^{\text{A}_2}_Z \text{X}^+$ ions d'atomes isotopes, créés dans une chambre d'ionisation avec une vitesse négligeable, sont accélérés par une ddp U_0 . Ils sont ensuite envoyés dans une chambre de déviation où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} . L'impact des deux types d'ions sur une plaque photographique se fait respectivement aux points M_1 et M_2 . Montrer que la relation entre les distances OM_1 et OM_2 peut se



mettre sous la forme :
$$\frac{OM_1}{OM_2} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

9 Un faisceau d'électrons, émis en K avec une vitesse négligeable, est accéléré entre les deux plaques P_1 et P_2 par une ddp $|U| = 500 \text{ V}$. Ce faisceau pénètre en O dans une chambre vide où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} .



Donner toutes les caractéristiques de \vec{B} pour que le faisceau ressorte en O' .

$OC = O'C = L = 5 \text{ cm}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

10 Poids et force magnétique- fréquence de rotation

Des particules \square (noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}^{2+}$) de masse $m = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ et de charge $q = +2e$ pénètrent avec une vitesse \vec{V}_0 de valeur $V_0 = 2 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ dans une région de l'espace où règne un champ magnétique \vec{B} uniforme orthogonal à \vec{V}_0 . Elles décrivent alors une trajectoire circulaire de rayon $R = 42 \text{ cm}$.

- 1) Comparer le poids et la force magnétique subis par la particule \square .
- 2) Calculer la valeur du champ \vec{B} .
- 3) Calculer la période T et la fréquence N de rotation.

11 Déflexion magnétique



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

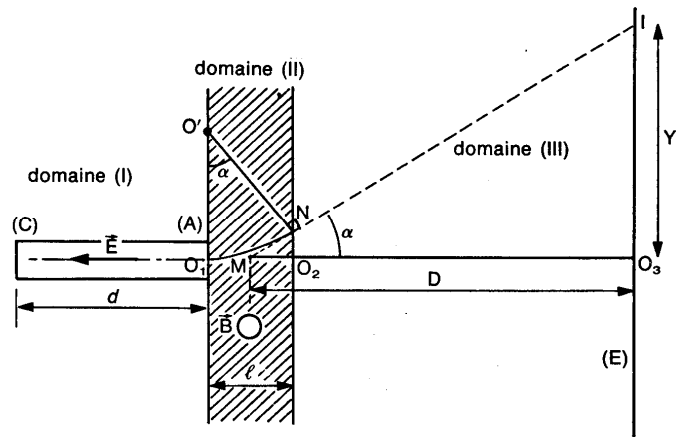
Dans tout l'exercice, on négligera le poids de l'électron devant les autres forces qui agissent sur lui.

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

1.b- 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). Quel doit être le sens du vecteur \vec{B} pour que les électrons décrivent l'arc de cercle O_1N . Justifier la réponse. Établir l'expression du rayon $R = O_1O_1 = O_1N$ de cet arc de cercle.

A.N. Calculer R pour $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$.

3)

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

3.b- 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. La droite IN coupe l'axe O_1O_2 au point M . L'écran E est à la distance D de ce point M .

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

12 Spectrographe de masse

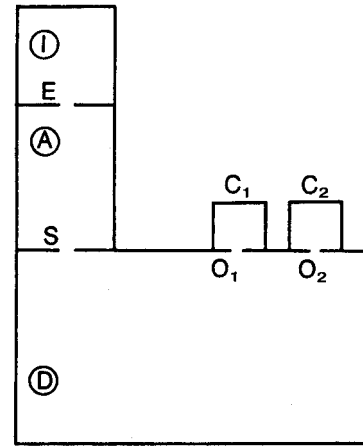
$|U_0| = 4,00 \cdot 10^3 \text{ V}$; $B = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ T}$; $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

1) Des ions de masse m et de charge $q < 0$ sont produits dans la chambre d'ionisation (I) avec une vitesse pratiquement nulle. Ils entrent en E dans l'enceinte A, sous vide, où ils sont accélérés et ressortent en S. Les orifices E et S sont pratiquement ponctuels, et on note $U_0 = V_E - V_S$ la différence de potentiel accélératrice. La vitesse des ions reste suffisamment faible pour que les lois de la mécanique classique soient applicables.

P6 - MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME.

Etablir l'expression littérale de la norme du vecteur vitesse d'un ion à sa sortie en S, en fonction de m, q et U_0 .

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



2.a- Quel doit être le sens du vecteur champ magnétique pour que les ions puissent atteindre les points O_1 ou O_2 ?

Justifier la réponse.

2.b- En S, le vecteur vitesse des ions est perpendiculaire à la droite passant par les points O_2 , O_1 et S.

Montrer que la trajectoire d'un ion dans l'enceinte D est plane.

Montrer que la vitesse de l'ion est constante, que la trajectoire est un cercle de rayon R.

Déterminer l'expression du rayon R.

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

3.a- Dans quel collecteur sont reçus les ions de masse m_1 ? Justifier la réponse.

3.b- Calculer la distance entre les entrées O_1 et O_2 des deux collecteurs C_1 et C_2 chargés de récupérer les deux types d'ions.

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

Justifier votre réponse.

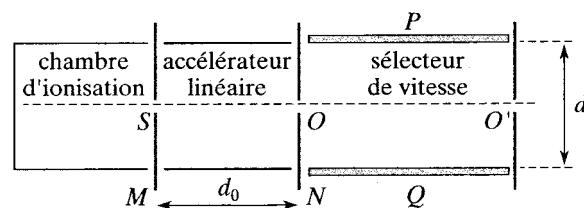
13 filtre de vitesse

Données : $^3_2\text{He}^{2+}$: $m_1 = 5,0 \cdot 10^{-27}$ kg ; $^4_2\text{He}^{2+}$: $m_2 = 6,7 \cdot 10^{-27}$ kg ; $^6_2\text{He}^{2+}$: m_3

1) 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.

14 Le cyclotron

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 «dees», séparés par un intervalle étroit. A l'intérieur des deux dees D_1 et D_2 , règne un champ magnétique

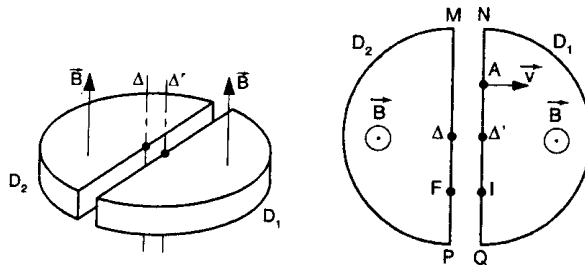
uniforme \vec{B} (voir figure).

Une tension U est maintenue entre les deux dees.

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 dee 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 dee D_2 ?

3) Exprimer le rayon R_2 de la trajectoire des protons dans le « dee » D_2 , ainsi que la durée du trajet effectué.

4) Quel est le signe de la tension U lorsque les protons quittent le dee 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 dees.

5) Soit R_0 le rayon des dees. Donner les expressions de la vitesse et de l'énergie cinétique maximales acquises par les protons.

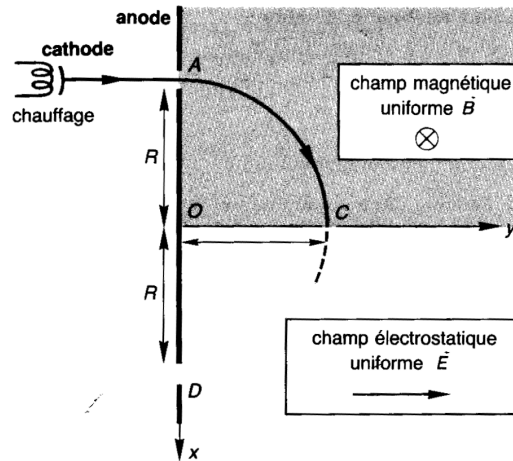
15 Electrons dans un champ magnétique et dans un champ électrique.

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



doro-cisse.e-monsite.com

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 .

16 Action d'un champ magnétique uniforme sur un faisceau d'électrons

Dans tout l'exercice, on considère que l'électron se déplace dans le vide et que son poids est négligeable devant les autres forces.

Un canon à électrons (voir figure ci-contre) comporte un filament et une plaque P percée d'un petit trou. C et P sont distants de $d = 3$ cm. Les électrons émis avec une vitesse initiale négligeable depuis C, sont soumis à une différence de potentiel $V_P - V_C = 300$ V.

1) Déterminer l'orientation et la valeur du vecteur

champ électrique \vec{E} entre C et P.

2) Calculer la vitesse V_0 d'un électron lorsqu'il parvient en P ainsi que son accélération a et la durée du parcours entre C et P.

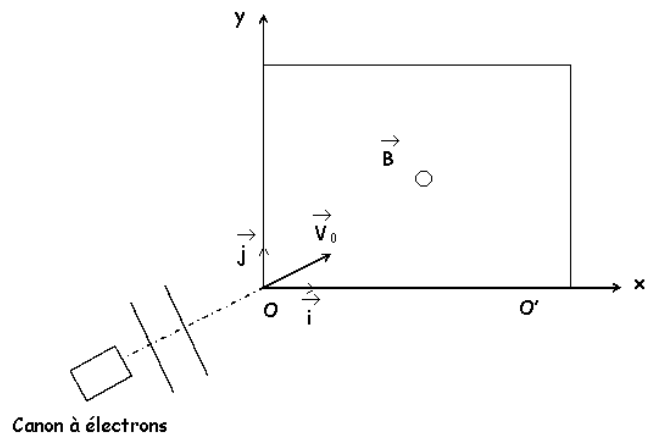
3) A sa sortie en P, l'électron pénètre, avec la vitesse

\vec{V}_0 dans une région où règne un champ magnétique

uniforme \vec{B} normal au plan associé au repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . En O, le vecteur vitesse \vec{V}_0 de l'électron est incliné d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à la direction OA. La valeur du champ magnétique est telle que l'électron recoupe l'axe Ox en A tel que $OA = 5$ cm.

3.a- Préciser en le justifiant le sens du vecteur \vec{B} .

3.b- Calculer le rayon de courbure R de la trajectoire de l'électron entre O et A. En déduire la valeur du champ magnétique dans ces conditions expérimentales.

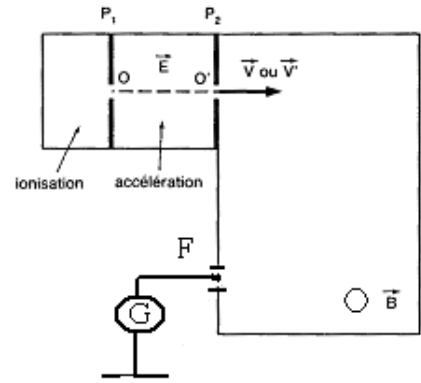


17 Détermination de la composition isotopique du lithium naturel.

Données : ${}^6\text{Li}^+ : m_1 \approx 6u ; {}^7\text{Li}^+ : m_2 \approx 7u ; 1u = 6,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Dans tout l'exercice, on considère que les ions se déplacent dans le vide et que leur poids est négligeable devant les autres forces.

A l'aide du spectrographe de masse schématisé ci-contre, on se propose de séparer les ions ${}^6\text{Li}^+$ et ${}^7\text{Li}^+$ de masses respectives m_1 et m_2 .



1) Les ions pénètrent en O dans le champ électrique uniforme \vec{E} existant entre les deux plaques verticales P_1 et P_2 pour y être accélérés jusqu'en O' .

Les plaques P_1 et P_2 , distantes de $d = 10 \text{ cm}$, sont soumises à la tension $U = V_{P1} - V_{P2} = 2000 \text{ V}$.

1.a- Quelle est la nature du mouvement des ions Li^+ entre les plaques P_1 et P_2 ?

1.b- Les ions ${}^6\text{Li}^+$ et ${}^7\text{Li}^+$ sortent en O' du champ électrique avec des vitesses respectives V_1 et V_2 , leur vitesse en O est négligeable devant V_1 et V_2 .

Etablir la relation :

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

2) A leur sortie en O' , les ions Li^+ pénètrent dans une région où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} normal au plan du schéma.

2.a- Préciser en le justifiant le sens du vecteur \vec{B} .

2.b- Montrer que le mouvement d'un ion Li^+ s'effectue dans le plan du schéma.

2.c- Montrer que la valeur de la vitesse est constante.

2.d- Montrer que la trajectoire est circulaire. Exprimer son rayon R.

3) A leur sortie du champ magnétique \vec{B} , les ions passent au travers d'une large fente et sont captés par un fil métallique F relié à la Terre par l'intermédiaire d'un galvanomètre sensible G.

3.a- A quelles distances x_1 et x_2 faut-il placer le fil F pour recevoir respectivement les ions ${}^6\text{Li}^+$ et ${}^7\text{Li}^+$? Exprimer, en fonction de B, m_1 , m_2 , U et la charge élémentaire e, la distance F_1F_2 entre les deux types d'ions à leur arrivée sur le fil. F_1 et F_2 sont respectivement les points de réception des ions ${}^6\text{Li}^+$ et ${}^7\text{Li}^+$ sur le fil F.

3.b- Pour les valeurs x_1 et x_2 précédentes, le galvanomètre indique, pendant la même durée de passage, les courants respectifs $I_1 = 14,8 \mu\text{A}$ et $I_2 = 185,2 \mu\text{A}$.

Quelle est la composition isotopique du lithium ?

18 Spectrographie de masse

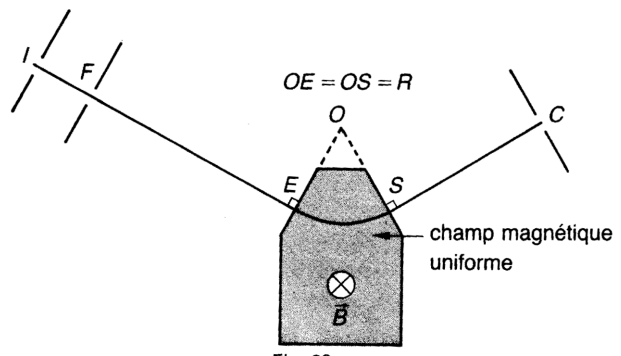
- $R = 0,70 \text{ m} ; B = 0,16 \text{ T} ;$
- masse d'un atome de strontium 88 : $87,6 \text{ u} ;$ unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

P6 - MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME.

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les particules étudiées ne sont pas relativistes.

Dans le spectrographe de masse schématisé à la figure ci-contre, des ions positifs de masse m , de charge q , sortent en I d'une chambre d'ionisation avec une vitesse négligeable.

Ils sont accélérés entre I et F par une tension $U = V_I - V_F$ continue et réglable. Ils sont ensuite déviés entre E et S par un champ magnétique uniforme de



→ vecteur \vec{B} perpendiculaire au plan de figure, l'intensité B du champ magnétique restant constante pendant toute la durée d'utilisation. Ils sont enfin recueillis à l'entrée fixe C d'un collecteur.

Dans cet appareil tous les ions que l'on veut recueillir en C doivent suivre la même trajectoire IFESC. D'autre part, le vide est réalisé dans l'appareil, et l'effet de la pesanteur sur les ions est négligeable.

La portion ES est un arc de cercle de centre O et de rayon R.

- 1) Etablir en fonction de q , m et U l'expression de la valeur v de la vitesse avec laquelle un ion quelconque du faisceau parvient en E.
- 2) Etablir la relation qui doit exister entre q , v , B , m et R pour que cet ion suive la trajectoire imposée.
- 3) Dédire des deux questions précédentes la relation entre q , B , R , m et U .
- 4) On utilise ce spectrographe de masse pour identifier les isotopes du strontium ; les atomes de strontium s'ionisent sous forme d'ions Sr^{2+} .

4.a- On place d'abord dans la chambre d'ionisation du strontium 88.

Calculer la valeur à donner à la tension U pour que les ions du strontium 88 soient collectés en C.

4.b- On place maintenant dans la chambre d'ionisation un mélange d'isotopes du strontium.

Pour les recueillir successivement en C, il faut donner à U différentes valeurs comprises entre 13 930 V et 14 440 V. Entre quelles valeurs se situent les nombres de masse de ces isotopes ?

doro-cisse-monsite.com