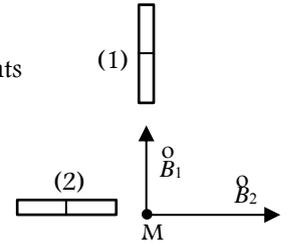


**SERIE D'EXERCICE SUR P5 & P6: GENERALITES SUR LES CHAMPS MAGNETIQUES-CHAMP MAGNETIQUE DES COURANTS / MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME**

**EXERCICE 1:**

En un point M de l'espace se superposent deux champs magnétiques  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  créés par deux aimants droits dont les directions sont orthogonales. Leurs valeurs sont:  $B_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  T et  $B_2 = 4 \cdot 10^{-3}$  T.



- 1/ Déterminer les noms des pôles des deux aimants.
- 2/ Construire graphiquement le champ résultant  $\vec{B}$ . Calculer les valeurs de B et  $\alpha = (\vec{B}, \vec{B}_1)$
- 3/ Quelle est la position prise par une aiguille aimantée (témoin) placée en M.

**EXERCICE 2:**

**4.1** Un solénoïde de longueur  $\ell = 30$  cm, d'inductance L comportant  $N = 500$  spires circulaires de rayon  $r = 2,5$  cm est parcouru par un courant d'intensité  $I = 25$  mA dont le sens est indiqué sur la figure 4. On donne : la perméabilité du vide  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  SI.

**4.1.1** Reproduire la figure 4 sur la copie puis représenter le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  au point O et préciser les faces Nord et Sud du solénoïde.

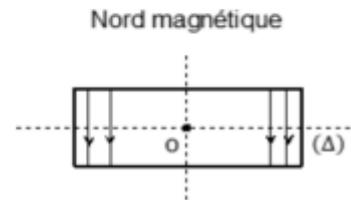
Calculer la valeur de l'intensité de  $\vec{B}$

(0,75 pt)

**4.1.2** L'axe horizontal du solénoïde est perpendiculaire au plan du méridien magnétique. On place une aiguille aimantée au point O en l'absence de courant électrique. Ensuite on fait passer un courant électrique d'intensité  $I = 25$  mA dans le solénoïde. L'aiguille tourne d'un angle  $\alpha$ .

Reproduire la figure précédente et représenter au point O la composante horizontale  $\vec{B}_H$  du champ magnétique terrestre. Déterminer la valeur de  $\alpha$ . On donne  $B_H = 2 \cdot 10^{-5}$  T.

(0,75 pt)

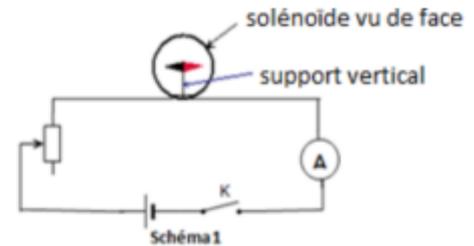


**EXERCICE 3:**

Un groupe d'élèves, sous la supervision de leur professeur décide :  
- d'abord, de vérifier expérimentalement la valeur de l'intensité  $B_H = 2 \cdot 10^{-5}$  T de la composante horizontale du champ magnétique terrestre et la valeur de la perméabilité magnétique du vide  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  S.I.

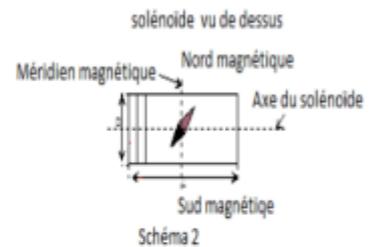
- ensuite d'étudier une condition permettant d'admettre la formule (établie expérimentalement) de l'intensité  $B_0$  du champ magnétique au centre d'un solénoïde.

Pour cela, le groupe d'élèves réalise le circuit ci-contre (schéma 1) qui comprend en série : Un solénoïde de longueur  $L = 50$  cm, de diamètre  $D = 8$  cm, comportant  $N = 100$  spires, au centre duquel il place une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical, un générateur de tension continue, un rhéostat, un ampèremètre (A) et un interrupteur K.



**4.1-Vérification de la valeur de l'intensité  $B_H$**

L'axe du solénoïde est perpendiculaire au méridien magnétique. En l'absence de courant, l'aiguille aimantée s'est orientée dans la direction et le sens de la composante horizontale  $\vec{B}_H$  du champ magnétique terrestre (axe sud-nord magnétique). Lorsqu'un élève du groupe ferme l'interrupteur K, l'ampèremètre indique une intensité  $I = 50$  mA et l'aiguille aimantée dévie d'un angle  $\alpha = 32^\circ$  (schéma 2).



**4.1.1**-Reproduire le schéma du solénoïde vu de dessus sur votre copie. Représenter  $\vec{B}_H$  et  $\vec{B}_0$ . Indiquer le sens du courant sur une spire.

(0,75 pt)

**4.1.2**-Ecrire l'expression de l'intensité  $B_0$  du champ magnétique au centre de ce solénoïde de longueur L, comportant N spires, lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité I.

(0,25 pt)

**4.1.3**-Déterminer la valeur de  $B_H$ . Conclure

(0,75 pt)

**4.2-Détermination expérimentale de la perméabilité magnétique du vide**

Pour déterminer la perméabilité magnétique du vide connaissant la valeur de  $B_H$ , le groupe d'élèves relève différentes valeurs de l'angle  $\alpha$  pour des valeurs de l'intensité I indiquées par l'ampèremètre, lorsqu'il fait varier la résistance du rhéostat. Les élèves consignent les résultats obtenus dans le tableau ci-dessous.

I (A)	0,5	1	2	2,5
$\alpha$ (°)	81,1	85,5	87,75	88,2
$\frac{\tan \alpha}{I}$ (A <sup>-1</sup> )				



**4.2.1-Reproduire et compléter le tableau. Conclure**

**4.2.2-Déterminer la valeur expérimentale de la perméabilité magnétique  $\mu_0$  du vide.**

**4.2.3-Déterminer l'écart relatif entre les valeurs théorique et expérimentale de la perméabilité magnétique du vide.**

**4.3-Condition de validité de l'expression de l'intensité  $B_0$  du champ magnétique au centre d'un solénoïde**

Le professeur donne au groupe l'expression théorique de l'intensité du champ magnétique créé au centre d'un solénoïde de longueur L, de diamètre D, comportant N spires parcourues par un courant d'intensité I :  $B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

A partir de quelle valeur du rapport  $\frac{L}{D}$  peut-on identifier B à  $B_0$  avec une précision inférieure à 1% ?

On donne l'approximation suivante qu'on peut utiliser au besoin :  $(1 + \epsilon)^n \approx 1 + n \epsilon$  pour  $\epsilon \ll 1$

**EXERCICE 4:**

On étudie le champ magnétique créé par les bobines de HELMOHLTZ. Ce sont deux bobines plates circulaires, identiques, de même axe, de centres  $O_1$  et  $O_2$ , de rayon R, distantes l'une de l'autre de  $d = R$ , comportant chacune N spires. On désigne par O le milieu de  $O_1O_2$  (Voir figure 1 et 2). On donne  $R = 6,5 \text{ cm}$  ;  $N = 100$  spires.

1/ Les deux bobines sont traversées par des courants de même sens et de même intensité i.

2/ Recopier la figure 2 et représenter le vecteur champ magnétique résultant  $\vec{B}$ , créé par les bobines au point O. Justifier cette représentation.

3/ On fait varier l'intensité du courant i et on mesure, à chaque fois, la valeur du champ magnétique B au point O.

On obtient le tableau de mesures suivant:

<i>i</i> (A)	0	0,2	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	2,8
<i>B</i> (mT)	0	0,28	0,69	1,10	1,40	2,10	2,70	3,50	3,90

Tracer la courbe  $B = f(i)$  avec les échelles suivantes:  $\begin{cases} 1 \text{ cm pour } 0,25 \text{ A} \\ 1 \text{ cm pour } 0,4 \text{ mT} \end{cases}$

Déduire de l'allure de la courbe, la relation entre B et i.

4/ Dans le vide, la valeur du champ magnétique résultant créé par les bobines, en O, est donnée par:  $B = 0,72 \mu_0 \frac{N}{R} i$ .

Dans cette relation,  $\mu_0$  représente la perméabilité magnétique du vide. En utilisant la relation établie en 3/ déterminer la valeur de  $\mu_0$ .

5/ Au point O, on place une aiguille aimantée, mobile autour d'un pivot vertical. En l'absence de courant dans les bobines, l'aiguille s'oriente comme l'indique la figure 3. L'axe de l'aiguille est alors parallèle aux plans des bobines. La valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre vaut  $B_H = 2.10^{-5} \text{ T}$ . On fait passer dans les bobines un courant d'intensité  $I = 50 \text{ mA}$ , l'aiguille aimantée dévie alors d'un angle  $\alpha$ .

a/ Faire un schéma indiquant clairement le sens du courant dans les bobines, les vecteurs champs magnétiques au point O et l'angle de rotation  $\alpha$  de l'aiguille aimantée.

b/ Déterminer la valeur de l'angle de rotation  $\alpha$  de l'aiguille aimantée.

6/ Sans modifier le courant traversant les bobines ( $I = 50 \text{ mA}$ ) on place un aimant droit suivant une direction perpendiculaire à  $O_1O_2$  et confondue avec la direction initiale de l'aiguille (voir figure 4). L'aiguille accuse alors une déviation  $\alpha' = 45^\circ$  par rapport à sa position en l'absence de courant. Préciser les caractéristiques du vecteur champ magnétique créé par l'aimant droit au point O.

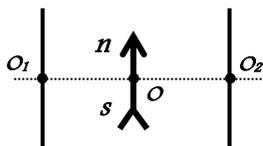
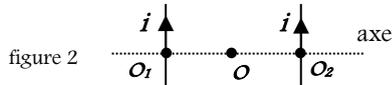
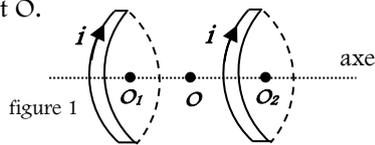


figure 3

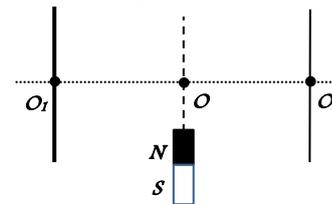


figure 4

**EXERCICE 5:**

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  $\ell$ .

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  $\text{Na}^+$  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

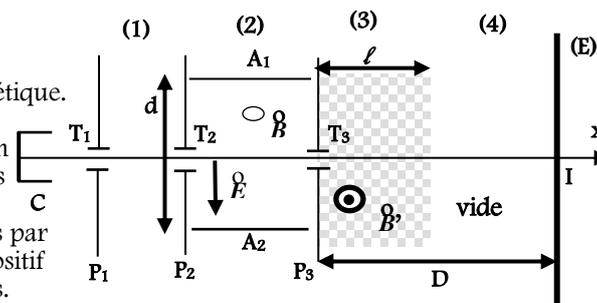
une distance d ; elles n'ont aucun contact électrique avec  $P_2$  et  $P_3$ . Le dispositif

est placé dans le vide. On néglige le poids des ions devant les autres forces.

1/ Les ions  $\text{Na}^+$  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  $\text{Na}^+$  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<sub>3</sub>.

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:  $U = 3,9 \text{ kV}$ ;  $E = 9.10^8 \text{ V.m}^{-1}$ ;  $B = 5.10^{-2} \text{ T}$ .

3/ Après le trou T<sub>3</sub>, 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<sup>+</sup> fait un angle  $\alpha$  faible avec l'axe x'x.

a/ Représenter, justification à l'appui, la trajectoire d'un ion de T<sub>3</sub> à l'écran.

b/ Le point M est le point d'impact des ions Na<sup>+</sup> 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<sub>0</sub>, 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 6:**

On se propose d'identifier des ions hydrogène  $^1_1\text{H}^+$  et hélium  $^4_2\text{He}^{2+}$ , produits simultanément par la chambre d'ionisation (C<sub>1</sub>) d'un spectrographe de masse. Ces ions pénètrent, avec une vitesse initiale négligeable, par un point S dans une chambre (C<sub>2</sub>) où ils sont accélérés par une tension U appliquée entre les plaques P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>. Au point I chaque type d'ions acquiert une vitesse  $\vec{v}_i$  (On attribue l'indice i = 1 à l'ion  $^1_1\text{H}^+$  et l'indice i = 2 à l'ion  $^4_2\text{He}^{2+}$ ). Cette vitesse est maintenue constante dans un sélecteur (C<sub>3</sub>) délimité par les plaques P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub> où règnent simultanément un champ électrique uniforme  $\vec{E}_1$  réglable et un champ magnétique uniforme  $\vec{B}_0$ . Au-delà du trou O, les ions sont déviés dans une chambre (C<sub>4</sub>) où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  et collectés sur une plaque déflectrice.

**3.1 La chambre d'accélération (C<sub>2</sub>).**

3.1.1. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer l'intensité  $v_i$  de la vitesse  $\vec{v}_i$  d'un ion (i) à la sortie de (C<sub>2</sub>) au point I, en fonction de sa charge q<sub>i</sub> et de la tension U.

3.1.2. Montrer que le rapport des masses  $\frac{m_2}{m_1} = 2 \frac{v_1^2}{v_2^2}$ .

**3.2. Le sélecteur (C<sub>3</sub>) ou filtre de vitesses.**

On règle l'intensité du champ électrique  $\vec{E}_1$  à une valeur E<sub>1</sub> pour faire passer un type d'ions par le trou O.

1.2.1. Reproduire sur la copie le sélecteur (C<sub>3</sub>), puis représenter la force électrique  $\vec{F}_{e1}$  et la force magnétique  $\vec{F}_{m1}$  qui s'applique sur l'ion (1). Justifier la direction et le sens de  $\vec{F}_{m1}$ .

1.2.2.

3.2.2. Indiquer le sens du vecteur champ magnétique  $\vec{B}_0$ . Justifier.

3.2.3. Etablir l'expression de la vitesse  $v_1$  de la vitesse  $\vec{v}_1$  en fonction de E<sub>1</sub> et B<sub>0</sub>.

**3.3. La chambre de déviation (C<sub>4</sub>)**

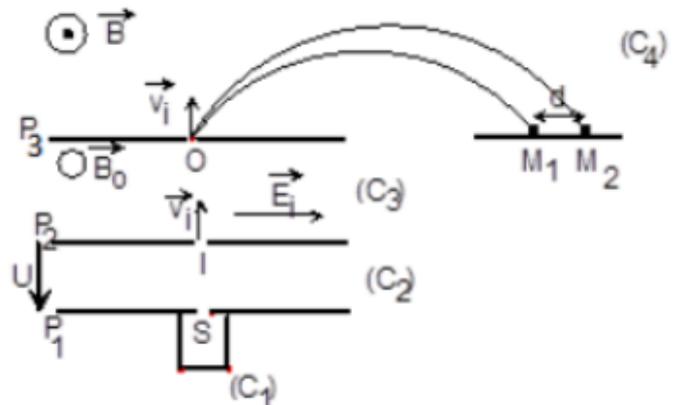
3.3.1. Chaque type d'ions effectue dans le plan de la figure un mouvement circulaire uniforme. Montrer que le

rayon R<sub>i</sub> de la trajectoire d'un ion (i) a pour expression  $R_i = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_i U}{q_i}}$

3.3.2. Les deux types d'ions rencontrent la plaque déflectrice aux points M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub> tel que la distance M<sub>1</sub>M<sub>2</sub> = d = 1,5 cm. Déterminer les masses m<sub>1</sub> et m<sub>2</sub> puis identifier les deux isotopes étudiés.

N.B. Le sélecteur de vitesse a permis de calculer la valeur du rapport des vitesses  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$ .

Données : U = 980 V ; B = 0,25 T ; l'unité de masse atomique : 1 u = 1,67.10<sup>-27</sup> kg ; masse d'un atome : m = Au ; charge élémentaire : e = 1,6.10<sup>-19</sup> C.



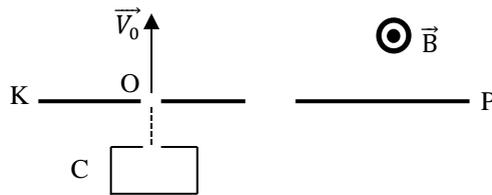
**EXERCICE 7:**

La déviation magnétique de particules chargées possède de nombreuses applications théoriques et pratiques (cyclotrons, téléviseurs, filtres de vitesse...).

On se propose d'étudier la déviation de particules chargées dans un champ magnétique uniforme.



Des ions de masse  $m$ , de charge  $q$  sont émis par une chambre d'ionisation C avec une vitesse quasi nulle. Ils sont ensuite accélérés par une tension appliquée entre la chambre d'ionisation et l'électrode K horizontale percée d'un trou O. Le dispositif est placé dans l'espace où règne un vide supposé parfait. Le poids des ions est négligeable devant les autres forces et les vitesses sont faibles devant la célérité de la lumière.



1/ Un ion de masse  $m$ , de charge  $q$ , arrive par le trou O dans une zone où règne le champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ . La vitesse de l'ion en O est verticale et perpendiculaire au vecteur  $\vec{B}$ . Après avoir décrit une trajectoire dans l'espace où règne le champ  $\vec{B}$ , l'ion frappe une plaque photographique P se trouvant dans le plan horizontal de K. Soit  $I_0$  le point d'impact de l'ion sur la plaque P.

a/ Etablir l'expression de l'intensité de la force magnétique qui s'exerce sur l'ion quand il pénètre en O dans le champ magnétique. Déterminer la valeur de cette intensité. Quel est le signe de la charge portée par un ion ? Justifier la réponse.

b/ Pour un ion donné, comment varie la norme du vecteur vitesse avec le temps dans la zone où le champ magnétique est uniforme? Justifier la réponse.

c/ Montrer que le mouvement d'un ion est plan dans l'espace où règne le champ magnétique  $\vec{B}$ .

d/ Montrer qu'un ion a une trajectoire circulaire et exprimer la distance  $OI_0$  en fonction de  $m, B, q, V_0$ . Calculer cette distance

**On donne :**  $|q| = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $m = 232 \text{ u}$  (masses de l'ion étudié);  $1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $V_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ;  $B = 0,02 \text{ T}$ .

2/ Les ions produits par la chambre d'ionisation ont même masse  $m = 232\text{u}$  mais des vitesses différentes. Quand les ions entrent dans le champ magnétique  $\vec{B}$ , ils n'ont pas tous la même vitesse. La valeur des vitesses des ions est comprise entre  $V_0(1+a)$  et  $V_0(1-a)$ . Les ions de vitesse  $V_0(1+a)$  impressionnent la plaque P en un point I alors que les ions de vitesse  $V_0(1-a)$  l'impressionnent en I'. Déterminer la distance  $D = II'$  sur laquelle se répartissent les points d'impact des ions sur la plaque photographique. **On prendra:  $a = 5 \cdot 10^{-3}$**

3/ Les ions produits par la chambre d'ionisation ont même vitesse mais sont des isotopes du même élément.

a/ Si les isotopes arrivent en O avec la même vitesse, quelle grandeur physique caractéristique des différents isotopes peut-on identifier à partir des positions des points d'impact sur la plaque photographique?

b/ La dispersion des ions étudiée à la question 2, peut-elle entraîner des difficultés pour déterminer le nombre d'isotopes si elle se produit ? Quel dispositif faudrait-il placer entre la chambre d'ionisation et le point O pour avoir un faisceau rigoureusement homocinétique au point O ? Faire un schéma clair pour appuyer son argumentation.

**EXERCICE 8:**

A l'intérieur d'une chambre d'ionisation, on produit des ions potassium  $K^+$ . Parmi ces ions existent deux isotopes :  ${}^a_{19}K^+$  et  ${}^b_{19}K$  de masse respectives  $m_1$  et  $m_2$ .

1/ Ces ions pénètrent dans l'accélérateur par le trou S avec une vitesse pratiquement nulle. Ils sont accélérés sous l'action d'une différence de potentiel positive  $U = V_P - V_{P'}$ , établie entre les plaques P et P'. Ils parviennent au trou S' qui les conduit vers le filtre de vitesse.

On désigne par  $\vec{V}_1$  le vecteur vitesse en S' de l'ion  ${}^a_{19}K^+$  et par  $\vec{V}_2$  celui de l'ion  ${}^b_{19}K$ . On désigne par  $V_1$  et  $V_2$  les valeurs de ces vitesses.

a/ Montrer que les énergies cinétiques des deux isotopes sont égales.

b/ Déterminer le rapport des masses  $\frac{m_2}{m_1}$  et le rapport des vitesses  $\frac{V_2}{V_1}$  en fonction des nombres de masse a et b (on assimilera la masse de l'ion à la somme des masses des nucléons composant son noyau).

c/ Application numérique: pour cette question et pour toute la suite du problème, on prendra  $a = 39$  et  $b = 40$ .

Calculer  $\frac{m_2}{m_1}$  et  $\frac{V_2}{V_1}$ . Déterminer la valeur de U permettant d'obtenir  $V_1 = 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ . Quelle est alors la valeur de  $V_2$  ?

2/ Les deux isotopes pénètrent à l'intérieur du filtre de vitesse avec des vitesses horizontales ayant les valeurs  $V_1$  et  $V_2$  précisées dans la question 1/.

Le faisceau d'ions  $K^+$  est soumis à l'action simultanée de deux champs: un champ électrique  $\vec{E}$  perpendiculaire à  $\vec{V}_1, \vec{V}_2$  et dans le plan de la figure ; un champ magnétique uniforme de vecteur  $\vec{B}$  perpendiculaire à la fois à  $\vec{V}_1, \vec{V}_2$  et  $\vec{E}$ .  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  sont tels que la force électrique et la force magnétique sont de même direction mais de sens contraires. On désignera par E et B les intensités de  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .

a/ On règle E à la valeur  $E_1$ , telle que le mouvement des ions  ${}^a_{19}K^+$  soit, dans le filtre de vitesse, un mouvement rectiligne uniforme de trajectoire horizontale S'O (O étant le trou de communication avec le déviateur magnétique). Quelle relation

existe-t-il entre B,  $E_1$  et  $V_1$  ? Montrer que seuls les ions  ${}^a_{19}K^+$  parviennent au point O.

b/  $E_1$  étant égal à  $4000 \text{ V.m}^{-1}$ , quelle est la valeur de B ?

Cette valeur de B sera maintenue constante dans toute la suite du problème.



c/ On donne à E une autre valeur  $E_2$  permettant de sélectionner au point O l'isotope  ${}^b_{19}\text{K}$ . Déterminer le rapport  $\frac{E_2}{E_1}$  en fonction

de a et b, puis calculer numériquement  $E_2$ .

3/ Les ions sélectionnés au point O pénètrent dans le déviateur magnétique où règne uniquement un champ magnétique uniforme de vecteur  $\vec{B}'$  perpendiculaire au vecteur vitesse des ions, parallèle au vecteur  $\vec{B}$ , de même sens que ce vecteur et d'intensité  $B'$ .

a/ Etudier, dans le déviateur, la trajectoire et la vitesse des ions sélectionnés en O.

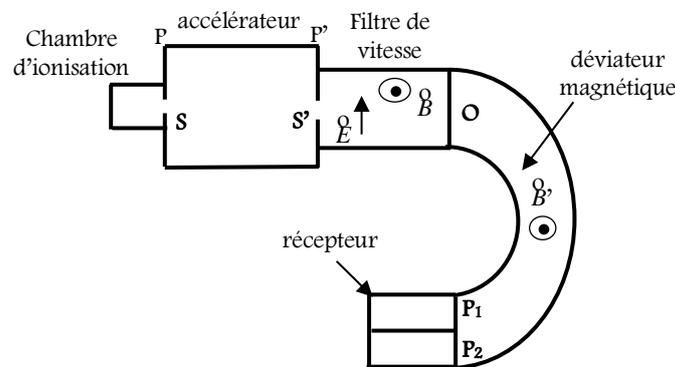
b/ On règle E à la valeur  $E_1$  permettant de sélectionner l'isotope  ${}^a_{19}\text{K}^+$  au point O, avec la vitesse horizontale de valeur  $V_1$ . Ces ions parviennent au trou  $P_1$  tel que  $OP = 2,000\text{m}$ . Calculer numériquement  $B'$ . Cette valeur sera maintenue dans la question suivante.

c/ On règle E à la valeur  $E_2$  permettant de sélectionner l'isotope  ${}^b_{19}\text{K}$  au point O, avec la vitesse horizontale de valeur  $V_2$ . Ces ions parviennent au point  $P_2$ .

Déterminer le rapport  $\frac{OP_2}{OP_1}$  en fonction de a et b, puis calculer numériquement la distance  $P_1P_2$ .

NB: Dans tout le problème, le poids des ions sera considéré comme négligeable devant les interactions électromagnétiques qu'ils subissent et les lois de la mécanique classique seront applicables.

On utilisera les données suivantes:  $\frac{e}{m} = 0,96 \cdot 10^8 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $\frac{m}{e} = 1,040 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$ .



**EXERCICE 9:**

Les mouvements des particules chargées dans les champs sont d'une importance fondamentale dans de nombreux domaines de la physique, de la chimie et de l'ingénierie.

**Données :**  $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $L = d = 10 \text{ cm}$ ;  $D = 20 \text{ cm}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ;  $v_0 = 1,0 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $U_1 = 10 \text{ kV}$ ;  $B = 1,0 \text{ T}$ .

**3.1** Un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  lancé à la vitesse  $\vec{v}_1$  dans un plan horizontal heurte un neutron  ${}^1_0n$  au repos. Ce

dernier est projeté avec une vitesse  $v'_2 = 1,6v_1$  suivant la direction de  $\vec{v}_1$ . Le choc est parfaitement élastique. Montrer que  $A = 4$ .

On donne  $m({}^4_2\text{He}) = Au$  et  $m({}^1_0n) = 1 \text{ u}$  (où u représente l'unité de masse atomique).

**3.2** Un ion  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  animé maintenant d'une vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale pénètre en O entre les armatures horizontales  $PP'$  et  $QQ'$  d'un condensateur plan où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$  (Figure 1).

Ces armatures ont pour longueur L et sont distantes de d. Un écran (E) fluorescent est placé perpendiculairement aux armatures et situé à une distance D de celles-ci.

On applique une tension  $U_0 = V_P - V_Q = 5,0 \text{ kV}$  entre les armatures du condensateur. On négligera le poids de l'ion.

**1.2.1** Déterminer les caractéristiques du vecteur champ  $\vec{E}_0$

**1.2.2** Etablir, pendant la traversée du condensateur, l'équation cartésienne de la trajectoire de cet ion dans le repère indiqué à la figure 1.

**1.2.3** Déterminer la distance  $d_0$  séparant le point de sortie S et la plaque  $QQ'$ .

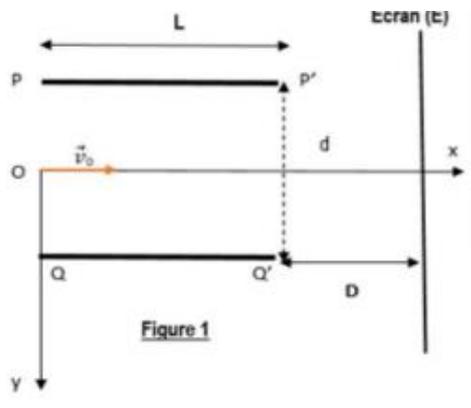


Figure 1

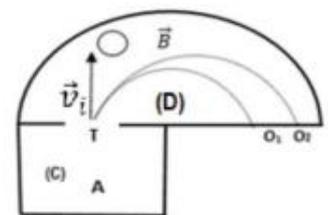


Figure 2



**1.2.4** Quelle est la nature du mouvement de cet ion après sa sortie du condensateur ? Justifier.

**1.2.5** Déterminer l'ordonnée yM du point d'impact de l'ion sur l'écran.

**3.3** Avec le dispositif expérimental de la figure 2, on désire maintenant séparer les constituants d'un mélange isotopique formé de  ${}^3_2\text{H}_e^{2+}$  et  ${}^4_2\text{H}_e^{2+}$  de masses respectives  $m_1$  et  $m_2$ . Ces isotopes émis sans vitesses initiales en A dans la chambre (C) sont soumis à une tension accélératrice  $U_1$ .

Les ions  ${}^3_2\text{H}_e^{2+}$  et  ${}^4_2\text{H}_e^{2+}$  traversent ensuite un petit trou T avec des vecteurs vitesses respectifs  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$  perpendiculaires à  $O_1O_2$ . Arrivés dans la chambre (D), ils sont soumis à l'action d'un champ  $\vec{B}$  uniforme orthogonal au plan de la figure.

**3.3.1** Etablir les expressions de  $v_1$  et de  $v_2$  en fonction de e,  $U_1$ ,  $m_1$  ou  $m_2$ . Que vaut le  $\frac{v_1}{v_2}$

**3.3.2** Reproduire la figure 2, en y représentant le champ magnétique  $\vec{B}$  et la force magnétique  $\vec{F}_m$  au point T.

**3.3.3** Montrer que dans la zone (D) où règne le champ  $\vec{B}$ , chaque ion décrit un mouvement circulaire uniforme de rayon R. Calculer les rayons respectifs  $R_1$  et  $R_2$ .

**3.3.4** Montrer que la distance  $a = O_1O_2$  séparant les points d'impact des ions peut s'exprimer comme suit :

$$a = \frac{2}{B} \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \sqrt{\frac{m_1 U_1}{e}}. \text{ Calculer sa valeur.}$$

**3.3.5** La distance minimale pour une séparation nette des ions est  $a_{\min} = 1,0 \text{ mm}$ . Ce dispositif permet-il de séparer les deux ions ?

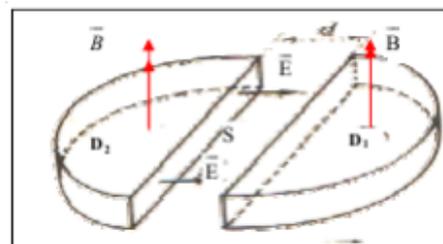
### EXERCICE 10 :

#### 1 Etude d'un accélérateur linéaire : le modèle de Wideröe

L'appareil est constitué d'une succession de tubes sous vide, séparés par de faibles interstices, disposés en ligne droite et mis à des potentiels alternativement positifs ou négatifs de sorte que deux tubes successifs soient toujours à des potentiels de signes opposés. Entre deux tubes voisins est appliquée une tension alternative. Il y règne donc un champ électrique alternatif. A l'intérieur du tube le champ électrique est nul (figure 1). Une source de particules chargées (protons par exemple) est placée devant le premier tube. A l'intérieur d'un tube, les particules "glissent" à vitesse constante. Dans l'espace entre les tubes, le champ accélère les particules à condition qu'elles soient convenablement synchronisées. Comme la vitesse des particules augmente, les tubes doivent être de plus en plus longs.

1.1 Considérons un proton qui sort d'un tube T et qui pénètre dans l'interstice (intervalle) qui le sépare du tube T' suivant (figure 2). Soit U la tension appliquée entre les tubes T et T'.

- Préciser, justification à l'appui, la nature du mouvement d'une particule entre les deux tubes si on suppose que la durée de passage est si courte que le champ peut être considéré comme constant pendant cette durée.
- Exprimer le gain d'énergie  $\Delta E_c$  que la particule de charge q acquiert de T à T' en fonction de U.



1.2 Après traversée de l'interstice la particule pénètre avec une vitesse V dans le tube T'.

- Justifier, par application d'une loi de la dynamique, le fait que les particules « glissent » (se déplacent) à vitesse constante à l'intérieur du tube.
- Exprimer la durée de traversée du tube en fonction de V et de la longueur L du tube.
- Pour un bon fonctionnement du dispositif, la durée de traversée de chaque tube doit être égale à la demi-période de la tension. En déduire l'expression de la période  $T_0$  de la tension alternative.

#### 2 Etude d'un accélérateur circulaire : le cyclotron.

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 :  $m = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$  ;  $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$  ;  $d = 1 \text{ cm}$  ;  $U = 4000 \text{ V}$ .



- 2.1 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  $V_1$ .
- 2.2 Le proton pénètre dans  $D_1$ , sa vitesse  $\vec{V}_1$  est perpendiculaire à  $\vec{B}$
- Montrer que le mouvement du proton dans  $D_1$  est circulaire uniforme.
  - Donner l'expression du rayon  $R_1$  du demi-cercle décrit par le proton en fonction de  $e$ ,  $m$ ,  $B$  et  $U$ .
- Exprimer littéralement le temps de transit  $\tau$  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  $B = 1T$ .
- 3.2.3 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  $\tau$ .
- 2.4 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  $R_n = 0,14$  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.

**EXERCICE 11 :**

**Données : charge électrique élémentaire  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$  ; masse du proton  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}kg$**

On appelle accélérateur de particules toute machine servant à accroître la vitesse de particules chargées électriquement (protons, électrons, deutons, particules alpha). Ces particules sont alors employées comme des projectiles de manière à produire des réactions au sein de la matière placée comme cible. Dans le dispositif ci-contre règne un vide poussé. La force de pesanteur sera négligée par rapport aux autres forces.

4.1. Un faisceau homocinétique de protons qui, d'abord accélérés par une tension appliquée entre deux plaques A et C, sortent en A avec une vitesse négligeable puis pénètrent en C à une vitesse  $V_C = 800$  km/S. Les protons pénètrent ensuite en O avec un vecteur vitesse  $\vec{V}_O$  dans une enceinte de section carrée de côté  $2R = 100$  cm où les ouvertures O, M, P, N sont situées aux milieux des côtés.

4.1.1. Donner le signe de la tension  $U = V_A - V_C$ .

4.1.2. Exprimer puis calculer la tension accélératrice entre les plaques A et C.

4.1.3. Quelle est la nature du mouvement d'un proton entre C et O.

4.2. Dans l'enceinte de section carrée, on applique un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme pour que les protons sortent par l'ouverture N.

4.2.1. Préciser la direction et le sens de  $\vec{B}$ .

4.2.2. Déterminer la nature du mouvement d'un proton dans le champ magnétique.

4.2.3. Etablir l'expression de la valeur du champ magnétique  $B$  en fonction de  $R$ ,  $e$  ;  $m$  et  $U$ . Faire l'application numérique.

4.2.4. Donner les caractéristiques du vecteur vitesse  $\vec{V}_N$  à la traversée de l'ouverture N.

4.3. On supprime le champ magnétique précédent  $\vec{B}$  et on applique maintenant un champ électrique uniforme  $E$  pour que les protons sortent par l'ouverture M.

4.3.1. Préciser la direction et le sens de  $\vec{E}$

4.3.2. Etablir l'expression de l'équation cartésienne de la trajectoire d'un proton dans le repère (OX, OY).

4.3.3. Donner l'expression de la valeur  $E$  du champ électrique en fonction de  $V_0$ ,  $e$ ,  $m$  et  $R$ . Faire l'application numérique.

4.4. On applique maintenant simultanément les champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  qui conservent leurs directions et sens.

4.4.1. Représenter sur la figure les forces soumises à un proton.

4.4.2. Quelle relation doivent vérifier leurs valeurs pour que les protons sortent par l'ouverture P sans être déviés ?

4.4.3. Donner alors l'expression de la durée  $\Delta t$  du trajet OP. Calculer numériquement sa valeur. Fin de la série

