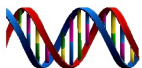


- Cours en ligne
- Cours presentiels

 **MATHS**

 **PC**

 **SVT**

La science autrement...



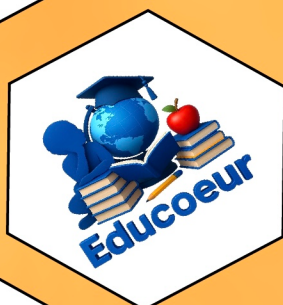
Nos programmes:

**Niveaux : Moyen/Secondaire**



**Programme Wolof**

Apprentissage avec des cours  
exclusivement en Wolof



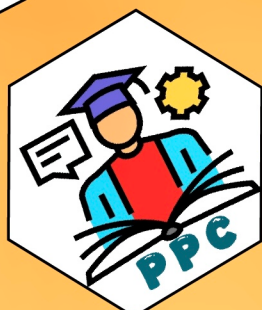
**Programme Social**

Prise en charge d'élèves avec  
des problèmes de moyens



**Tous les élèves**

Renforcement de capacité  
en ligne



**Prépa Concours**

Préparation des concours comme :  
ESP - EMS - ENSA - IPSL  
ISFAR ENSAE



77 106 98 79

77 575 04 18



## TD MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

### EXERCICE 1 (BAC S1-2022)

Une forme de dopage chez les sportifs consiste à utiliser des stéroïdes anabolisants, comme la testostérone, difficiles à mettre en évidence du fait de leur présence naturelle dans l'organisme.

En 1996, une étude a montré que les rapports de concentrations entre le carbone 12 et le carbone 13 sont différents selon que la molécule soit de synthèse ou d'origine naturelle. Pour mesurer ces taux, on procède à l'extraction de l'hormone à partir d'un prélèvement d'urine. Le dioxyde de carbone provenant de la combustion du stéroïde est envoyé dans un spectrographe de masse constitué de quatre zones (voir figure 1) :

- Dans la zone I, les molécules de  $\text{CO}_2$  sont ionisées par bombardement électronique pour donner des ions  $^{12}\text{CO}_2^+$  et  $^{13}\text{CO}_2^+$  de charge  $+e$  ( $e$  étant la charge élémentaire).

- Dans la zone II, de longueur  $d$ , entre les plaques  $P_1$  et  $P_2$  planes et parallèles, on applique une tension accélératrice  $U = 4 \text{ KV}$ .

- Dans la zone III de longueur  $\ell$ , aucune force ne s'exerce sur les ions.

- Enfin dans la zone IV, les ions sont soumis à un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  de norme  $B = 0,25 \text{ T}$ . On observe une déviation de la trajectoire des deux ions.

Un comptage des deux ions est effectué à la sortie du dispositif. On négligera l'action de la pesanteur.

Soit un ion  $X^+$  de masse  $m$ , pénétrant dans la zone II, en  $O_1$ , suivant l'axe  $O_1X$ , avec une vitesse supposée nulle à l'instant  $t=0$ .

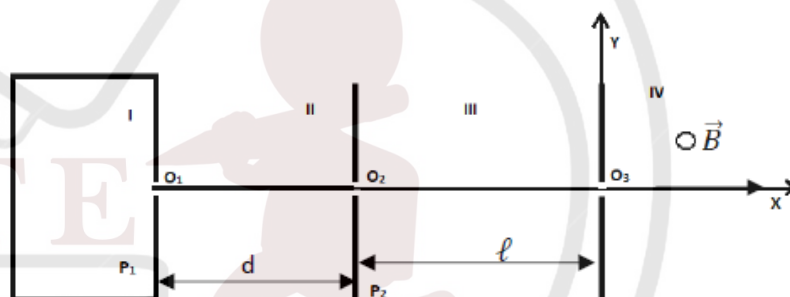


Figure 1

3.1. Montrer que les deux ions arrivent en  $O_2$  avec la même énergie cinétique.

(0,25 pt)

3.2. Etablir l'expression de la vitesse  $v$  d'arrivée d'un ion  $X^+$  au point  $O_2$  en fonction de  $e$ ,  $m$  et  $U$ . Calculer la vitesse de chaque ion  $^{12}\text{CO}_2^+$  et  $^{13}\text{CO}_2^+$

(0,75 pt)

3.3. Etablir l'équation horaire du mouvement d'un ion dans la zone II.

(0,5 pt)

3.4. Quelle est la nature du mouvement d'un ion dans la zone III. Justifier.

(0,25 pt)

3.5. Dans la zone IV, la déviation de l'ion  $X^+$  se fait du côté positif de l'axe  $O_3Y$ . En déduire le sens du champ magnétique  $\vec{B}$ .

(0,25 pt)

3.6. Montrer que le mouvement des ions dans la zone IV est circulaire et uniforme.

(0,75 pt)

3.7. Calculer la valeur du rayon de la trajectoire de chaque ion. En déduire la distance qui sépare les points d'impacts des deux ions sur l'axe  $O_3Y$ .

(0,5 pt)

3.8. Pour chaque échantillon analysé, on établit un coefficient  $\delta$  défini par :

$$\delta = \frac{(r-r_0) \times 100}{r_0} \text{ où } r = \frac{N_1}{N_2} \text{ est le rapport standard et } r_0 = \frac{N_{01}}{N_{02}}$$

$N_1$  et  $N_2$  étant le nombre d'impacts respectifs de  $^{12}\text{CO}_2^+$  et de  $^{13}\text{CO}_2^+$ . Un sportif est testé « positif » si le coefficient  $\delta$  est inférieur à  $-27$ .

Les résultats des tests d'un sportif ont donné :  $N_1 = 2320$  et  $N_2 = 26$ .

Le sportif, est-il testé positif ou négatif ?

(0,5 pt)

**Données :**

Masse des ions :  $^{12}\text{CO}_2^+$  :  $m_1 = 7,31 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  et de  $^{13}\text{CO}_2^+$  :  $m_2 = 7,47 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

Charge élémentaire :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ;  $N_{01} = 2307$  et  $N_{02} = 25$

.../... 3

## EXERCICE 2 (BAC S1-2024)

Les spectrographes de masse sont des instruments utilisés dans de nombreux domaines. Leur capacité à identifier, quantifier et analyser les composés chimiques avec une grande précision en fait un outil essentiel pour la recherche scientifique, le diagnostic médical, la sécurité alimentaire, le contrôle environnemental, et bien d'autres applications industrielles.

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

**3.1-** Un noyau d'hélium  $^4\text{He}^{2+}$  lancé à la vitesse  $\vec{v}_1$  dans un plan horizontal heurte un neutron  $^1_0\text{n}$  au repos. Ce dernier est projeté avec une vitesse  $v'_2 = 1,6 v_1$  suivant la direction de  $\vec{v}_1$ . Le choc étant élastique montrer que  $A = 4$  sachant que  $m(^4\text{He}^{2+}) = A \text{ u}$  et  $m(^1_0\text{n}) = 1 \text{ u}$  où  $u$  représente l'unité de masse atomique.

(0,5pt)

**3.2-** Cet ion  $^4\text{He}^{2+}$  animé maintenant d'une vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale pénètre en O dans la région entre les armatures horizontales PP' et QQ' d'un condensateur plan où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$ .

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. (Voir figure 1)

On applique une tension  $U_0 = V_P - V_Q = 5,0 \text{ kV}$  entre les armatures du condensateur.

**3.2.1-** Recopier le schéma de la figure 1 et y représenter le vecteur champ  $\vec{E}_0$ . (0,25pt)

**3.2.2-** Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire de cet ion pendant la traversée du condensateur. (0,25pt)

**3.2.3-** Déterminer les valeurs des coordonnées du point de sortie S.

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

**3.2.5-** Déterminer l'ordonnée  $y_M$  du point d'impact de l'ion sur l'écran.

(0,25pt)

(0,5pt)

(0,25pt)

**3.3.-** On désire séparer les ions  $^3\text{He}^{2+}$  et  $^4\text{He}^{2+}$  d'un mélange isotopique avec le dispositif expérimental de la figure 2. Ces particules de vitesse initiale nulle en A et de masses respectives  $m_1$  et  $m_2$  sont soumises dans la chambre (C) à une tension accélératrice  $U_1$  ; elles traversent un petit trou T avec des vitesses respectives  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$  perpendiculaires à  $(O_1, O_2)$  et sont soumises à l'action d'un champ  $\vec{B}$  uniforme orthogonal à  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$  et normal au plan de la figure. Les points  $O_1$  et  $O_2$  sont respectivement les points d'impact des ions  $^3\text{He}^{2+}$  et  $^4\text{He}^{2+}$  sur une plaque photographique.

$U_1 = 10 \text{ kV}$  ;  $B = 1,0 \text{ T}$ . On supposera que la distance minimale de séparation  $a_{\min} = 1,0 \text{ mm}$ .

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

(0,5pt)

**3.3.2-** Reprendre la figure 2, en y représentant la force magnétique  $\vec{F}_m$  au point T, le champ magnétique  $\vec{B}$  puis montrer que dans la zone où règne le champ  $\vec{B}$  chaque ion décrit un mouvement circulaire uniforme dont on déterminera les rayons respectifs  $R_1$  et  $R_2$ . Faire l'application numérique

(1pt)

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

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

(0,5pt)

**3.3.4-** Calculer sa valeur. Les deux types d'ions sont-ils séparés ? Justifier.

(0,75pt)

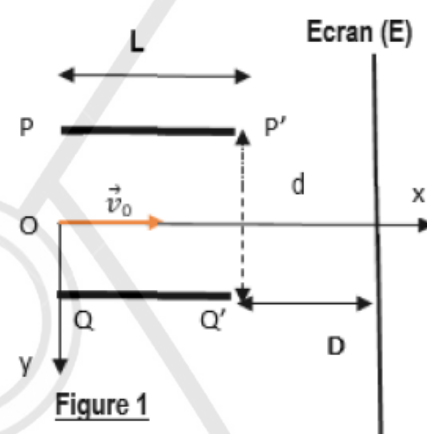


Figure 1

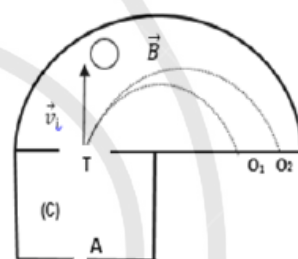


Figure 2

## EXERCICE 3 (BAC S2-2024)

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)

### 3.1-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  $|U_0| = |U_{P_1 P_2}| = 5.10^3 \text{ V}$ .

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  $u = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$

**3.1.1-** Quel est le signe de la tension  $U_{P_1 P_2}$ ? Justifier. (0,25pt)

**3.1.2-** Calculer la vitesse  $v$  de l'isotope  $^{63}\text{Cu}^{2+}$  en  $O_2$ . (0,25pt)

**3.1.3-**  $v$  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  $m'$ . (0,5pt)

**3.1.4-** Le rapport  $\frac{v}{v'} = 1,016$  ; en déduire la valeur entière  $x$  du nombre de masse de l'ion  $^x\text{Cu}^{2+}$ . (0,25 pt)

### 3.2 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  $\vec{E}$ .

**3.2.1.** 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  $v$ . (0,25pt)

**3.2.2.** Exprimer l'intensité  $B$  du champ magnétique en fonction de  $v$ ,  $U$ ,  $d$ . Calculer  $B$ . (0,5pt)

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

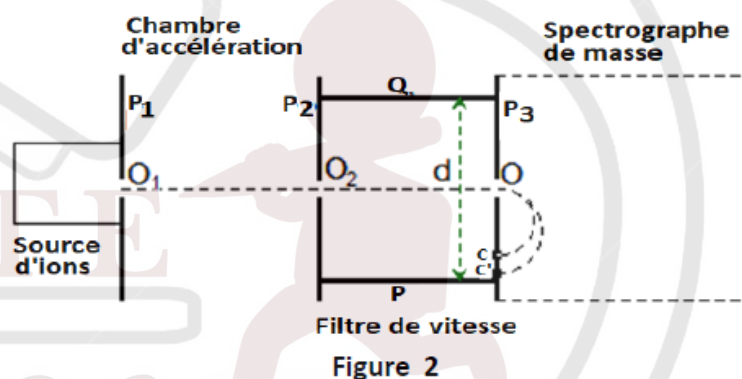
**3.2.3-** Déterminer la valeur  $B'$  du champ magnétique pour que les ions  $^x\text{Cu}^{2+}$  traversent le dispositif sans subir de déviation. (0,5pt)

### 3.3-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)

**3.3.1-** Etablir l'expression du rayon  $R$  de la trajectoire de l'ion  $^{63}\text{Cu}^{2+}$ . Calculer  $R$ . (0,5pt)

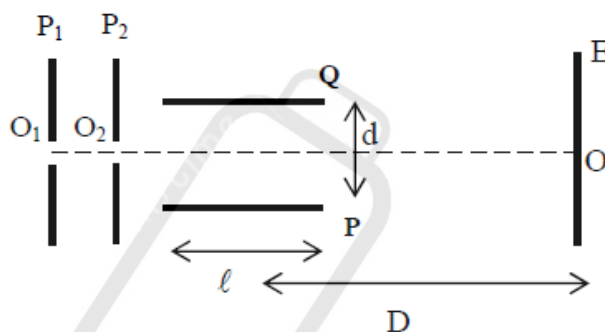
**3.3.2-** On place au niveau des collecteurs  $C$  et  $C'$  un dispositif permettant de mesurer les intensités des courants  $I$  et  $I'$  correspondant au nombre d'ions  $N$  et  $N'$  y arrivant par seconde. On trouve que  $I = \frac{7}{3} I'$ . En déduire les pourcentages en ions  $^{63}\text{Cu}^{2+}$  et  $^x\text{Cu}^{2+}$  dans le cuivre naturel. (1pt)



## EXERCICE 4 (BAC S1-2006)

Dans toute la suite on supposera que le mouvement des ions a lieu dans le vide et que leur poids est négligeable

4.1 Des ions  $\text{Mg}^{2+}$ , sortant d'une chambre d'ionisation, pénètrent, avec une vitesse négligeable, par un trou  $O_1$ , dans l'espace compris entre deux plaques verticales  $P_1$  et  $P_2$ . Lorsqu'on applique entre ces deux plaques une tension positive  $U_0$ , les ions atteignent le trou  $O_2$  avec la vitesse  $\vec{v}_0$ .



4.1.1 Quelle plaque ( $P_1$  ou  $P_2$ ) doit-on porter au potentiel le plus élevé ? Pourquoi ? (0,25 point)

4.1.2 Donner la valeur de  $v_0$  en fonction de la charge  $q$  et de la masse  $m$  d'un ion, ainsi que  $U_0$ . (0,25 point)

4.1.3 Calculer la valeur de  $v_0$  pour les ions  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$  dans le cas où  $U_0 = 4000 \text{ V}$ . (0,25 point)

On prendra :  $m(^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}) = 24 \text{ u}$  ;  $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ;  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

4.2 A la sortie de  $O_2$ , les ions ayant cette vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale pénètrent entre les armatures P et Q d'un condensateur. On applique entre ces armatures une différence de potentiel positive  $U_{PQ}$  que l'on notera  $U$ , créant entre elles un champ électrique uniforme vertical orienté vers le haut.

4.2.1 Préciser les caractéristiques de la force électrique à laquelle chaque ion est soumis ; on exprimera son intensité en fonction de  $q$ ,  $U$  et de la distance  $d$  entre les plaques P et Q. (0,75 point)

4.2.2 Déterminer la nature de la trajectoire d'un ion à l'intérieur de ce condensateur lorsque  $U$  garde une valeur constante. (0,5 point)

4.2.3 On dispose d'un écran vertical E à la distance  $D$  du centre des plaques de longueur  $\ell$ , trouver en fonction de  $q$ ,  $m$ ,  $U$ ,  $v_0$ ,  $\ell$ ,  $D$  et  $d$ , l'expression de la distance  $z = OM$ , M étant le point d'impact d'un ion sur l'écran. La distance OM dépendra-t-elle des caractéristiques des ions positifs utilisés ? (On admet que la tangente à la trajectoire au point de sortie S du condensateur passe par le milieu de celui-ci). (0,75 point)

4.2.4 Calculer la durée de la traversée du condensateur dans le cas où  $\ell = 10 \text{ cm}$ . (0,25 point)

4.2.5 On applique entre P et Q une tension sinusoïdale  $u = U_{\max} \sin \omega t$ , de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Montrer qu'avec un pinceau d'ions  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$ , on obtient sur l'écran E un segment de droite verticale, dont on calculera la longueur dans le cas où  $U_{\max} = 230 \text{ V}$ ,  $D = 40 \text{ cm}$ ,  $d = 4 \text{ cm}$ . (On peut considérer que, durant toute la traversée du condensateur, chaque ion est soumis à une tension pratiquement constante). (0,75 point)

4.3 Entre P et Q existent maintenant à la fois un champ électrique uniforme vertical orienté vers le haut, créé par l'application de la tension  $U$  entre ces plateaux, et un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  horizontal, perpendiculaire au plan de la figure.

4.3.1 Quelle relation doit lier  $U_0$ ,  $U$ ,  $B$ ,  $q$ ,  $m$  et  $d$  pour que le mouvement des ions  $\text{Mg}^{2+}$  dans le condensateur soit rectiligne uniforme et horizontal ? Préciser dans ce cas le sens de  $\vec{B}$ . Il n'est pas demandé de calculer la valeur de  $B$ . (0,5 point)

4.3.2 En réalité le magnésium est formé de trois isotopes  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$ ,  $^{A_2}_{12}\text{Mg}^{2+}$ ,  $^{A_3}_{12}\text{Mg}^{2+}$

Lorsque  $U$  prend la valeur particulière  $U_1$ , seuls les ions  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$  ont la trajectoire rectiligne.

Lorsque  $U = U_2$ , ce sont les ions  $^{A_2}_{12}\text{Mg}^{2+}$  qui ont la trajectoire rectiligne et si  $U = U_3$  ce sont les ions  $^{A_3}_{12}\text{Mg}^{2+}$ . On a donc un moyen de les séparer.

4.3.2.1 Montrer que  $U_2/U_1$  ne dépend que du rapport des masses  $m_1$  (des ions  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$ ) et  $m_2$  (des ions  $^{A_2}_{12}\text{Mg}^{2+}$ ). Calculer alors  $A_2$  sachant que  $U_1 = 228\text{V}$ ,  $U_2 = 223\text{V}$  (0,5 point)

4.3.2.2 Calculer  $A_3$  sachant que  $U_1 = 228\text{V}$  et  $U_3 = 219\text{V}$ . (0,25 point)

## EXERCICE 5 (BAC S1-2008)

Un des objectifs de la physique des hautes énergies est de découvrir les constituants de la matière et de comprendre les interactions qui les régissent. Le but des accélérateurs de particules est donc de casser des noyaux et des nucléons en provoquant des collisions entre ces particules. Un accélérateur de particules chargées utilise pour les accélérer un champ électrique ou un champ magnétique variable dans le temps et pour les dévier, un champ magnétique capable de courber et de focaliser les trajectoires. L'année 1928 marque l'invention de l'accélérateur linéaire par Rolf Wideröe : un champ électrique alternatif va accélérer les électrons. En 1930, Lawrence invente quant à lui un accélérateur circulaire : le cyclotron. Les accélérateurs ont d'importantes applications théoriques (entre autres, recherche sur l'histoire de l'univers, sur les particules élémentaires) et médicales (protonthérapie, fission des atomes d'une tumeur...)

**NB :** Dans tout l'exercice, on ne tiendra pas compte du poids des particules dans l'étude de leur mouvement.

### 3.1 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).

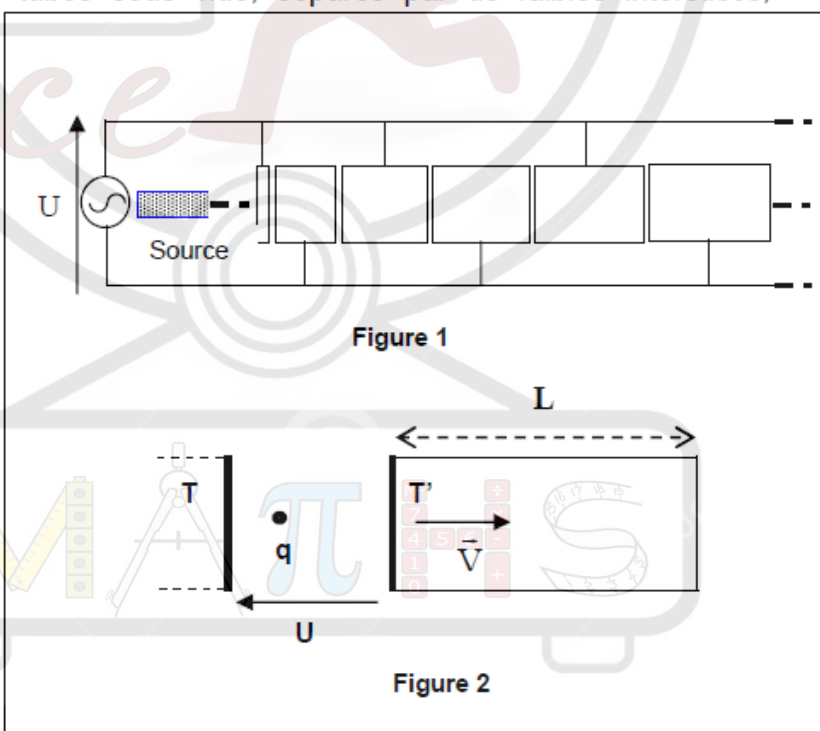
A l'intérieur du tube le champ électrique est nul (figure 1).

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.

3.1.1 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  $U$ .

(0,75 pt)

**3.1.2** 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. (0,75 pt)

### 3.2 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.

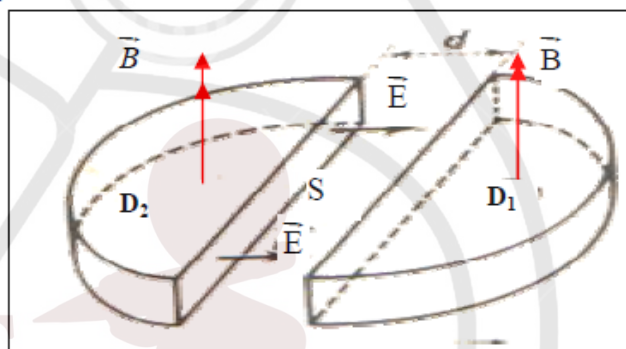
On donne : masse du proton  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg ;

Charge élémentaire  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C ;  $d = 1$  cm ;

$U = 4000$  V.

**3.2.1** 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  $V_1$ .



(0,5 pt)

**3.2.2** 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  $B = 1$  T.

(01 pt)

**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 la vitesse  $V_2$  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  $\tau$ .

(0,5 pt)

**3.2.4** 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  $n^{\text{ième}}$  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.

(01,5 pt)

## EXERCICE 6 (BAC S1-2014)

Pour déterminer la charge massique d'une particule, on utilise un dispositif de déflexion électrique constitué de deux plaques conductrices A et B planes, horizontales, parallèles, de longueur  $\ell$ , distantes de  $d$  (figure 2).

Une particule de masse  $m$  et de charge  $q > 0$  pénètre au point

O équidistant des deux plaques avec une vitesse  $\vec{V}_0$  horizontale. Le dispositif est placé dans le vide et on ne tiendra pas compte du poids de la particule dans tout l'exercice.

**3.1.** Exprimer, en fonction de  $V_0$ ,  $m$  et  $q$ , la tension  $U_0$  sous laquelle la particule a été accélérée à partir d'une vitesse nulle pour atteindre cette vitesse  $V_0$ . **(0,25 pt)**

**3.2.** Un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  est créé par une tension constante  $U_{AB} < 0$  appliquée entre les plaques A et B.

On pose  $|U_{AB}| = U$ .

**3.2.1.** Recopier la figure et représenter le vecteur champ électrique entre les plaques. **(0,25 pt)**

**3.2.2.** Le mouvement est rapporté au repère (OX, OY). Etablir l'équation de la trajectoire de la particule dans le champ électrique. Quelle est la nature de cette trajectoire ? **(0,5 pt)**

**3.2.3.** Exprimer l'ordonnée du point de sortie S de la particule du champ électrique en fonction de  $m$ ,  $V_0$ ,  $U$ ,  $\ell$ ,  $d$  et  $q$ . **(0,25 pt)**

**3.2.4.** Quelle condition doit remplir la tension  $U$  pour que la particule puisse sortir du champ sans heurter les plaques ? **(0,5 pt)**

**3.3.** A sa sortie du champ électrique, la particule arrive en un point P d'un écran placé perpendiculairement à l'axe OX, à la distance  $D$  du milieu des plaques. Soit O', le point d'intersection de l'axe OX avec l'écran.

**3.3.1.** Quelle est la nature du mouvement de la particule à la sortie des plaques ? Justifier **(0,25 pt)**

**3.3.2.** Exprimer la déviation  $Y = O'P$  de la particule en fonction de  $m$ ,  $q$ ,  $U$ ,  $d$ ,  $\ell$ ,  $D$  et  $V_0$ . **(0,5 pt).**

**3.4.** On établit, par un moyen approprié, un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  perpendiculaire au champ électrique  $\vec{E}$  dans l'espace compris entre les plaques. On règle la valeur de  $\vec{B}$  de manière à ce que le spot initialement en P soit ramené à O'.

**3.4.1.** Représenter alors le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$ . **(0,25 pt)**

**3.4.2.** Exprimer l'intensité  $B$  du vecteur champ magnétique en fonction de  $V_0$ ,  $U$ ,  $d$  et calculer sa valeur **(0,25 pt)**

**3.4.3.** Etablir l'expression de la charge massique  $\frac{q}{m}$  de la particule en fonction de  $Y$ ,  $\ell$ ,  $D$ ,  $d$ ,  $U$  et  $B$ . **(0,5 pt)**

**3.4.4.** Calculer le rapport  $\frac{q}{m}$  et identifier la particule. **(0,5 pt)**

Données :  $\ell = 5\text{cm}$  ;  $d = 2\text{cm}$  ;  $D = 40\text{cm}$  ;  $V_0 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$  ;  $U = 400\text{V}$  ;  $Y = O'P = 1,5 \text{ cm}$

| Particule                                    | $\text{H}^+$ | $\text{Li}^+$ | $\text{He}^{2+}$ |
|----------------------------------------------|--------------|---------------|------------------|
| Charge massique ( $10^7 \text{ C.kg}^{-1}$ ) | 9,58         | 1,36          | 4,77             |

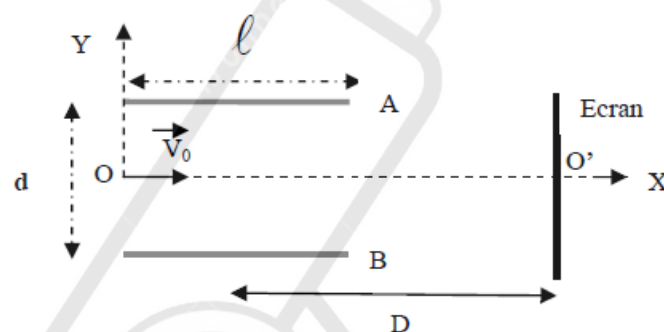
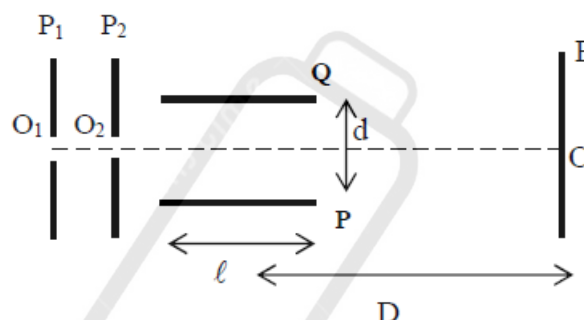


Figure 2

## EXERCICE 7 (BAC S2-2006)

Dans tout le problème, on supposera que le mouvement des ions a lieu dans le vide et que leur poids est négligeable

5.1 Des ions  $\text{Mg}^{2+}$ , sortant d'une chambre d'ionisation, pénètrent, avec une vitesse négligeable, par un trou  $O_1$ , dans l'espace compris entre deux plaques verticales  $P_1$  et  $P_2$ . Lorsqu'on applique entre ces deux plaques une tension  $U_0$ , les ions atteignent le trou  $O_2$  avec la vitesse  $\vec{v}_0$ .



5.1.1 Quelle plaque ( $P_1$  ou  $P_2$ ) doit-on porter au potentiel le plus élevé ? Pourquoi ?

(0,25 point)

5.1.2 Donner la valeur de  $v_0$  en fonction de la charge  $q$ , de la masse  $m$  d'un ion et de  $U_0$ .

(0,25 point)

5.1.3 Calculer la valeur de  $v_0$  pour les ions  $^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$  dans le cas où  $U_0 = 4000 \text{ V}$ .

On prendra :  $m(^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}) = 24 \text{ u}$  ;  $u = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$  ;  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

(0,25 point)

5.2 A la sortie de  $O_2$ , les ions ayant cette vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale pénètrent entre les armatures P et Q d'un condensateur. On applique entre ces armatures une différence de potentiel positive  $U_{PQ}$  que l'on notera  $U$ , créant entre elles un champ électrique uniforme vertical.

5.2.1 Préciser les caractéristiques de la force électrique à laquelle chaque ion est soumis, on exprimera son intensité en fonction de  $q$ ,  $U$  et de la distance  $d$  entre les plaques P et Q. (0,5 point)

5.2.2 Déterminer la nature de la trajectoire d'un ion à l'intérieur de ce condensateur lorsque  $U$  garde une valeur constante. (0,75 point)

5.2.3 On dispose d'un écran vertical E à la distance  $D$  du centre des plaques de longueur  $\ell$ , trouver en fonction de  $q$ ,  $m$ ,  $U$ ,  $v_0$ ,  $\ell$ ,  $D$  et  $d$  l'expression de la distance  $z = OM$ , M étant le point d'impact d'un ion sur l'écran. La distance OM dépendra-t-elle des caractéristiques des ions positifs utilisés ? (On admet que la tangente à la trajectoire au point de sortie S du condensateur passe par le milieu de celui-ci) (0,75 point)

5.2.4 Calculer la durée de la traversée du condensateur dans le cas où  $\ell = 10 \text{ cm}$ . (0,5 point)

5.2.5 On applique entre P et Q une tension sinusoïdale  $u = U_{\max} \sin \omega t$ , de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Montrer qu'avec un pinceau d'ions, on obtient sur l'écran E un segment de droite verticale, dont on calculera la longueur dans le cas où  $U_{\max} = 230 \text{ V}$ ,  $D = 40 \text{ cm}$ ,  $d = 4 \text{ cm}$ . (On peut considérer que, durant toute la traversée du condensateur, chaque ion est soumis à une tension presque constante). (0,75 point)

## EXERCICE 8 (BAC S2-2009)

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

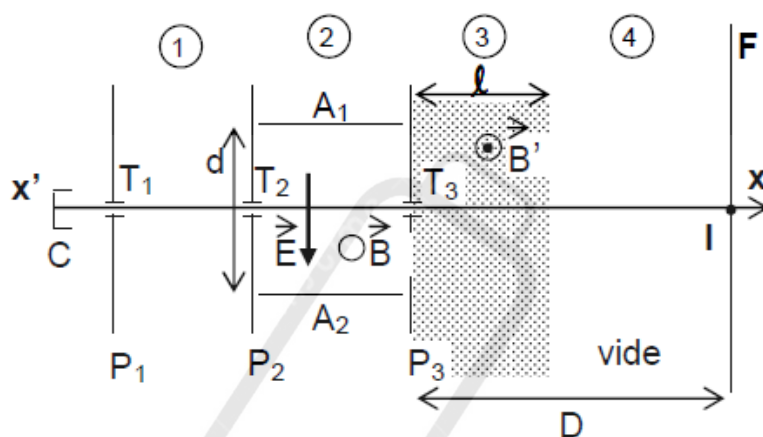
zone 1 : chambre d'accélération entre  $P_1$  et  $P_2$ .

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.

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  $\text{Na}^+$  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.

**4.1** 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  $\vec{V}_0$ .

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 :  $\frac{q}{m} = \frac{V_0^2}{2U}$  (0,5 pt)

**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. (0,5 pt)

**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  $T_3$ . (0,5 pt)

**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  $\vec{B}$ . (0,5 pt)

**4.2.4** Exprimer le rapport  $\frac{q}{m}$  en fonction de  $U$ ,  $E$  et  $B$ . Faire l'application numérique. (0,75 pt)

$$U = 3,9 \text{ kV} ;$$

$$E = 9 \cdot 10^3 \text{ V.m}^{-1} ;$$

$$B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ T}.$$

**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  $\text{Na}^+$  fait un angle  $\theta$  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. (0,5 pt)

**4.3.2** Le point M est le point d'impact des ions  $\text{Na}^+$  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  $q$ ,  $m$ ,  $V_0$ ,  $B'$ ,  $\ell$  et D puis en fonction de  $q$ ,  $m$ ,  $U$ ,  $B'$ ,  $\ell$  et D.

Peut-on en déduire une détermination expérimentale de  $\frac{q}{m}$  ? Expliquer (0,75 pt)

## EXERCICE 9 (BAC S2-2011)

On se propose de déterminer le nombre de masse de l'un des isotopes du potassium, élément chimique, mélange de deux types d'isotopes:  $^{39}\text{K}$  et  $^x\text{K}$ .

L'isotope  $^{39}\text{K}$  est plus abondant.

On utilise alors un spectrographe de masse constitué essentiellement de trois compartiments (figure 2).

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.

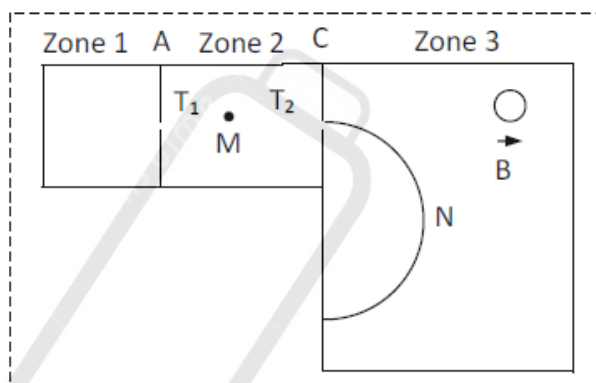


Figure 2

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  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ; la tension  $U$  établie entre les plaques A et C a pour valeur  $U = V_A - V_C = 1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$  ; l'intensité du champ magnétique régnant dans la zone 3 est  $B = 100 \text{ mT}$  ;

la masse d'un nucléon est  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  ; la masse de l'ion  $^{39}\text{K}^+$  est  $m_1 = 39 m_0$ ,

la masse de l'ion  $^x\text{K}^+$  est  $m_2 = x m_0$

**3.1** 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..

**3.1.1** Reproduire la figure sur la feuille de copie et représenter la force électrique s'exerçant sur un ion potassium se trouvant en M. (0,25 point)

**3.1.2** Montrer que, arrivés au niveau de la plaque C, en  $T_2$ , tous les ions potassium ont la même énergie cinétique. (0,5 point)

**3.1.3** 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  $T_2$ . (0,5 point)

**3.2** 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.

**3.2.1** 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. (0,25 point).

**3.2.2** Compléter la figure en représentant le sens du champ magnétique régnant dans la zone 3. (0,25 point)

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

En déduire l'expression du rayon  $R_2$  de la trajectoire des isotopes  $^x\text{K}^+$ . (0,75 point)

**3.4** Déterminer, par calcul, la valeur du rayon  $R_1$  de la trajectoire des ions  $^{39}\text{K}^+$ . (0,25 point)

**3.5** 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.

**3.5.1** Préciser, en justifiant, le point d'impact de chaque type d'isotopes. (0,25 point)

**3.5.2** Montrer que le rapport des rayons des trajectoires des isotopes du potassium dans la

zone 3 est  $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{39}{x}}$  (0,5 point)

**3.5.3** La distance entre les points d'impact est  $d = 2,5 \text{ cm}$ . Déterminer la valeur du nombre de masse  $x$  de l'isotope  $^x\text{K}^+$ . (0,5 point)