FICHE TD PARTICULES CHARGEES DANS CHAMP ELECTROMAGNETIQUE

EXERCICE 1

Aujourd'hui en France la filière nucléaire représente encore 75 % du mix énergétique. Les centrales nucléaires utilisent comme source d'énergie de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium 235, seul isotope fissible, afin d'atteindre une teneur de l'ordre de 4 %. Avant l'utilisation dans une centrale, le minerai est donc traité pour élever la teneur en uranium 235. Une des méthodes est la spectrographie de masse. Le dispositif représenté figure 8 est constitué :

- d'une chambre d'ionisation dans laquelle les atomes d'uranium 235 et d'uranium 238 de masses respectives m_1 et m_2 portés à haute température sont ionisés en ions U^+. On considère qu'à la sortie de cette chambre, en O_1, la vitesse des ions est quasi nulle ;
- la chambre d'accélération dans laquelle les ions sont accélérés entre O_1 et O_2 sous l'action d'une différence de potentiel établie entre les grilles G_1 et G_2 ;
- la chambre de déviation dans laquelle les ions sont déviés par un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure. Un collecteur d'ions est disposé entre M et N. Une fente centrée sur O_2 de largeur L dans le plan de la figure permet de choisir la largeur du faisceau incident. Une fente collectrice centrée sur F est placée entre M et N et a pour largeur L' dans le plan de la figure.

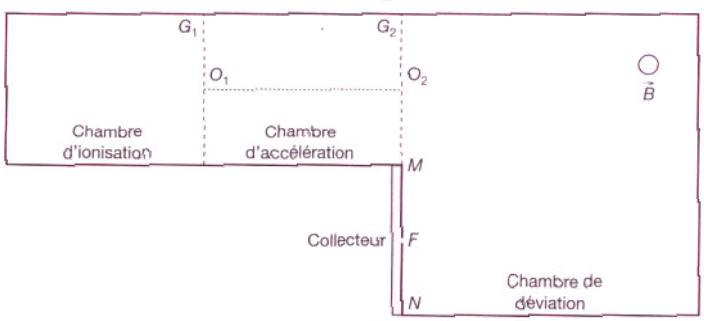


Figure 1 : spectrographe de masse

Dans cette étude le référentiel terrestre est supposé galiléen. Toutes les vitesses seront exprimées par rapport à ce référentiel.

Les chambres sont sous vide. On négligera le poids des ions devant les autres forces et on admettra qu'à la sortie de la chambre d'accélération, les vecteurs vitesses sont contenus dans le plan de la figure. On rappelle qu'une particule chargée, de charge q, animée d'une vitesse $\vec{v}$ et plongée dans un champ $\vec{B}$ est soumise à la force de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$.

1/ Dans la chambre d'accélération des ions, quel doit être le signe de la différence de potentiel (V_{G1}-V_{G2}) pour que les ions soient accélérés entre O_1 et O_2 ? On justifiera la réponse.

Etablir l'expression de la valeur des vitesses v_1 et v_2 respectivement des ions $^{235}U^+$ et $^{238}U^+$ lorsqu'ils parviennent en O_2 en fonction de m_1, m_2, e (charge élémentaire) et (V_{G1}-V_{G2}).

2/ Quel doit être le sens du champ magnétique régnant dans la chambre de déviation pour que les ions puissent atteindre le collecteur ? On justifiera la réponse.

Démontrer que la valeur de la vitesse d'une particule chargée reste constante dans la chambre de déviation.

La trajectoire d'un faisceau homocinétique d'ions $^{235}U^+$ dans la zone où règne le champ magnétique est un demi-cercle. Déterminer le rayon de courbure R_1 de la trajectoire en fonction de m_1, e, $B = \left\|\vec{B}\right\|$ et (V_{G1}-V_{G2}).

La trajectoire d'un faisceau homocinétique d'ions $^{238}U^+$ dans la zone où règne le champ magnétique est un demi-cercle. Déterminer le rayon de courbure R_2 de la trajectoire en fonction de m_2, e, $B = \left\|\vec{B}\right\|$ et (V_{G1}-V_{G2}).

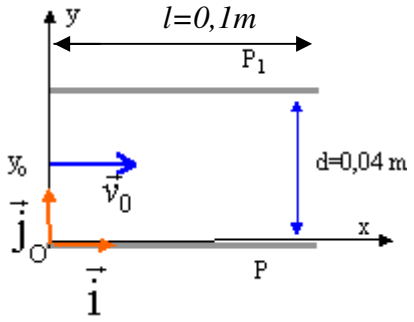
3/ Le collecteur est un récipient métallique muni d'une fente centrée en F et de largeur L' qui permet de recueillir les isotopes 235. Quelle est la condition sur la valeur du champ magnétique pour que les isotopes 235 atteignent la fente, sachant que F est placée à une distance D de O_2 ?

4/ Le faisceau d'ions émis en O_2 est un faisceau parallèle dans le plan de la figure. La fente du collecteur à une largeur L' dans le plan de la figure. R_2 étant supérieur à R_1, à quelle condition peut-il y avoir séparation isotopique dans le récipient du collecteur ? On justifiera la réponse.

EXERCICE 2

Données : masse de l'électron $m = 9{,}110^{-31}$ kg ; charge de l'électron $q = -e = -1{,}6.10^{-19}$ C ; célérité de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8$ ms^{-1} ; $1eV = 1{,}6.10^{-19}$ J ; intensité du champ de pesanteur $g = 9{,}81$ m .s^{-2}

Le champ électrique est créé par un condensateur plan constitué de deux plaques parallèles et horizontales (P et P_1) reliées à un générateur de tension constante U=205 V et séparées d'une distance d, comme l'indique la figure ci-dessous.



Tous les électrons pénètrent dans le champ, supposé uniforme, à l'ordonnée y_0 et sont animés de la même vitesse parallèle aux plaques.

1) Montrer, par un calcul, qu'il est légitime de négliger la force de pesanteur par rapport à la force électrique pour l'électron.
2) Un électron pénètre dans le champ à l'instant initial (t = 0). Etablir l'expression vectorielle de son accélération $\vec{a}$.
3) On veut que l'électron soit dévié vers le bas. Reproduire la figure et représenter (sans souci d'échelle) le vecteur champ électrique. Quelle est la plaque de plus haut potentiel ? Justifier la réponse.
4) Déterminer les composantes du vecteur accélération dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ indiqué sur la figure et établir les équations horaires du mouvement de la particule dans ce repère. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire.
5) On veut que l'électron puisse sortir de la zone d'influence du champ électrique avant d'atteindre la plaque P, exprimer la valeur minimale v_{0m} de v_0 nécessaire. Application numérique : calculer pour v_{0m} pour y_0 = 2cm.
6) Déterminer l'expression de l'énergie potentielle de l'électron $E_P(y)$ en fonction de e, E et y en un point quelconque de sa trajectoire. On prendra $E_P(y_0) = K$.
7) Exprimer l'énergie cinétique de l'électron à tout instant t en fonction de v_0, m, e, E et t.
8) Vérifier **par le calcul** que l'énergie mécanique de l'électron se conserve.
9) Calculer en électronvolt l'énergie cinétique E_C de l'électron à son entrée dans le champ électrique avec la vitesse v_{0m} calculée plus haut.

Reprendre ce calcul, toujours en électronvolt, en supposant que l'électron est relativiste, on notera E_{Cr} l'énergie cinétique relativiste et on rappelle que $E_{Cr=}(\gamma-1)mc^2, \gamma=\frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v^2}{c^2})}}$ et c=3.10^{8}m.s^{-1}.

Quelle erreur relative commet-on en utilisant l'expression classique de l'énergie cinétique. Conclure.

EXERCICE 3

CHAMBRE A BULLES

La chambre à bulles est un dispositif mis au point en 1952 par D.A Glaser (prix Nobel 1960), et destiné à visualiser des trajectoires de particules subatomiques. Il s'agit d'une enceinte remplie d'un liquide à une température légèrement supérieure à celle de vaporisation. Le passage d'une particule chargée déclenche la vaporisation et les petites bulles formées matérialisent la trajectoire de la particule. D'autre part l'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme et stationnaire, qui courbe les trajectoires et permet ainsi d'identifier les particules (à partir de leur masse et de leur charge)

On étudie ici une particule P de masse m, de charge q (positive ou négative) introduite à t=0s dans la chambre à bulles où règne le champ $\vec{B}=B\vec{e_z}$ avec B>0. La position initiale est l'origine du repère et sa vitesse initiale est $\vec{v_o}=v_o\vec{e_y}$ (v_o>0)

Le poids de la particule est négligé dans tout le problème. Le référentiel du laboratoire est supposé galiléen. Dans un premier temps, on suppose que les frottements du liquide sur la particule sont négligeables.

1) Etablir les équations différentielles du mouvement de P. On posera $\omega=\frac{qB}{m}$.
2) En déduire les équations horaires de P et indiquer la nature de sa trajectoire.
3) Représenter sur le même schéma la trajectoire d'un proton (q=e >0) ainsi que la trajectoire d'un électron de charge –e et de masse beaucoup plus faible que celle du proton.
4) En fait les frottements du liquide de la chambre à bulles sont importants : on les modélise par une force $\vec{F}=-\lambda\overrightarrow{v(P)}$ où λ est une constante positive. On posera $\alpha=\frac{\lambda}{m}$

   Etablir les nouvelles équations différentielles du mouvement (avec les paramètres ω et α.) Montrer que le mouvement reste plan.