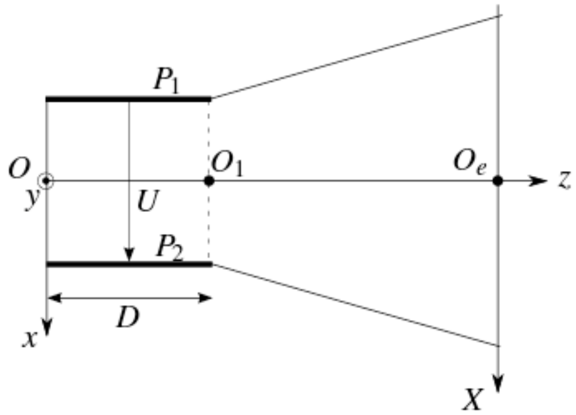
Mouvement d'une particule chargée

Exercice n°1 (★)

En 1897, J.J Thomson voulait mesurer le rapport e/m pour l'électron. La déviation par un champ électrique ou magnétique dépend de ce rapport, mais également de la vitesse initiale des particules qui n'est pas forcément connue. Il imagina alors le dispositif suivant : un faisceau d'électron que l'on suppose monocinétique de vitesse v_0 inconnue arrive dans une zone où règnent simultanément un champ électrique et un champ magnétique. On fixe la valeur du champ magnétique et on fait varier celle du champ électrique jusqu'à ce qu'il n'y ait pas de déviation du faisceau. Schématiser les directions des champs pour que ce résultat soit possible et montrer que l'on peut alors en déduire la vitesse des particules.

Exercice n°2 (★ ★)

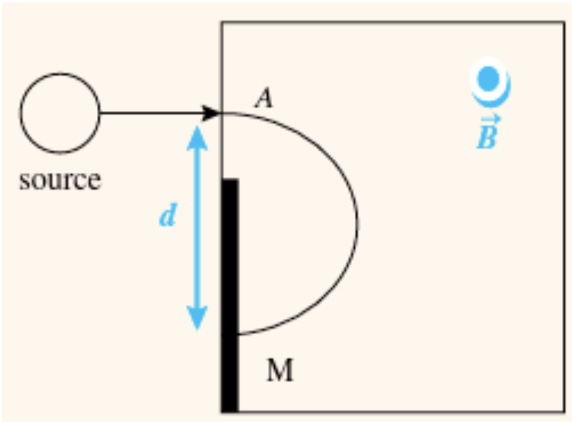
Dans tout l'exercice, on se place dans un référentiel galiléen associé à un repère cartésien $\left(O,\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{e_y},\overrightarrow{e_z}\right)$. Une zone de champ électrique uniforme est établie entre les plaques P_1 et P_2 (le champ est supposé nul en dehors et on néglige les effets de bord). La distance entre les plaques est d et la longueur des plaques D. On note U la différence de potentiel positive entre les plaques.
Des électrons accélérés pénètrent en O dans la zone de champ électrique uniforme avec la vitesse $\overrightarrow{v_0}=v_0\overrightarrow{e_z}$.



1. Établir l'expression de la force subie par les électrons en fonction de e, U, d et $\overrightarrow{e_x}$.
2. Déterminer l'expression de la trajectoire $x=f(z)$ de l'électron dans la zone de champ en fonction de v_0, U et d.
3. Déterminer le point de sortie K de la zone de champ ainsi que les composantes de la vitesse en ce point.
4. Montrer que le mouvement en dehors de la zone des plaques est rectiligne et uniforme.
5. On note L la distance O_1O_e. Déterminer l'abscisse X_P du point d'impact P de l'électron sur l'écran en fonction de v_0, U, D, L et d.

Exercice n°3 (★ ★)

Une source émet des ions de même charge $+q$ mais de masses m différentes. Les ions n'ont pas tous la même vitesse. Ces ions pénètrent en A dans une zone où règne un champ magnétique uniforme comme représenté sur la figure.



Le champ magnétique dévie la trajectoire des ions et ces ions viennent percuter une plaque d'enregistrement (symbolisée par le trait épais) au point M situé à une distance d du point A.

1. Exprimer la distance d en fonction de la masse de l'ion, de la charge q, de la norme du champ magnétique B et de la vitesse v de l'ion. Montrer qu'il est impossible de trier les particules selon leur masse uniquement.

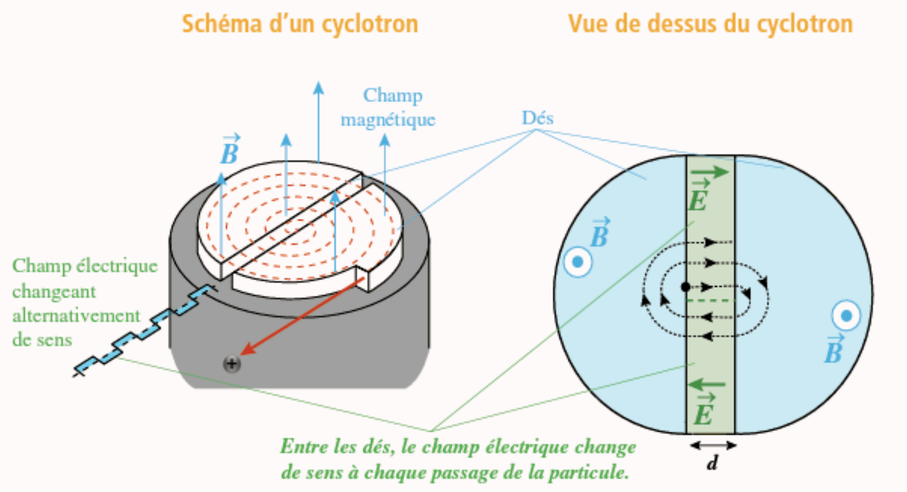
Pour palier ce problème, la source est constituée d'un four ionisant duquel sortent des ions de même charge $+q$ à des vitesses quasi-nulles. Puis, on accélère les ions à l'aide d'un dispositif formé de deux grilles parallèles entre lesquelles on applique une tension $U > 0$ placée dans le bon sens.

2. Exprimer la vitesse des ions en sortie de ce dispositif.
3. Calculer le rapport d_1 / d_2 pour deux ions de masses respectives m_1 et m_2.

Exercice n°4 (★ ★)

Le cyclotron est un accélérateur circulaire de particules inventés par Lawrence en 1931. Dans une enceinte où règne un vide poussé, on place deux cavités métalliques en forme de demi-cylindres (en raison de leur forme, ceux-ci sont appelés « dés ») séparés par un petit intervalle. Un champ magnétique uniforme est appliqué dans les dés perpendiculairement au plan du dispositif.

Un canon permet d'injecter au voisinage du centre du dispositif des ions de charge q, de masse m. Une tension U est appliquée entre les dés, de façon à générer un champ électrique uniforme, toujours dans le même sens que la vitesse d'arrivée de la particule (la tension change de signe après chaque demi-cercle décrit par la particule dans un dé). À chaque demi-tour, le rayon de rotation augmente et la particule décrit finalement une sorte de spirale. Après un grand nombre de tours, la particule sort du cyclotron. Les successeurs du cyclotron, le synchrocyclotron et le synchrotron permettent de prendre en compte les effets relativistes des particules lorsqu'elles atteignent des énergies qui dépassent le cadre classique.



Données numériques dans les accélérateurs de type cyclotron et dérivés (applications médicales)

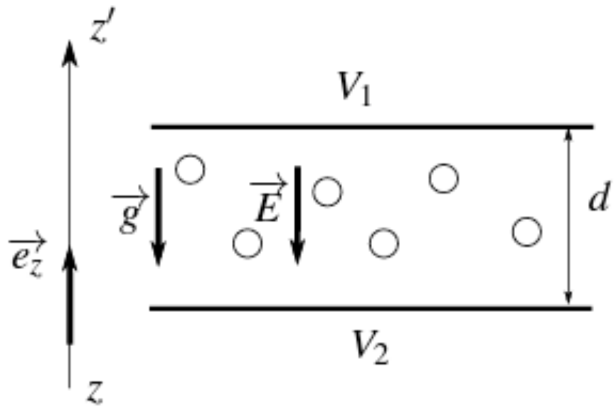
Champ magnétique	$B = 1$ T
Tension entre les dés	$U = 1$ kV
Energie finale des protons	1 à 30 MeV

Source : site de l'université du Mans

1. Exprimer l'énergie acquise par le proton après un tour. Combien de tours doit effectuer le proton afin d'acquérir les énergies de sortie attendues ?
2. Exprimer le rayon de la trajectoire de la particule dans un dé, en fonction de sa vitesse d'entrée dans le dé. Justifier l'allure de la trajectoire en spirale.
3. Déterminer le temps mis par la particule pour effectuer un demi-cercle dans un dé. En supposant que le temps de traversée du champ électrique est négligeable devant cette valeur, en déduire que les variations du champ électrique doivent être périodiques et préciser cette période pour des protons.
4. Quelle est la vitesse de sortie des protons dans l'hypothèse classique ? Conclure.

Exercice n°5 (★★)

On disperse un brouillard de fines gouttelettes sphériques d'huile, de masse volumique $\rho_h = 1300\, kg.m^{-3}$ dans l'espace séparant les deux plaques horizontales d'un condensateur plan distantes de $d = 2\, cm$. Les gouttelettes sont chargées négativement et sans vitesse initiale. Toutes les gouttelettes ont même rayon R mais pas forcément la même charge $q < 0$. En l'absence de champ électrique $\vec{E}$, une gouttelette est soumise à son poids, à la poussée d'Archimède de l'air ambiant de masse volumique $\rho_a = 1{,}3\, kg.m^{-3}$ et à une force de frottement visqueux $\vec{f} = -k\vec{v}$, avec $k = \alpha R$ et $\alpha = 3{,}4.10^{-4}\, SI$.



On prendra pour l'accélération de pesanteur : $g = 9{,}81\, m.s^{-2}$.

1. Mouvement en l'absence de champ électrique.
   a. Déterminer la vitesse limite $\overrightarrow{v_0}$.
   b. Déterminer l'expression de la vitesse des gouttes $\vec{v}(t)$. On fera intervenir un temps caractéristique τ.
   c. On mesure $v_0 = 2.10^{-4}\ m.s^{-1}$. Déterminer la valeur de k.
2. On applique une différence de potentiel $U = V_1 - V_2$ de manière à avoir un champ électrique $\vec{E}$ orienté vers le bas.
   a. Déterminer l'expression de $\vec{E}$.
   b. Une gouttelette est immobilisée pour $U = 3200\ V$. Calculer la charge q.