



TD M4 – MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES

D.Malka – MPSI 2015-2016 – Lycée Saint-Exupéry

M1 – Interaction entre deux particules chargées

On considère une particule chargée A fixe au point O et une particule chargée fixe au point B ne pouvant se déplacer que suivant l'axe Ox . Sa vitesse initiale est $v_0 \vec{e}_x$ et sa position initiale $x = a$.

1. Si $q_A = q_B = q$ et $v_0 < 0$, déterminer la distance minimale d'approche b de B . Interpréter en terme de barrière de potentiel et décrire le mouvement de la particule B .
2. Si $q_A = -q_B = q$ et $v_0 > 0$, déterminer la valeur minimale de v_0 afin que B parte à l'infini. Interpréter en terme de puits de potentiel. Que se passe-t-il si v_0 est plus faible que la valeur calculée ?

M2 – Filtre de vitesse

Un faisceau de particules de charge $q < 0$ pénètre avec une vitesse v_0 entre les armatures d'un condensateur plan créant un champ électrique uniforme orienté comme indiqué fig.1. La sortie du condensateur est diaphragmée par une fente.

1. Déterminer, en fonction de E et v_0 , le champ magnétique \vec{B} à appliquer pour que le faisceau de particules soit rectiligne.
2. Ce champ magnétique étant appliqué, on modifie la vitesse v . Analyser la trajectoire des particules suivant que $v > v_0$ ou $v < v_0$.
3. Quel peut-être l'intérêt de ce dispositif ?

M3 – Séparateur d'isotopes

On considère le dispositif fig.2.

On considère un jet homocinétique d'ions H_2^+ et D_2^+ ayant une vitesse $v_0 = 1000 \text{ m.s}^{-1}$. Ce jet est cylindrique de diamètre $d = 1 \text{ mm}$. On désire obtenir, à la sortie, un jet constitué uniquement d'ions D_2^+ . Le champ magnétique B est uniforme.

Données :

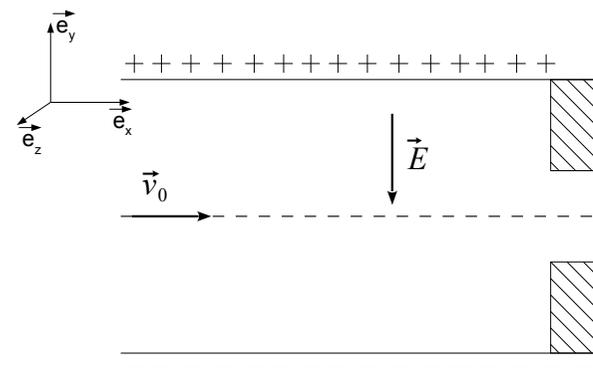


FIGURE 1 – Filtre de vitesse

- masse de l'atome d'hydrogène H : $m_H = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$,
 - masse du deutérium (hydrogène lourd) H : $m_D \approx 2m_H = 3,32.10^{-27} \text{ kg}$.
1. Retrouver l'expression du rayon de courbure R de la trajectoire d'une particule de masse m , de charge q et de vitesse v , en mouvement dans le champ \vec{B} orthogonal uniforme et stationnaire.
 2. En déduire l'intensité B du champ magnétique à appliquer pour que seuls les isotopes D_2^+ franchissent l'ouverture percée.

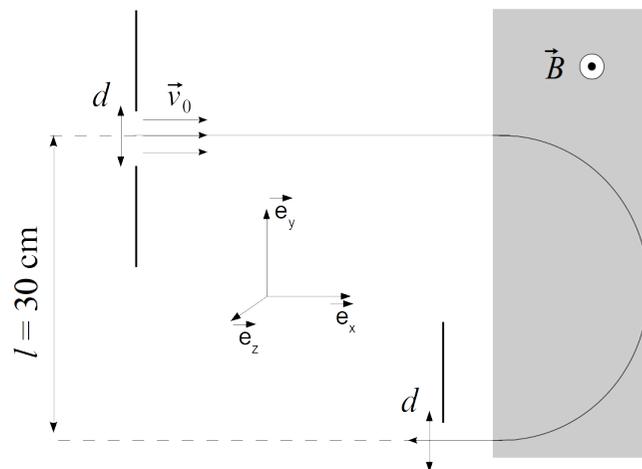
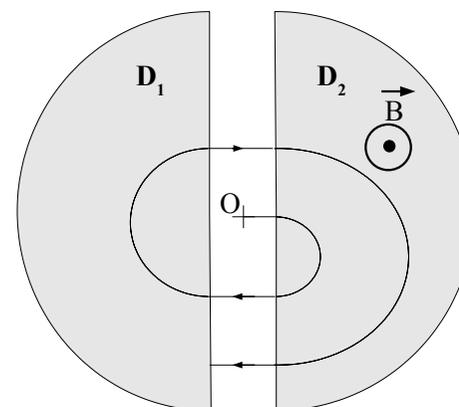


FIGURE 2 – Séparateur d'isotope

FIGURE 3 – Cyclotron. L'interstice entre les deux D est exagéré par rapport à la réalité. Le rayon de D_1 et D_2 est $r = 0,5m$

M4 – Cyclotron

- Retrouver l'expression de la pulsation ω_0 dite « cyclotron » du mouvement d'un proton de vitesse initiale \vec{v}_0 dans un champ magnétique \vec{B} uniforme perpendiculaire à \vec{v}_0 . On donne : $B = 1T$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ (charge du proton) et $m = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$ (masse du proton). On rappelle que la trajectoire du proton est alors un cercle de rayon $R = \frac{mv_0}{qB}$.
- Un cyclotron est un accélérateur de particules formé de deux boîtes métalliques semi-cylindriques D_1 et D_2 placées de sorte que \vec{B} soit parallèle aux génératrices du cylindre. Des protons sont injectés à vitesse nulle par une source d'ions au centre O du système. Une différence de potentiel sinusoïdale de pulsation ω , $V(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi)$ est appliquée entre D_1 et D_2 . Si $\omega = \omega_0$ alors le proton passant d'une boîte à l'autre trouve toujours dans l'espace entre elles un champ électrique lui communiquant une accélération. On néglige la durée du passage d'une boîte à l'autre.
 - Expliquer pourquoi il faut choisir $\omega = \omega_0$ pour accélérer le proton. Proposer une valeur de φ optimisant l'accélération des charges.
 - Quelle énergie maximale \mathcal{E}_{max} un proton peut-il acquérir avec ce dispositif? On exprimera ce résultat en joules (J) et en méga-électron-volts (MeV) ($1 MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$). Quelle est alors, classiquement, la vitesse v d'un tel proton?

- Quelle serait la différence de potentiel V_0 continue nécessaire pour accélérer un proton à cette vitesse v en une seule fois à partir d'une vitesse nulle (entre les armatures d'un condensateur plan par exemple)?
- On émet en O un proton au moment où la différence de potentiel entre D_1 et D_2 prend sa valeur maximale $V_m = 10^4 V$. Estimer la durée du parcours du proton dans le cyclotron.

- Si $v > \frac{c}{10}$, il faut traiter le problème à l'aide de la relativité restreinte. On admet que, dans le référentiel du laboratoire, la deuxième loi de Newton demeure valable à condition de remplacer la masse m par γm et que l'énergie cinétique s'écrit $E = (\gamma - 1)mc^2$ où c est la célérité de la lumière dans le vide et $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ (avec $\beta = \frac{v}{c}$).

Commenter la validité des résultats précédents.