



TD M4 – MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES

D.Malka – MPSI 2018-2019 – Lycée Jeanne d'Albret

M1 – Interaction entre deux particules chargées

On considère une particule chargée A fixe au point O et une particule chargée B , de masse m , 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 . Peut-elle atteindre le point O ?
2. Si $q_A = -q_B = q$ et $v_0 > 0$, déterminer la valeur minimale de v_0 permettant à B de partir 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 – Séparateur d'isotopes

On considère un jet homocinétique d'ions H_2^+ et D_2^+ ayant une vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$, avec $v_0 = 1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ce jet est cylindrique de diamètre $d = 1,0 \text{ mm}$ pénètre dans une zone où règne un champ magnétique orthogonal à \vec{v}_0 d'intensité ajustable (fig.1). On désire obtenir, à la sortie, un jet constitué uniquement d'ions D_2^+ .

Données :

- masse de l'atome d'hydrogène H : $m_H = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$,
- masse du deutérium (hydrogène lourd) H : $m_D \approx 2m_H = 3,32 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

1. Retrouver l'expression du rayon de courbure R de la trajectoire d'une particule de masse m , de charge $q > 0$ et de vitesse v , en mouvement dans un champ \vec{B} uniforme et stationnaire, orthogonal au vecteur-vitesse.
2. En déduire l'intensité B du champ magnétique à appliquer pour que seuls les isotopes D_2^+ franchissent l'ouverture percée.

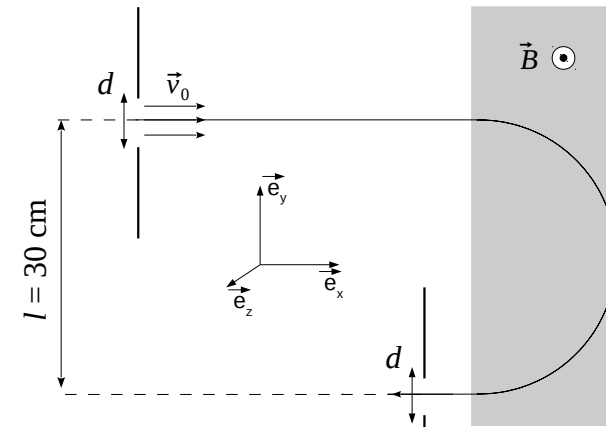


FIGURE 1 – Séparateur d'isotope

M3 – Filtre de vitesse

Un faisceau de particules de charge $q < 0$ pénètre avec des vitesses $\vec{v} = v \vec{e}_x$ ($v > 0$) de normes v variables, entre les armatures d'un condensateur plan créant un champ électrique uniforme orienté comme indiqué fig.2. La sortie du condensateur est diaphragmée par une fente. Un champ magnétique appliqué peut-être appliqué par un opérateur pour moduler la trajectoire des particules entre les deux armatures.

1. Déterminer le champ magnétique \vec{B} à appliquer pour que le faisceau de particules de vitesse v_0 fixée aient un mouvement rectiligne uniforme.

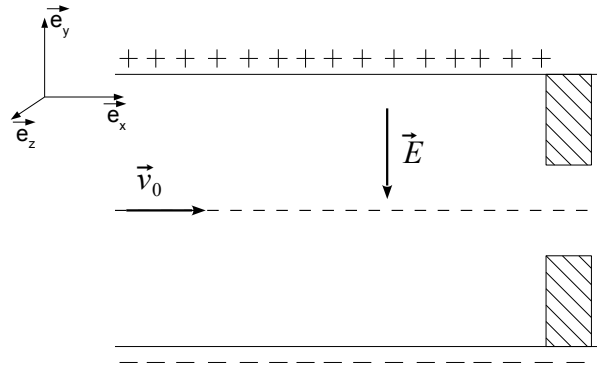


FIGURE 2 – Filtre de vitesse

2. Ce champ magnétique étant appliqué, quelles sont les allures des trajectoires des particules de vitesse respectivement $v > v_0$ et $v < v_0$.
3. Quel peut-être l’intérêt de ce dispositif?

M4 – Cyclotron

1. Après avoir écrit la relation fondamentale de la dynamique, retrouver par analyse dimensionnelle l’expression de la pulsation ω_0 dite « cyclotron » et le rayon du mouvement circulaire d’un proton de vitesse initiale \vec{v}_0 dans un champ magnétique \vec{B} uniforme perpendiculaire à \vec{v}_0 . Application numérique pour $B = 1\text{ T}$, $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$ (charge du proton) et $m = 1,66 \times 10^{-27}\text{ kg}$ (masse du proton).
2. 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.

- 2.1 Expliquer pourquoi il faut choisir $\omega = \omega_0$ pour accélérer le proton. Proposer une valeur de φ optimisant l’accélération des charges.
 - 2.2 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) ($1\text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13}\text{ J}$).
 - 2.3 Quelle serait la différence de potentiel continue V_0 nécessaire pour fournir la même énergie en une seule fois au proton (entre les armatures d’un condensateur plan par exemple)? Commenter.
 - 2.4 On émet en O un proton au moment où la différence de potentiel entre D_1 et D_2 prend sa valeur maximale $V_m = 1 \times 10^4\text{ V}$. Estimer la durée du parcours du proton dans le cyclotron.
3. A la lumière de la courbe fig.4, commenter les résultats précédents.

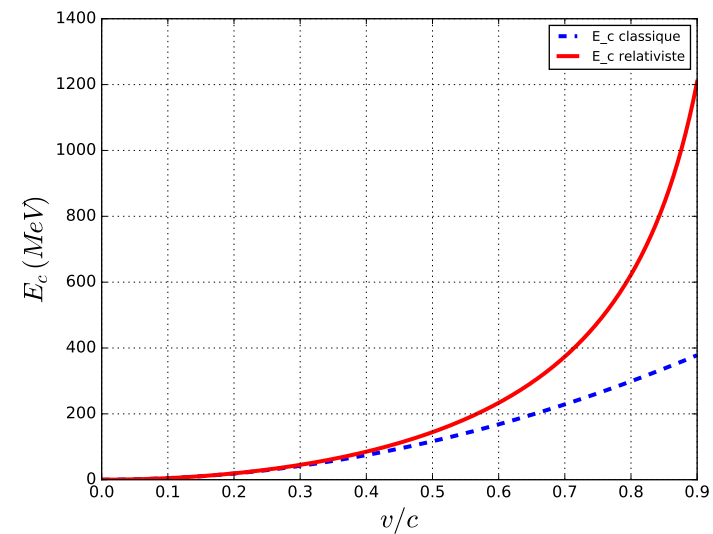
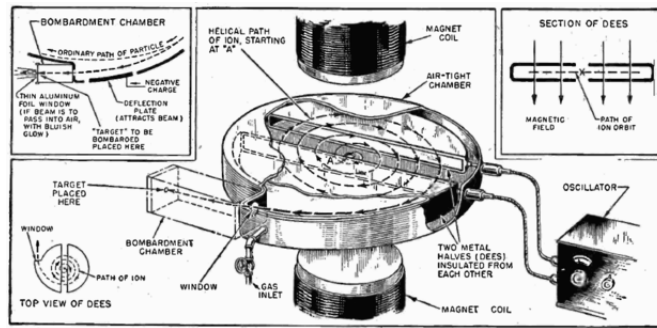
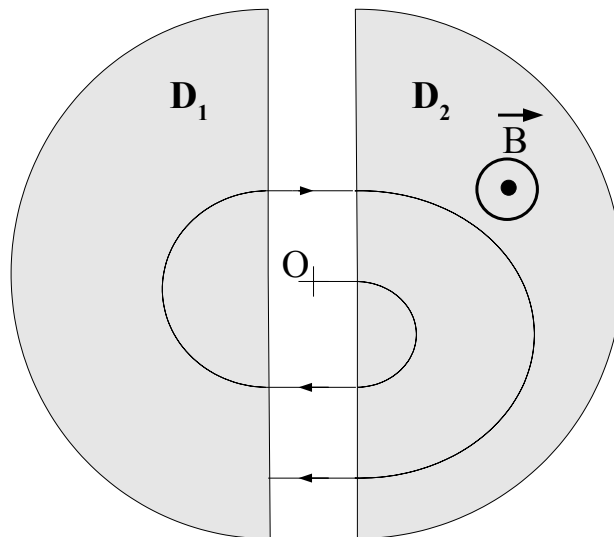


FIGURE 4 – Variation de l’énergie cinétique avec la vitesse dans les modèles classique et relativiste.



(a) Schéma d'un cyclotron.



(b) Principe du cyclotron. L'interstice entre les deux D est exagéré par rapport à la réalité. Le rayon de D_1 et D_2 est $r = 0,5$ m

FIGURE 3 – Le cyclotron