



## TD M4 – MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES

D.Malka – MPSI 2017-2018 – Lycée Saint-Exupéry

### 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.

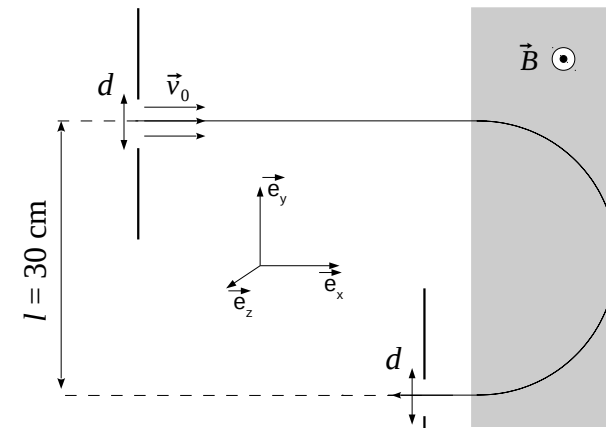


FIGURE 1 – Séparateur d'isotope

### 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.

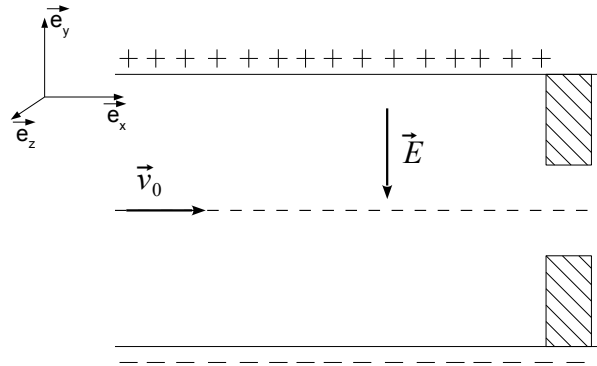


FIGURE 2 – Filtre de vitesse

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  $\omega_0$  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  $\omega$ ,  $V(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi)$  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  $\varphi$  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  $V_0$  serait-elle 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.

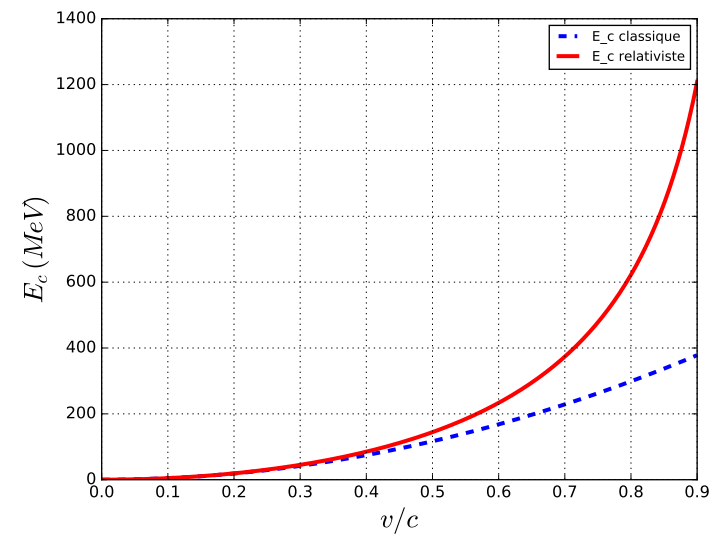
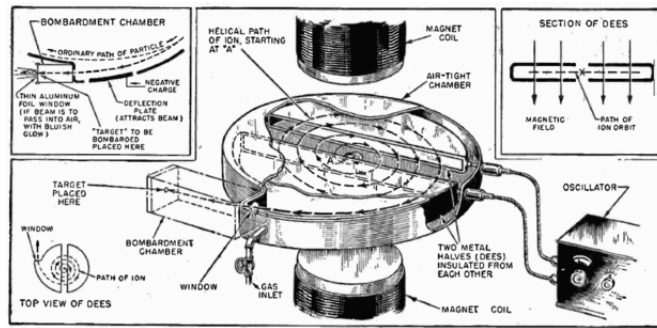
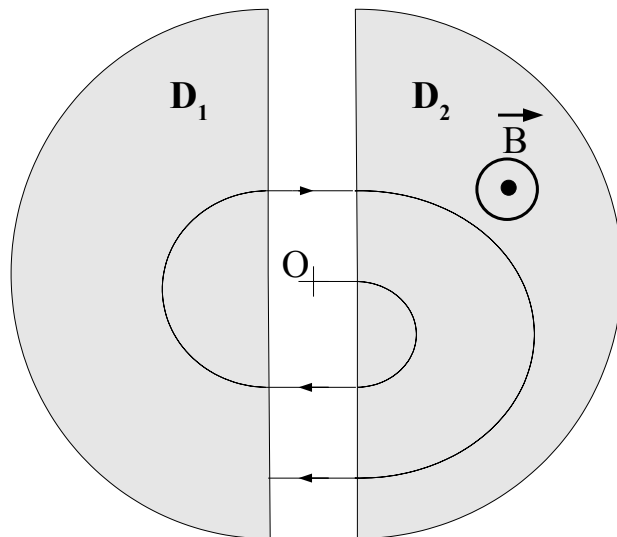


FIGURE 4 – Variation de l'énergie cinétique avec la vitesse dans les modèles classique et relativiste.



(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