

Exercice 6 Le cyclotron Arronax

Bac 2026 Centres étrangers 1 Jour 2

L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement général d'un cyclotron. Un cyclotron est un accélérateur de particules, inventé par M. Lawrence en 1931. Il est composé de deux cavités métalliques en forme de demi-cylindres éloignées d'une distance notée d . Un canon permet de produire les particules chargées introduites dans le dispositif. Entre les deux cavités, une tension alternative U est appliquée. Elle crée un champ électrique $\vec{E}$

Les particules utilisées sont des ions H^- obtenus à partir d'atomes d'hydrogène. Ils sont donc soumis, entre les deux cavités à une force électrique $\vec{F}_e$ qui les accélère.

À l'intérieur des deux cavités, un champ magnétique impose un mouvement circulaire uniforme aux particules présentes. Au bout d'un certain nombre de tours, les ions H^- passent au travers d'un extracteur qui leur enlève leurs deux électrons. À la sortie, les protons H^+ formés sont dirigés vers une cible, pour produire des radioisotopes utilisés en scintigraphie.

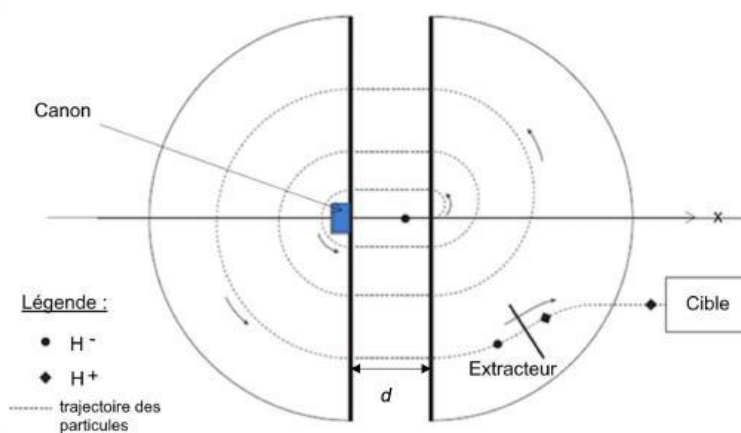


Figure 1 : Schéma simplifié d'un cyclotron

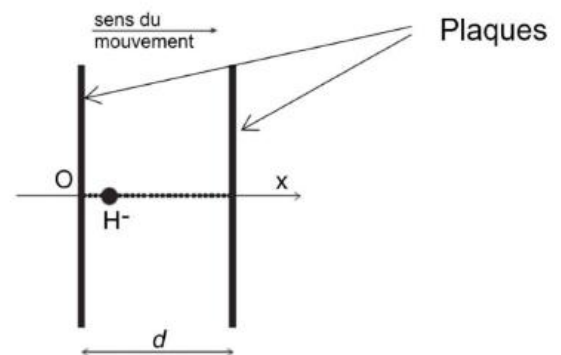


Figure 2 : Agrandissement de la zone accélératrice lors de la sortie de H^- du canon

Le mouvement de l'ion H^- entre les plaques est étudié dans un référentiel supposé galiléen, associé à l'axe (Ox). L'ion H^- est émis au point O sans vitesse initiale.

Données :

- Masse de l'ion H^- : $m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- Charge de l'ion H^- : $q = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- Distance entre les plaques : $d = 5,0 \text{ mm}$;
- Tension appliquée entre les plaques : $U = 65 \text{ kV}$;
- Valeur du champ électrique : $E = \frac{U}{d}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Q.1. Montrer que la valeur de la norme du poids de l'ion H^- est négligeable devant la valeur de la norme de la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'applique sur l'ion.

Q.2. Compléter la figure 2 en faisant apparaître, sans souci d'échelle, la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'applique sur l'ion H^- et le champ électrique $\vec{E}$ présent dans tout l'espace entre les plaques.

Q.3. Exprimer l'accélération a_x de l'ion H^- dans la zone accélératrice en fonction de e , U , d et m , en utilisant la deuxième loi de Newton.

Q.4. Montrer alors que la vitesse et la position de l'ion H^- lors du passage dans la zone accélératrice, sur l'axe x , peuvent s'écrire :

$$v_x(t) = \frac{e U}{m d} t$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \frac{e U}{m d} t^2$$

Q.5. Calculer la valeur de la vitesse v_{sortie} de l'ion H^- après le premier passage dans la zone accélératrice lorsque $x(t) = d$.

Q.6. Vérifier que l'énergie cinétique de l'ion H^- à la sortie de la zone accélératrice vaut $E_c = 1,0 \times 10^{-14} \text{ J}$.

À chaque passage entre les plaques, les particules gagnent une énergie cinétique égale à $1,0 \times 10^{-14} \text{ J}$. Par contre, les particules n'acquièrent pas d'énergie cinétique dans les cavités.

En sortie du cyclotron, les particules possèdent une énergie cinétique de 70 MeV.

Q.7. Calculer le nombre de tours complets que les particules ont effectués avant la sortie du cyclotron.

Pour cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.