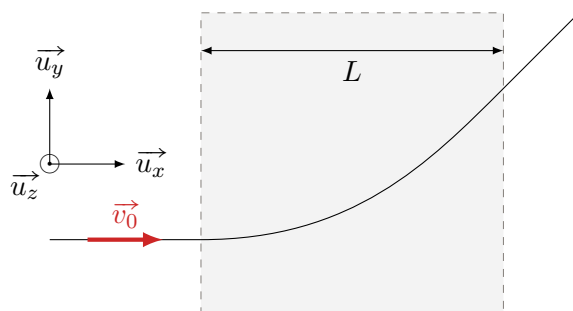


9 Dynamique des particules chargées

9.1 Problèmes de khôlle

9.1.1 Détermination d'un champ électrique

Un électron de masse m , d'énergie cinétique $\mathcal{E}_{c0} = 80 \text{ keV}$ pénètre dans une cavité de longueur $L = 1 \text{ m}$ avec une vitesse $\vec{v}_0$ horizontale. Un champ électrique uniforme $\vec{E}_0$ règne dans cette cavité et dévie l'électron selon la trajectoire représentée ci-dessous :



1. Déterminer la direction et le sens du champ électrostatique $\vec{E}_0$.
2. Lors de sa traversée, l'énergie cinétique de l'électron varie de $|\Delta\mathcal{E}_c| = 10 \text{ keV}$. Quel est le signe de $\Delta\mathcal{E}_c$?
3. Déterminer la norme E_0 .
4. Évaluer l'angle de déviation de la trajectoire en sortie de la zone de champ.

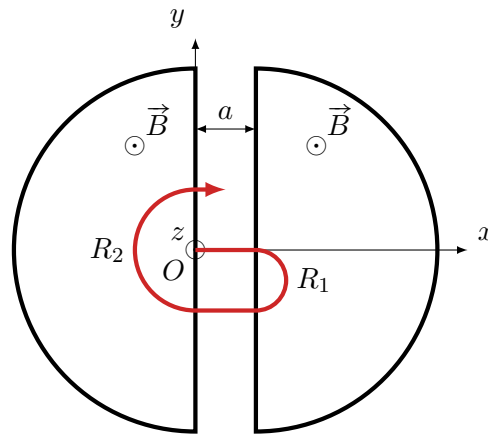
Données :

$$m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} ; 1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

Banque PT

9.1.2 Cyclotron

Un cyclotron est formé de deux demi-cylindres D_1 et D_2 , appelées « dees » de diamètre $d = 11 \text{ cm}$, séparés d'une zone étroite d'épaisseur a . Les dees sont situés dans l'entrefer d'un électroaimant qui fournit un champ magnétique uniforme $\vec{B} = B\vec{u}_z$. Une tension harmonique u d'amplitude $U_m = 1800 \text{ V}$ est appliquée dans l'entrefer, si bien qu'il y règne un champ électrique $\vec{E} = \frac{u}{a}\vec{u}_x$. On injecte des protons au sein de la zone intermédiaire avec une vitesse initiale négligeable.



1. Montrer qu'à l'intérieur d'un des dees la norme de la vitesse des protons est constante.
2. En déduire le rayon de courbure R de la trajectoire des protons ayant une vitesse v .
3. En raisonnant par récurrence entre les demi-tours de rayon R_n et R_{n+1} , établir l'expression de la vitesse v_n en fonction de n , e , U_m et m .
4. En déduire l'expression du rayon R_n .
5. L'énergie cinétique du proton en sortie de cyclotron est $\mathcal{E}_c = 58 \text{ keV}$, en déduire la norme du champ magnétique.
6. Déterminer le nombre de tours parcourus par le proton.

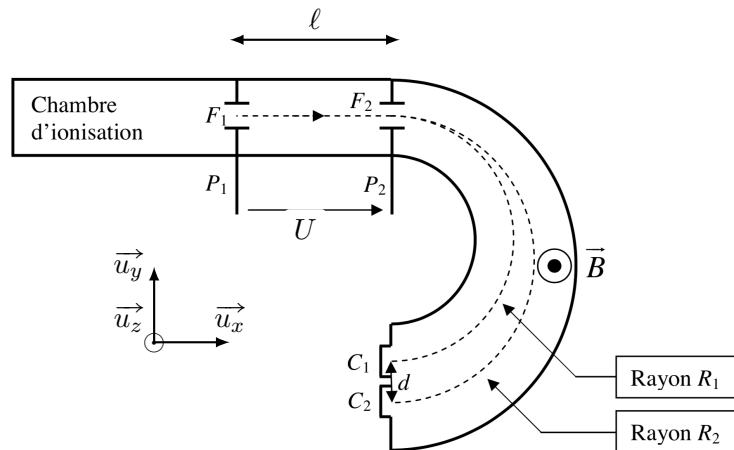
Données :

- Masse d'un proton $m = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$,
- Charge d'un proton $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Banque PT**9.1.3 Spectromètre de masse**

Un spectromètre de masse est composé des éléments suivants :

- une chambre d'ionisation permettant de générer des ions de charge positive $q = +e$, de masse m_1 et m_2 et de vitesse initiale nulle,
- une chambre d'accélération où un champ $\vec{E} = -\frac{U}{\ell} \vec{u}_x$ est appliqué entre la fente F_1 et la fente F_2 ,
- une chambre de déviation où un champ magnétique $\vec{B} = B_0 \vec{u}_z$ est appliqué.



1. Quel signe doit avoir U pour permettre aux ions positifs d'entrer dans la chambre de déviation ?
2. En déduire une expression de la vitesse des ions entrant dans la chambre de déviation en fonction de U , e et leurs masses respectives.

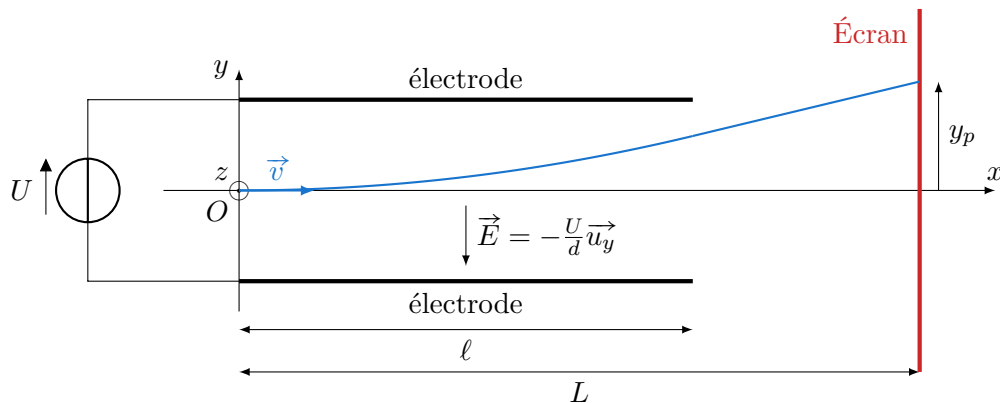
- Montrer que l'énergie cinétique est une constante du mouvement dans la chambre de déviation.
- En supposant une trajectoire circulaire dans la chambre de déviation, en déduire les rayons R_1 et R_2 des ions, ainsi que leur centre de rotation respectif.
- En déduire la distance d qui doit séparer les deux collecteurs C_1 et C_2 pour permettre une séparation efficace des ions.
- Calculer la tension U pour que la distance entre les collecteurs soit égale à $d = 2,0$ cm.

Données :

$$B_0 = 0,1 \text{ T} \quad e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_1 = 390 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad m_2 = 395 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

9.1.4 Déflexion d'électrons

On étudie un système de déflexion d'électrons dans le champ électrique uniforme généré par deux électrodes parallèles. Les deux électrodes sont des plaques métalliques distantes de d selon l'axe Oy et de longueur ℓ selon l'axe Ox . On maintient entre les électrodes une tension électrique U qui crée un champ électrique $\vec{E}$ uniforme et constant, égal à $-\frac{U}{d}\vec{u}_y$ entre les électrodes. Au-delà, pour $x > \ell$, le champ électrique est supposé nul. Un écran est placé en $x = L$. Une cathode émet des électrons de masse m et de charge q depuis le point O avec une vitesse initiale $V\vec{u}_x$.



- Montrer que la vitesse des électrons selon x est constante. Donner son expression.

On s'intéresse au mouvement des électrons entre les deux électrodes, pour $x < \ell$, lorsqu'ils sont soumis au champ électrique.

- Établir l'expression de leur accélération selon l'axe Oy .
- En déduire l'expression de $y(t)$. Quel type de trajectoire retrouve-t-on ?
- Exprimer l'équation cartésienne de cette parabole sous la forme : $y = \frac{x^2}{\alpha}$ où α est une distance que l'on exprimera en fonction des données du problème.
- Exprimer la vitesse minimale à donner à l'électron pour qu'il ne touche pas les électrodes lors de sa trajectoire.

On s'intéresse désormais à la phase du mouvement entre les électrodes et l'écran.

- Montrer que la trajectoire des électrons est une droite.
- Exprimer le coefficient directeur de cette droite, dans le repère Oxy , en fonction de ℓ et α .
- En déduire que l'ordonnée du point d'impact y_p sur l'écran est proportionnelle à U , de la forme $y_p = kU$, où on exprimera le facteur k en fonction des données du problème.