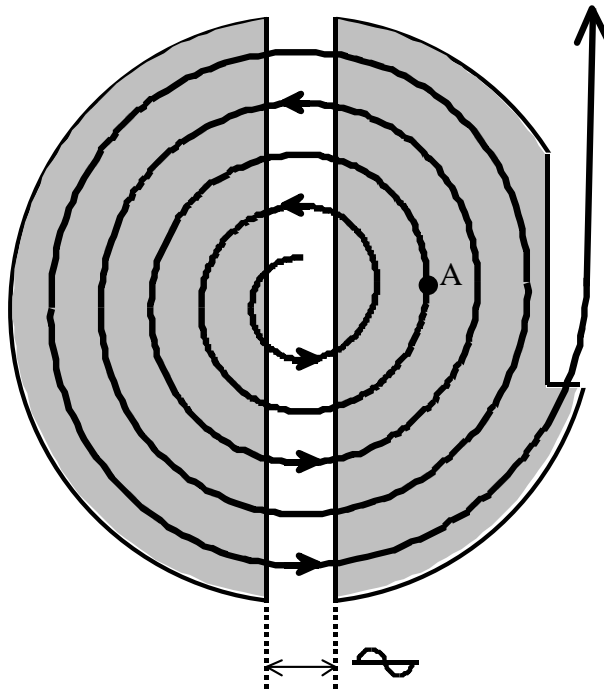


Principe de fonctionnement du cyclotron : des dés ...

Schématiquement les cyclotrons combinent :

- Un intense champ magnétique axial produit par des aimants,
- Un champ électrique alternatif radial de haute fréquence entre deux éléments de forme semi-circulaire nommés « dés ».



Les particules chargées sont introduites au centre du dispositif. Le champ magnétique leur confère une trajectoire circulaire autour de l'axe du cyclotron

La particule injectée au cœur du cyclotron va être accélérée par le champ électrique alternatif de haute fréquence entre les « dés ». Puis, elle entre dans le « dé » suivant lorsque le champ électrique change de sens et elle est donc à nouveau accélérée, et ainsi de suite.

Sa trajectoire devient plus périphérique du fait de son augmentation d'énergie. Elle sera éjectée de l'accélérateur avec l'énergie adéquate à partir de cette dernière trajectoire, puis guidée et focalisée jusqu'à sa cible.

1. Représenter, en justifiant, au point A de la trajectoire de l'ion injecté dans le cyclotron, le vecteur vitesse \vec{v} de l'ion et la force magnétique \vec{F}_m qui s'exerce sur l'ion. Représenter le champ magnétique \vec{B} , dans l'hypothèse où la charge q de l'ion est positive.
2. Montrer que l'action du champ \vec{B} ne permet pas d'accroître l'énergie cinétique de l'ion.
3. Démontrer que dans un « D », dans l'hypothèse où le champ magnétique est uniforme et constant, le mouvement de l'ion est circulaire uniforme et exprimer le rayon de la trajectoire en fonction de m (masse de l'ion), v (module de la vitesse de l'ion), q et B .
4. Montrer que la durée de passage dans un demi-cylindre, notée t_p , ne dépend pas de v .

Pour accroître l'énergie cinétique de l'ion, on utilise l'action du champ électrique \vec{E} résultant de la tension u appliquée entre les deux « D ». On considère que pendant la durée très courte de passage de l'ion d'un « D » à l'autre, la tension u reste constante.

5. Déterminer, en fonction de q et u les expressions des variations de l'énergie cinétique de l'ion lors de la traversée de l'espace entre les deux « D ».
6. Un ion est injecté dans la zone d'accélération avec une vitesse nulle. Quelle est sa vitesse v_1 au moment de la pénétration dans le premier « D » et quel est le rayon R_1 de la première trajectoire semi-circulaire ?
7. On peut négliger la durée de passage de l'ion dans l'intervalle entre les deux « D » devant la durée t_p de passage de l'ion dans un demi-cylindre. La tension u est une fonction sinusoïdale du temps qui doit être synchronisée avec le mouvement des particules chargées de telle sorte que le champ électrique soit inversé à chaque demi-tour. Quelle doit être la fréquence d'oscillation de cette tension $u(t)$ permettant d'obtenir une accélération de l'ion à chaque passage dans l'intervalle entre les deux « D ».
8. Après chaque passage dans l'intervalle entre les deux « D », la vitesse de la particule ainsi que le rayon R de sa trajectoire dans un « D » augmentent. Déterminer les suites v_k et R_k , l'indice k étant incrémenté d'une unité à chaque demi-tour.
9. Lorsque ce rayon finit par atteindre le rayon R_D d'un « D », l'ion est alors éjecté du cyclotron. Exprimer en fonction de m , q , B et R_D l'énergie cinétique \mathcal{E}_k de l'ion lors de son éjection.
10. *Application numérique.* Calculer, en joule, puis en MeV, l'énergie cinétique \mathcal{E}_k d'un ion zinc Zn^{11+} (onze plus) sachant que : $B = 1,67 \text{ T}$; $m = 1,06 \times 10^{-25} \text{ kg}$; $R_D = 0,465 \text{ m}$; $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.