

## Le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL)

Le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds GANIL permet d'accélérer des ions lourds fortement chargés.

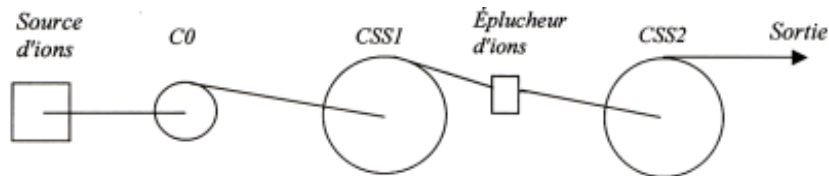
Le GANIL comporte :

.un cyclotron injecteur (CO) relié à une source d'ions ;

.deux cyclotrons identiques (CSS1) et (CSS2) qui accélèrent les ions fournis par le cyclotron injecteur (CO) ;

.un "éplucheur" d'ions situé entre les cyclotrons (CSS1) et (CSS2), dont le rôle sera étudié dans la partie 2 de cet exercice.

On considère qu'il ne modifie pas l'énergie cinétique des ions le traversant.



1. Étude du cyclotron injecteur (CO). Dans cette partie, on considère un ion de charge  $q$  positive et de masse  $m$  arrivant dans le cyclotron (CO) au point A, centre du dispositif, avec une vitesse considérée comme nulle: voir schéma de la feuille annexe. Le poids de l'ion est négligeable devant les autres forces.

Le cyclotron (CO) est constitué de deux demi-cylindres  $D_1$  et  $D_2$  en forme de "D" séparés par un espace étroit.

À l'intérieur de chaque "D" règne un champ magnétique  $\vec{B}$ , uniforme et constant, de direction parallèle à l'axe Oz (de vecteur unitaire  $\vec{k}$ ) et de valeur constante  $B$ . Dans l'intervalle situé entre les deux "D" règne un champ électrique  $\vec{E}$  associé à la tension  $u$  (voir schéma de la feuille annexe). Sous l'action de ces deux champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ , le mouvement de l'ion dans le cyclotron a une trajectoire dont une partie (de A à A6) a été représentée sur le schéma de la feuille annexe.

1.1. Action du champ magnétique.

1.1.a. Représenter, en justifiant, sur le schéma de la feuille annexe (À RENDRE AVEC LA COPIE), au point A2 de la trajectoire de l'ion dans le cyclotron, le vecteur vitesse  $\vec{v}_2$  de l'ion et la force magnétique  $f_m$  qui s'exerce sur l'ion. En déduire le sens du champ magnétique  $\vec{B}$ , le représenter sur le schéma.

1.1.b. Montrer que l'action du champ  $\vec{B}$  ne permet pas d'accroître l'énergie cinétique de l'ion de vecteur vitesse  $\vec{v}$ .

1.1.c. On précise que dans un "D", le mouvement de l'ion est circulaire uniforme et on rappelle que dans un "D" le rayon de la

trajectoire est 
$$R = \frac{mv}{qB}$$

Montrer que la durée de passage, notée  $t_p$ , dans un demi-cylindre ne dépend pas de la valeur  $v$  de la vitesse de l'ion.

### 1.2. Étude de la tension u.

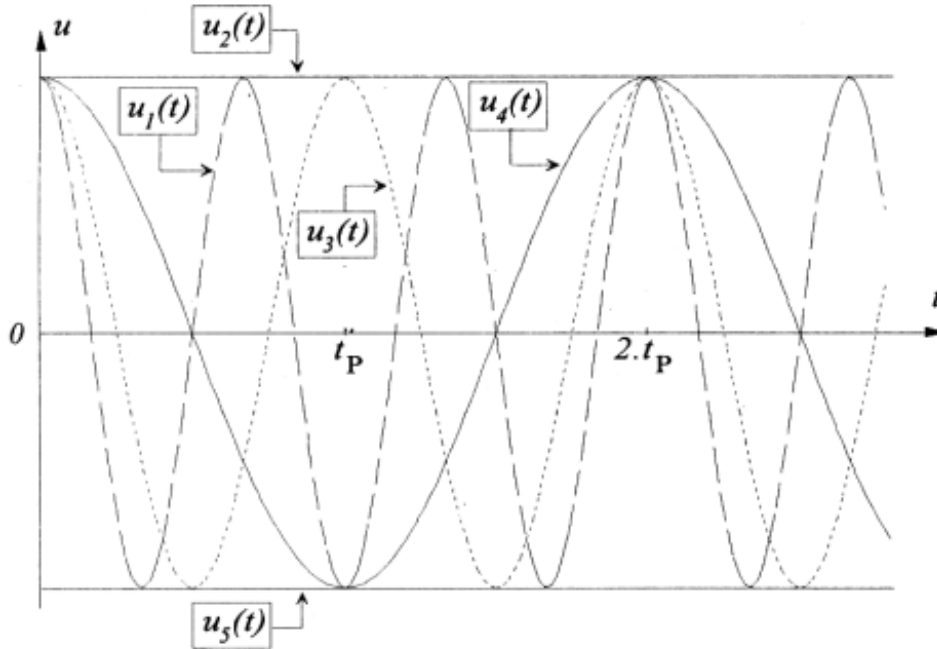
Pour accroître l'énergie cinétique de l'ion, on utilise l'action du champ électrique  $\vec{E}$  résultant de la tension u appliquée entre les deux "D". On considère que pendant la durée très courte de passage de l'ion d'un "D" à l'autre, la tension u reste constante.

1.2.a. Déterminer, en fonction de q et u (voir schéma de la feuille annexe), les expressions des variations de l'énergie cinétique de l'ion respectivement entre  $A_3$  et  $A_4$  puis entre  $A_5$  et  $A_6$ .

1.2.b. En déduire si la tension u doit être alternative ou continue. Justifier la réponse.

1.2.c. 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 (voir I.I.c.).

Parmi les tensions représentées indiquer, en justifiant votre réponse, la ou les tensions permettant d'obtenir une accélération de l'ion à chaque passage dans l'intervalle entre les deux "D" (à  $t_0 = 0$ , l'ion passe au point  $A_1$ ).



### 1.3. Éjection.

Après chaque passage dans l'intervalle entre les deux "D", le rayon R de la trajectoire de l'ion dans un "D" augmente. On considère que lorsque ce rayon finit par atteindre le rayon  $R_0$  d'un "D" du cyclotron (CO), l'ion est alors éjecté du cyclotron (CO).

1.3.a. Exprimer en fonction de m, q, B et  $R_0$  l'énergie cinétique  $E_{c(0)}$  de l'ion lors de son éjection du cyclotron (CO).

1.3.b. Calculer, en MeV, l'énergie cinétique  $E_{c(0)}$  d'un ion zinc  $Zn^{11+}$  (onze plus) sachant que :  $B = 1,67 \text{ T}$  ;

$m = 1,06 \times 10^{-25} \text{ kg}$  ;  $R_0 = 0,465 \text{ m}$  ;  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

### 2. Rôle de "l'éplucheur" d'ions.

Dans la suite, on admet que le principe de fonctionnement des cyclotrons CSS1 et CSS2 est identique à celui du cyclotron (CO). Par conséquent, la relation établie au 1.3.a. pour l'énergie cinétique de l'ion en fonction de q, m, B et R (rayon de la trajectoire circulaire de l'ion dans un "D") reste valable pour le mouvement de l'ion dans les cyclotrons CSS1 et CSS2. Pour que le cyclotron CSS2, identique au cyclotron CSS1, joue son rôle d'accélérateur des ions zinc, il faut modifier une caractéristique de l'ion zinc. Un moyen économiquement rentable consiste à modifier la charge de l'ion zinc : c'est le rôle de l'éplucheur.

2.1. Indiquer, en justifiant la réponse, si la charge de l'ion zinc doit diminuer ou augmenter lors de son passage dans l'éplucheur situé entre les cyclotrons CSS1 et CSS2.

2.2. À la sortie du cyclotron CSS1, l'ion  $Zn^{11+}$ , d'énergie cinétique  $E_{c(1)} = 310 \text{ MeV}$  ; traverse l'éplucheur d'ions dans lequel sa charge est modifiée. Puis il pénètre avec l'énergie cinétique  $E_{c(1)}$  dans le cyclotron CSS2 identique à CSS1 (même valeur du champ magnétique et même rayon des "D"). Dans CSS2 l'ion zinc, de masse  $m = 1,06 \times 10^{-25} \text{ kg}$ , est accéléré et sort du cyclotron CSS2 avec une énergie cinétique  $E_{c(2)} = 1,60 \times 10^3 \text{ MeV}$  :

Déterminer la formule de l'ion zinc qui pénètre dans le cyclotron CSS2 après passage par l'éplucheur d'ions.