

Accélérateur de protons

Consigne

individuel et mise en commun en petit groupe puis en grand groupe (45 min)

Interprétation et vérification de la validité des propositions du texte.

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/accelin.html> (adaptation)

Principe des accélérateurs de type Wideroë-Alvarez

Dans une enceinte ou règne un vide poussé, on fait passer un flot de particules chargées dans une série de tubes métalliques coaxiaux (tubes de glissement) reliés successivement aux bornes d'une source de tension alternative $u = U \sin (2\pi N t)$. Cette tension crée un champ électrique axial dans les intervalles qui séparent les tubes. Ce champ accélère les particules présentes dans les intervalles. On peut considérer qu'à l'intérieur des tubes le champ est nul et que les particules s'y déplacent à vitesse constante. L'énergie finale dépend du nombre de tubes.

On considère des protons (masse = $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg et charge $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) issus d'une source qui leur communique une énergie initiale $E_0 = e U_0$ et une vitesse initiale $V_0 = (2 E_0 / m)^{1/2}$ dirigée selon l'axe des tubes.

Pour que l'accélération soit efficace, il faut que les protons traversent les zones entre les tubes quand le champ électrique est maximal. A chaque fois que le proton traverse l'espace entre deux tubes, il faut que le champ accélérateur soit orienté de la gauche vers la droite et communique au proton l'énergie maximum $\Delta E = e U$.

Dans ces conditions, à la sortie du $n^{\text{ième}}$ tube, l'énergie du proton sera $E_n = e (U_0 + (n - 1)U)$ et dans le $n^{\text{ième}}$ tube la vitesse du proton sera $V_n = (2E_n / m)^{1/2}$. Ces conditions ne seront satisfaites que si les longueurs des tubes de glissement ont des valeurs correctes.

Premier tube :

Dans ce tube la vitesse reste égale à v_0 . A l'entrée la tension est nulle et à la sortie elle est égale à $+U$. La durée du temps de vol doit être égale à $T/4$. La longueur du tube est $L_1 = V_0 T/4 = V_0/(4 N)$.

Tube n :

Dans ce tube la vitesse reste égale à V_n . La durée du temps de vol est $T/2$. La longueur du tube est $L_n = V_n T/2 = V_n/(2 N)$.

Des protons injectés seuls ceux qui partent de l'origine au moment où u est nul sont accélérés correctement. Les protons qui n'ont pas la bonne vitesse vont finir par passer dans un intervalle entre deux tubes en opposition de phase et seront alors freinés.

Les longueurs des tubes ont été calculées pour les conditions suivantes : $U = 100$ kV, $U_0 = 150$ kV, $N = 25$ MHz. On peut vérifier que la longueur du 4^{ième} tube est 18,6 cm.

L'énergie acquise au 10^{ième} tube est d'environ 1 MeV.

