

Collisionneurs de particules

Niveau : L3

Fil directeur : prendre une réaction qui fournit des particules et comparer avec les valeurs d'énergie qu'on obtient avec différents accélérateurs

I) Principe d'un collisionneur de particules

1) idée

Les réactions nucléaires permettent de sonder la matière. Pour distinguer les détails d'une certaine taille il faut disposer d'un rayonnement ayant une longueur d'onde inférieure à la dimension de ces détails or longueur d'onde de de Broglie : plus l'impulsion, donc l'énergie est élevée est plus la longueur d'onde sera petite

Collisionneur : convertir énergie cinétique en énergie de masse (particules élémentaires) : prendre l'énergie de masse d'une particule et comparer avec les valeurs qu'on obtient

2) Comment mettre des particules en mouvement ?

- utiliser des réactions nucléaires (cf cœur des réacteurs pour les neutrons, Soleil pour les neutrinos,) dans lesquelles les particules sont produites avec une certaine énergie
- particule chargée électriquement : accélérée par un champ électrique (c'est le principe derrière les accélérateurs)

Dans le cadre de cette leçon nous nous intéresserons uniquement à des particules chargées

II) Accélérateurs de particules

1) Principe

Les accélérateurs de particules permettent d'accélérer des particules chargées dans une grande gamme d'énergie. Ils sont basés sur la force de Lorentz : calcul : seule la partie électrique de la force de Lorentz travaille et peut donc modifier la vitesse de la particule chargée. La partie magnétique ne travaille pas, elle permet de dévier une particule chargée possédant une certaine vitesse (expérience) (elle permet également de réaliser des optiques permettant de guider et modifier les propriétés géométriques d'un faisceau, par exemple focalisation avec des quadrupôles magnétiques)

Un accélérateur de particules est constitué de 3 grandes parties :

- une source d'ions (par exemple cathode émettrice)
- « l'accélérateur » : partie sous vide poussé sinon le faisceau d'ions serait vite arrêté par le gaz présent
- les aires expérimentales dans lesquelles sont réalisées les collisions avec d'autres faisceaux

2) Présentation de quelques accélérateurs

- accélérateur à courant continu : accélérer un proton à 1MeV, il faut une tension continue de 1 million de volts (ex : premier accélérateur créé par Cockroft et Walton) : les accélérateurs à courant continu ne sont pas réalistes

- accélérateurs à courant alternatif : - accélérateurs linéaires (LINAC) : les particules se déplacent par paquet de manière rectiligne. Un LINAC est une suite de tubes accélérateurs appelés tubes de glissement, disposés linéairement et séparés par des régions sans champ électrique. La fréquence est choisie de manière à ce que lorsque le paquet passe par un tube de glissement au suivant elle est positive. Comme le paquet de particules va de plus en plus vite à mesure que son énergie cinétique augmente, la longueur du tube de glissement doit augmenter au fur et à mesure de l'accélération. (1^{ère}

machine de ce type : 1931, accélérateur de Windroe. Lorsqu'on accélère des électrons ils deviennent très vite relativistes. La longueur des tubes de glissement ou des cavités accélératrices est alors la même lorsque la vitesse de la lumière est pratiquement atteinte. Ceci peut être utilisé astucieusement en utilisant un tube de glissement pour accélérer des électrons d'énergie très différente mais se propageant à une vitesse très proche de celle de la lumière.

Limite : pour atteindre des énergies de plus en plus élevées l'accélérateur linéaire doit être de plus en plus long.

- accélérateurs circulaires : les accélérateurs circulaires permettent d'atteindre de très grandes énergies car la longueur de la trajectoire peut être beaucoup plus grande que dans les accélérateurs linéaires. (Ils sont plus compacts mais lorsque la vitesse des particules est grande, les pertes par rayonnement de freinage peuvent être élevées ce qui nécessite un complément de puissance pour les compenser).

Cyclotron : le champ magnétique est créé par un électroaimant fonctionnant à température ordinaire ou à la température de l'hélium liquide (des systèmes supraconducteurs permettent de créer des champs magnétiques plus élevés tout en consommant moins d'électricité.

Deux cavités semi-circulaire, les « Dees », dans l'entrefer de l'électroaimant. La trajectoire des particules est

Calcul énergie cible fixe et cible en mouvement : prendre un exemple concret
Donner ordre de grandeurs collisionneurs

Partie applications, rayonnement synchrotron (attention juste synchrotron, pas collisionneurs)

Prérequis : référentiel du centre de masse

Biblio :

BFR méca (déviations de particules chargées en relat)

$$x - x_0 = \frac{mc^2}{qE} \left(\left(\gamma_0 \frac{v_0}{c} + \frac{qEt}{mc} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$x(t) = \frac{mc^2}{qE} \left(\gamma_0^2 + \frac{2\gamma_0 v_0 qEt}{mc^2} + \frac{q^2 E^2 t^2}{m^2 c^2} \right)^{\frac{1}{2}} - \gamma_0$$