

ENSMP 3 Mai 2010

## EXAMEN DE PHYSIQUE

### NOYAUX ET RADIOACTIVITÉ

**Durée :** 1h35.

**Documents autorisés :** tous les photocopiés de Physique et notes de cours.

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre de votre choix. Les questions 2,3 et 4 du premier exercice sont indépendantes.

À titre indicatif, le barème pourrait être pour chaque partie : 15, 15 (pour une note sur 30).

**Constantes utiles :**

charge du proton  $q = 1,602 \times 10^{-19}$  C ; vitesse de la lumière  $c = 3 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup> ;

masse de l'électron  $10^{-27}$  g = 0,511 MeV/c<sup>2</sup> ; masse du pion 139,57 MeV/c<sup>2</sup> ;  $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9$  SI ; nombre d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  ; constante de Planck réduite  $\hbar = 6,579 \times 10^{-22}$  MeV.s

#### I - Electrons dans le noyau

En envoyant des particules  $\alpha$  sur des feuilles métalliques minces, Rutherford constate en 1911 que certaines de ces particules sont très fortement déviées, jusqu'à rebrousser chemin à 180°. Il en déduit que le champ électrostatique agissant sur ces particules est très élevé, et donc que la charge électrique de l'atome est concentrée dans un très petit volume, le *noyau*.

**1** - Avant la découverte du neutron par Chadwick en 1932, on pouvait penser qu'un noyau n'était constitué que de protons et d'électrons. Combien y aurait-il de particules de chaque sorte en fonction de  $A$  et  $Z$  ?

On observe effectivement des électrons émis par les noyaux. Indiquer leur origine, compte tenu des théories actuelles.

**2** – Le spin du noyau de deutérium est égal à 1, celui de  ${}^6_3\text{Li}$  est égal à 1. Ces valeurs sont-elles compatibles avec l'hypothèse de noyaux constitués de protons et d'électrons ?

**3** – En utilisant la relation d'incertitude de Heisenberg, calculer l'ordre de grandeur de l'énergie cinétique minimale d'un électron, confiné dans un noyau de  $10^{-14}$  m de diamètre. Donner le résultat en mécanique classique et en mécanique relativiste, en indiquant le plus approprié.

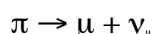
Calculer l'énergie de liaison électrostatique d'un électron à la périphérie de ce noyau ( $Z = 50$ ). En déduire que l'électron ne peut pas rester confiné durablement dans le noyau.

4 – Les seuls nucléides connus avec  $A = 7$  sont  ${}^7_3\text{Li}$  et  ${}^7_4\text{Be}$ . Quel intérêt présentent-ils pour l'étude de l'interaction forte ?

La masse d'un *atome-gramme* de ces nucléides vaut respectivement 7,01600 et 7,01693 grammes. Ecrire les trois réactions de désintégration  $\beta$  pouvant transformer ces deux noyaux l'un dans l'autre. Montrer qu'une seule est permise par la loi de conservation de l'énergie.

## II – Faisceaux de neutrinos à longue base

1 – Des neutrinos sont issus de la désintégration de pions positifs, eux-mêmes produits par un accélérateur de protons de haute énergie. La réaction impliquée s'écrit :



Ecrire les charges électriques et leptoniques de chaque particule de cette réaction. Pourrait-on produire de façon analogue des antineutrinos ?

Les pions ont une vitesse  $v = 0,999\,999\,8\,c$ . Calculer leur énergie.

2 – On considère dans les calculs qui suivent que les neutrinos sont des particules de masse nulle.

Si le pion était au repos (c'est-à-dire dans le référentiel du centre de masse), la distribution angulaire du neutrino serait isotrope : la valeur maximale des composantes de ses quantités de mouvement  $p_x$ ,  $p_y$  et  $p_z$  serait égale à 29,79 MeV/c. Quelle serait la valeur de son énergie ? Pourquoi a-t-on une valeur bien définie plutôt qu'une distribution continue ?

En tenant compte de la vitesse du pion, les composantes de la quantité de mouvement du neutrino se transforment suivant les formules relativistes de Lorentz :

$$p'_x = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( p_x + \frac{v E}{c^2} \right) ; \quad p'_y = p_y ; \quad p'_z = p_z ; \quad E' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (E + v p_x)$$

Calculer l'angle maximal du neutrino par rapport à la direction de la vitesse, dirigée suivant l'axe x (on supposera  $p_x, p_y = 0$ ). En déduire que le faisceau de neutrinos est contenu dans un cône d'ouverture étroite.

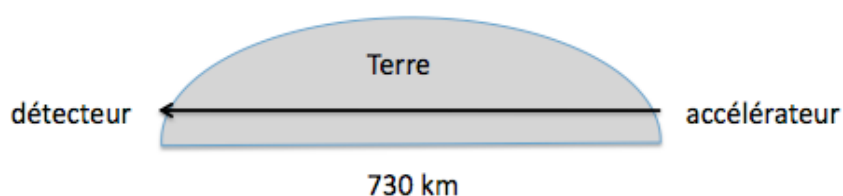
Montrer que l'énergie maximale du neutrino est égale à 94,2 GeV.

3 – Dans deux expériences (SOUDAN aux USA, CBGS en Europe), l'axe du faisceau de neutrinos est dirigé vers l'intérieur de la Terre, dont la masse volumique est supposée égale à 5 g/cm<sup>3</sup>. Il en ressort à une distance de 730 km (figure 1). La figure 2 représente la mesure de la section efficace totale de la réaction du neutrino sur un proton ou un neutron. Calculer le libre parcours moyen des neutrinos d'énergie maximum. Quelle est leur la probabilité d'interaction dans leur parcours à l'intérieur de la Terre ?

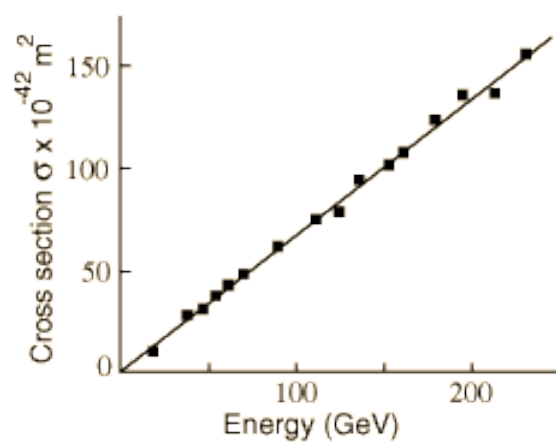
4 – Les neutrinos sortant sont observés par un détecteur de masse 1000 tonnes, qui a la forme d'un cube de 5,85 m de côté. Ce détecteur est placé dans l'axe du cône et recueille donc presque exclusivement les neutrinos d'énergie maximum du faisceau. Calculer le nombre d'interactions de neutrinos qu'il peut détecter par jour. On supposera un flux de neutrinos égal à 10<sup>5</sup> par m<sup>2</sup> et par seconde. Les populations vivant au point d'émergence du faisceau neutrino courent-elles un danger biologique ?

Quelles sont les deux raisons pour lesquelles il est avantageux de réaliser ce type d'expérience avec un accélérateur d'énergie la plus élevée possible ? Que peut nous apprendre cette expérience sur les différents types de neutrinos ? Comparer avec la mesure des neutrinos solaires.

Pouvez-vous imaginer, en dehors de la recherche fondamentale, des applications de ces faisceaux neutrinos à longue distance ?



**Figure 1**



**Figure 2**