

## EXERCICE 1 : Protons énergétiques (5,5 points)

## 1. Le proton

1.1. (0,25+0,25 pt) L'interaction nucléaire forte doit compenser l'interaction électrique répulsive entre protons de manière à « assurer la cohésion du noyau atomique » (Cf. doc.1). Donc elle est attractive et plus intense que l'interaction électrique.

1.2. (0,5 pt) La charge d'un proton est +e. Il contient un quark down de charge  $-e/3$  et deux quarks up (de charge Q) :  $e = -\frac{e}{3} + 2Q$

$$2Q = e + \frac{e}{3} = \frac{4}{3}e$$

$$Q = \frac{2}{3}e$$

## 2. Les protons cosmiques

2.1. (0,5 pt)  $E_c = \frac{m.v^2}{2}$

$$E_c = \frac{1,673 \times 10^{-27} \times \left( \frac{10}{100} \times 3,00 \times 10^8 \right)^2}{2} = 7,5 \times 10^{-13} \text{ J} \quad (\text{on conserve 2 chiffres significatifs comme 10\%})$$

$$E_c(\text{MeV}) = \frac{E_c(\text{J})}{1,602 \times 10^{-13}} = 4,7 \text{ MeV}$$

2.2. (0,5 pt) Les protons classiques les plus rapides ont une énergie de 4,70 MeV. Les protons cosmiques ont une énergie nettement supérieure (comprise entre 100 MeV et 10 GeV); ils possèdent une vitesse bien plus grande et sont donc relativistes.

2.3.1. (0,5 pt)  $p = m v$

$$p = 1,673 \times 10^{-27} \times \frac{10}{100} \times 3,00 \times 10^8 = 5,0 \times 10^{-20} \text{ kg.m.s}^{-1}$$

2.3.2. (0,5 pt)  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m.v}$

$$\lambda = \frac{6,62 \times 10^{-34}}{1,673 \times 10^{-27} \times \frac{10}{100} \times 3,00 \times 10^8} = 1,3 \times 10^{-14} \text{ m}$$

## 3. Les muons

3.1. (0,25pt) Les muons ont une vitesse (0,9997c) nettement supérieure à 10 % de c. Ce sont donc des particules relativistes.

3.2. La durée de vie d'un muon mesurée dans le référentiel terrestre est notée  $\Delta t$ . Cette même durée mesurée dans le référentiel propre d'un muon est différente.

Ces durées sont reliées par la relation :  $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$  avec  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$$(0,25\text{pt}) \quad \text{AN : } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,9997.c)^2}{c^2}}} = 40,83$$

(0,25pt) Donc  $\Delta t = \gamma \Delta t_0 = 40,83 \times 2,2 = 90 \mu\text{s}$ .

(0,5pt) Pour un observateur terrestre, la durée de vie d'un muon (90  $\mu\text{s}$ ) est supérieure au temps nécessaire (67  $\mu\text{s}$ ) pour qu'il traverse l'atmosphère donc les muons peuvent être détectés au niveau du sol.

## 4. La protonthérapie

4.1. (0,5pt) La tumeur doit se trouver là où les protons déposent le plus d'énergie c'est-à-dire au niveau du pic de Bragg. Cette profondeur lue sur le graphe est d'environ 15 à 16 cm.

4.2. (0,75 pt) La protonthérapie respecte mieux « l'art de la radiothérapie » car :

- elle permet le dépôt d'un maximum d'énergie dans une zone très localisée (là où se trouve la tumeur) permettant la destruction des cellules cancéreuses ;
- elle préserve les cellules saines puisque sur leur trajet les protons libèrent assez peu d'énergie avant d'atteindre leur cible et après l'avoir traversée.