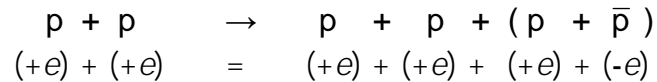


Exercice III. 5. Dans le référentiel (L) du laboratoire un proton p^+ arrive avec une vitesse V_1 sur un proton immobile ($V_2 = 0$).

1°) Quelle doit être l'impulsion minimale du proton incident pour que la réaction



soit possible? En déduire la vitesse $V_1 = V$ qui correspond à cette impulsion.

Au cours de cette réaction une partie de l'énergie cinétique sert à créer une paire proton- antiproton. L'antiproton \bar{p} est une particule de même masse que le proton et de charge opposée. L'énergie seuil est atteinte lorsque les 4 particules, sont immobiles, après le choc, dans (C).

2°) Calculer cette énergie cinétique en joules et en électron-volts. En déduire la tension d'accélération qui permet d'obtenir cette énergie. Retrouver, à partir de la courbe de l'exercice III.4, la vitesse du proton incident.

Solution : Avant le choc:

☞ Dans (L) on choisit le système d'axes tel que \vec{ox} soit parallèle à l'impulsion \vec{p} :

$$\vec{p}_1 = p \vec{i} \quad \text{et} \quad \vec{p}_2 = 0$$

L'expression (31) permet d'écrire:

$$E_1 = c\sqrt{m_o^2 c^2 + p^2} \quad \text{et} \quad E_2 = m_o c^2$$

Par conséquent avant le choc, l'impulsion totale est $p = p_1$

et l'énergie totale:
$$E = c\sqrt{m_o^2 c^2 + p^2} + m_o c^2$$

Après le choc:

☞ Dans (C), le seuil d'énergie correspond au cas où les impulsions des quatre particules sont nulles, et l'énergie de chacune d'elles est égale, en vertu de (31), à son énergie au repos:

Par conséquent après le choc, l'impulsion totale est : $p^{*} = 0$

et l'énergie totale:
$$E^{*} = 4 m_o c^2$$

☞ Dans (L) les 4 particules se déplacent à la même vitesse que celle du centre de masse:

$$v_C = c^2 \frac{p}{E}$$

Elles ont donc la même impulsion \vec{p}_i' .

La conservation de l'impulsion, avant et après le choc permet d'écrire:

$$\sum \vec{p}_i' = \sum \vec{p}_i = \vec{p} \quad \Rightarrow \quad p_i' = \frac{p}{4}$$

L'énergie de chaque particule est:

$$E_i' = c \sqrt{m_o^2 c^2 + \frac{p^2}{4}}$$

et l'énergie totale s'écrit;

$$E' = 4 E_i' = c \sqrt{16 m_o^2 c^2 + p^2}$$

En utilisant la conservation de l'énergie

$$c \sqrt{m_o^2 c^2 + p^2} + m_o c^2 = c \sqrt{16 m_o^2 c^2 + p^2}$$

et, après calculs, on obtient:

$$p = \sqrt{48} m_o c = 34,7 \cdot 10^{-19} \text{ Kg m/s}$$

Ainsi, pour que la réaction ait lieu, il faut que l'impulsion du proton incident soit supérieure à cette valeur. Il lui correspond une vitesse V telle que:

$$p = \frac{m_o V}{\sqrt{1 - (V/c)^2}} \Rightarrow \frac{V}{c} = \frac{p/c}{\sqrt{m_o^2 + (p/c)^2}} \Rightarrow \frac{V}{c} = \frac{\sqrt{48}}{\sqrt{48 + 1}}$$

$$V = 0,987 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2°) L'énergie du proton incident est:

$$E_1 = c \sqrt{m_o^2 c^2 + 48 m_o^2 c^2} = 7 m_o c^2$$

et son énergie cinétique

$$E_{c1} = E_1 - E_o = 6 m_o c^2 = 9 \cdot 10^{-10} \text{ Joules} = 5,6 \cdot 10^9 \text{ eV}$$

Il lui correspond une tension accélératrice: $U = 5,6 \cdot 10^9 \text{ Volts}$