

RAYONNEMENT PARTICULAIRE

I. Énergie de masse

Dans sa théorie de la relativité, Einstein a montré que la masse n'était pas une constante (variation avec la vitesse de propagation) et qu'il y avait équivalence entre la masse et l'énergie selon la relation : $E = mc^2$

E : énergie de masse (J)

m : masse (kg)

C : vitesse de la lumière dans le vide ($m.s^{-1}$) $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s.

Donc toute masse est équivalente à une énergie, on l'appelle énergie au repos (énergie de masse).

Calculons l'énergie au repos de quelques particules :

1- L'électron : sa masse au repos est égale à $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Son énergie au repos est $E_0 = m_0 \cdot c^2$ $E_0 = 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot (3.10^8)^2$ $E_0 = 81.9 \cdot 10^{-15}$ J

On a $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ J $E_0 = 81.9 \cdot 10^{-15} / 1.6 \cdot 10^{-19}$ $E_0 = 51.1 \cdot 10^4$ eV $E_0 = 511 \cdot 10^3$ eV

Soit $E_0 = 511 \text{ keV}$ ou $E_0 = 0.511 \text{ MeV}$

2- Le proton : sa masse au repos est égale à $m_{0p} = 1,6726432 \cdot 10^{-27}$ kg.

L'énergie au repos du proton est $E_{0p} = m_{0p} \cdot c^2$ $E_{0p} = 1,6726432 \cdot 10^{-27} \cdot (3.10^8)^2$

$E_{0p} = 15.10^{-11}$ J en eV on aura $E_{0p} = 15.10^{-11} / 1.6 \cdot 10^{-19}$ $E_{0p} = 938 \cdot 10^6$ eV

Soit $E_{0p} = 938 \text{ MeV}$

3- Le neutron : sa masse au repos est égale à $m_{0n} = 1,6748882 \cdot 10^{-27}$ kg

L'énergie au repos du neutron est $E_{0n} = m_{0n} \cdot c^2$ $E_{0n} = 1,6726432 \cdot 10^{-27} \cdot (3.10^8)^2$

De même on aura $E_{0n} = 939 \text{ MeV}$

4- la masse atomique $1 \text{ uma} = 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg

Les mêmes calculs donnent pour 1 uma , un équivalent de 931.5 MeV .

Dans le tableau ci-dessous (figure 1) sont résumés tous ces résultats.

particule	Masse (kg)	Energie (MeV)
Electron	$9.1 \cdot 10^{-31}$	0.511
proton	$1,6726432 \cdot 10^{-27}$	938
neutron	$1,6748882 \cdot 10^{-27}$	939.5
uma	$1.66 \cdot 10^{-27}$	931.5

Figure 1

II. Longueur d'onde de Louis-Victor de Broglie

Louis de Broglie, avec la mécanique ondulatoire a prouvé que les particules se propageaient en compagnie d'une onde associée, de telle sorte que, comme pour les radiations électromagnétiques, on retrouve le double aspect corpusculaire et ondulatoire.

L'hypothèse de base fut émise en 1924 : comme les radiations électromagnétiques, les particules matérielles doivent posséder le double aspect corpusculaire et ondulatoire : "toute particule en mouvement, quelle que soit sa nature doit être toujours considérée comme associée à une onde: le mouvement de la particule se déduit des lois de propagation de l'onde associée".

Aussi toute particule en mouvement possède une quantité de mouvement donnée par : $p=m.V$

A cette particule est associée une onde de longueur donnée par :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

III. définition du rayonnement particulaire

Un rayonnement particulaire est un faisceau de particules dotées de masse au repos. (électrons, protons, neutrons, noyaux,).

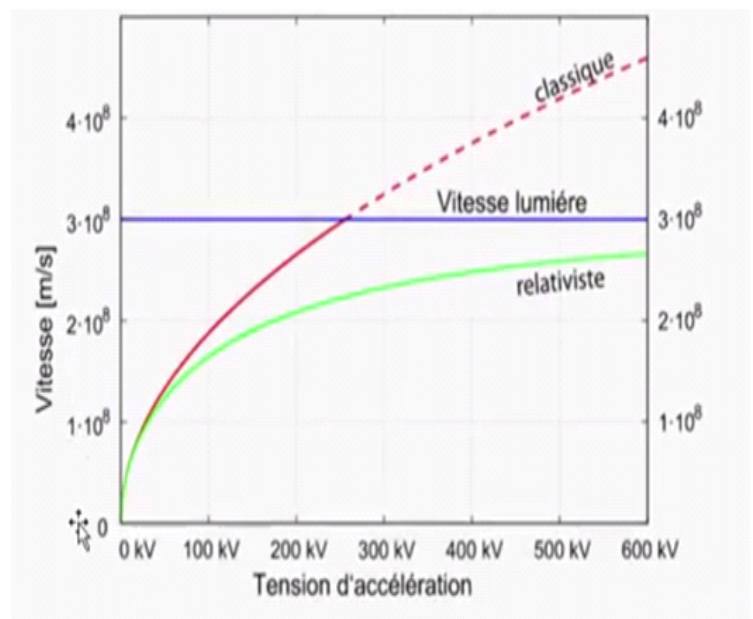
IV- Caractéristiques physiques d'un rayonnement particulaire

Un rayonnement particulaire est caractérisé par plusieurs grandeurs physiques :

- une masse.
- une vitesse.
- une quantité de mouvement.
- Une énergie au repos
- une énergie cinétique.
- Une longueur d'onde (selon le principe de dualité onde-corpuscule).

V- Expérience Bertozzi

Dans son expérience réalisée en 1964, consistant en l'accélération d'électrons sous de très fortes tensions électriques; Bertozzi a démontré que les particules suivent une dynamique relativiste, et non classique, lorsqu'elles sont accélérées à des vitesses non négligeables par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide c , néanmoins pour des vitesses v inférieures à $C/10$ les résultats donnés par la mécanique classique sont proches de ceux donnés par la mécanique relativiste (figure 2)



Mécanique classique:

La mécanique classique donne avec une bonne précision les valeurs de ces grandeurs physiques à condition que la vitesse de la particule soit inférieure à une valeur égale au 1/10 de la vitesse de la lumière ($C/10$)

La mécanique relativiste :

La théorie de la mécanique relativiste a été développée par EINSTEIN pour tenir compte du fait que la vitesse de la lumière est indépendante de tout référentiel galiléen et qu'elle est constante et égale à $3 \cdot 10^8$ m/s dans le vide (universalité de la vitesse de la lumière), ceci est donc en totale contradiction avec les lois de la mécanique classique pour laquelle les vitesses sont additives (additivité des vitesses).

La vitesse de la lumière dans le vide est invariante par changement de référentiel galiléen, ce qui permet d'en faire un principe de base sur lequel bâtir une nouvelle physique : La mécanique relativiste

La mécanique relativiste est fondée sur deux grands postulats ; dans tout référentiel Galiléen :

- 1- les lois de la physique restent les mêmes pour tous les observateurs
- 2- La vitesse de la lumière dans le vide est constante dans toutes les directions ; La vitesse de la lumière c dans le vide est une vitesse limite une barrière infranchissable.

Par suite, et pour calculer les caractéristiques physiques d'un rayonnement particulaire, on peut utiliser soit la mécanique dite classique (mécanique newtonienne) ou la mécanique relativiste, et ceci est relatif à la vitesse de la particule.

Le calcul des caractéristiques d'une particule animée d'une vitesse V , est fonction de celle-ci ; deux cas se présentent :

1° cas : $\beta \leq 1/10$ ($\beta = \frac{V}{c}$) la particule est dite classique, elle aura :

- Une masse au repos $= m_0$
- Énergie au repos $E_0 = m_0 \cdot c^2$
- Énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} m_0 V^2$ $E_c = \frac{1}{2} m_0 (\beta \cdot C)^2$ $E_c = \frac{1}{2} \beta^2 m_0 \cdot C^2$ $E_c = \frac{1}{2} \beta^2 E_0$
- Quantité de mouvement $p = m_0 \cdot V$

$$V = \beta \cdot C \quad P = m_0 \cdot \beta \cdot C \quad \text{on multiplie par } c \text{ et on divise par } c \quad P = m_0 \cdot \beta \cdot C \cdot \frac{C}{c}$$

$$P = \beta \cdot (m_0 \cdot C^2) / C \quad P = \beta \cdot \frac{E_0}{C} \quad \text{avec } E_0 = \text{Énergie au repos.}$$

- Longueur d'onde (de BROOGLIE) $\lambda = \frac{h}{p}$

2° cas : $\beta > 1/10$, la particule est dite relativiste, elle aura :

- Une masse au repos $= m_0$
- Énergie au repos $E_0 = m_0 \cdot c^2$

➤ Une masse cinétique $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ avec $\beta = \frac{v}{c}$ et $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ on aura $m = \gamma \cdot m_0$

➤ Énergie totale $\begin{cases} E = m \cdot c^2 \\ E = E_c + E_0 \end{cases}$ avec $E = m \cdot c^2 \rightarrow E = \gamma \cdot m_0 \cdot c^2 \rightarrow E = \gamma \cdot E_0$

E_c = énergie cinétique

➤ Quantité de mouvement $P = m \cdot v$

$v = \beta \cdot c$ $P = m \cdot \beta \cdot c$ on multiplie par c et on divise par c $P = m \cdot \beta \cdot c \cdot \frac{c}{c}$

$P = \beta \cdot (m \cdot c^2) / c$ $P = \beta \cdot \frac{E}{c}$ avec E = énergie totale.

➤ Longueur d'onde (De BROGLIE) $\lambda = \frac{h}{p}$

Astuces de calcul

1- relation entre l'énergie totale et la quantité de mouvement

$$E_{\text{tot}} = \sqrt{p^2 \times c^2 + E_0^2}$$

2- Pour calculer l'énergie cinétique

$$E = m \cdot c^2 \quad E = \gamma \cdot E_0 \quad \text{avec } E = E_c + E_0$$

$$\gamma \cdot E_0 = E_c + E_0 \quad E_c = \gamma \cdot E_0 - E_0 \quad E_c = (\gamma - 1) \cdot E_0$$

Remarque

Pour vérifier si la particule est classique ou relativiste :

1 - selon la vitesse

➤ $\beta \leq 1/10$, la particule est dite classique

➤ $\beta > 1/10$, la particule est dite relativiste

2- Selon l'énergie

$$v \leq c/10 \quad \text{on élève au carré } (v)^2 \leq (c/10)^2 \quad v^2 \leq c^2/100 \quad \text{on divise par 2}$$

$$v^2/2 \leq c^2/200 \quad \text{on multiplie par } m_0 \quad \text{on aura } (m_0 \cdot v^2)/2 \leq (m_0 \cdot c^2)/200$$

$$E_c \leq E_0/200 \quad \frac{E_c}{E_0} \leq \frac{1}{200}$$

Donc

➤ $\frac{E_c}{E_0} \leq \frac{1}{200}$ la particule est dite classique.

➤ $\frac{E_c}{E_0} > \frac{1}{200}$ la particule est dite relativiste.