

Particules et Ondes

I. PARTICULES MATÉRIELLES :

→ **L'électron (e^-)** = électron négatif, négaton.

C'est une particule qui constitue le rayonnement cathodique d'un tube à rayons X, elle est émise lors des transformations radioactives β .

- Masse au repos : assez **faible** et son ordre de grandeur est $1/2000$ de masse atomique.
 $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ g} \approx 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u} = 1/2000 \text{ u}$
- Masse relativiste : sa vitesse est très importante et devient **non négligeable par rapport à la célérité de la lumière c** . Dans ce cas de figure, ce n'est plus équivalente à la masse au repos mais est égale à :

$$m(\text{nouvelle}) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

avec v la vitesse de l'électron et c la vitesse de la lumière

Exemple : si un électron a une vitesse = 50% de la vitesse de la lumière ($v = 0,5c$), on voit que sa masse relativiste sera égale à 1,15 fois sa masse au repos (m_0) donc $m = 1,15 m_0$.

- Équivalence masse-énergie : Appliquée à l'électron : 931 (équivalent énergétique d'une unité de masse atomique) $\times 0,548 \cdot 10^{-3}$ (valeur exacte de la masse d'un électron) = **0,511 MeV ou 511 KeV**

L'électron est une particule chargée **négativement** : $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Cette charge définit une nouvelle unité d'énergie plus utile et plus pratique que le Joules dans la manipulation des particules et des atomes. Cette nouvelle unité d'énergie est l'énergie acquise par un électron sans vitesse initiale sous l'effet d'une différence de potentiel de 1 Volt. C'est **l'électronvolt (eV)**

$$1 \text{ eV} = E_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

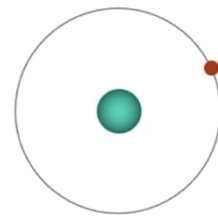
→ Le proton (1_0p) et le neutron (1_0n) = nucléons

| | Proton (+) | Neutron |
|----------------|--|--|
| Masse au repos | $m_p = 1,007 \text{ u}$ | $m_n = 1,009 \text{ u}$ |
| Vitesse | Non relativiste | Non relativiste |
| Charge | $e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | Nulle |
| Stabilité | Stable (dans le noyau ou isolé) | Instable hors du noyau : se décompose immédiatement ${}^1_0n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu} + 0,78 \text{ MeV}$ (Cours transfo) |

PS : Concernant le proton, la valeur absolue de sa charge est exactement égale à celle de l'électron.

→ A parte = l'atome d'hydrogène :

Rappels : c'est un atome extrêmement simple, car son noyau est constitué d'un seul proton avec un seul électron qui gravite tout autour.



La masse d'un atome d'hydrogène correspond à la somme des masses du proton et de l'électron. Selon la précision, on peut négliger la masse de l'électron.

$$m_H = 1 \times m_p + 1 \times m_e = 1,0075 \text{ u}$$

Selon de degré de précision $m_H = 1 \times m_p = 1,007 \text{ u}$

→ Particules matérielles :

| | Positon β^+ | Neutrino ν et antineutrino $\bar{\nu}$ | Particule α |
|----------------|------------------------------------|--|--|
| Propriétés | Antiparticule de l'électron | Explication de β^+ et β^- | 4 nucléons ($2p + 2n$) Noyau hélium Notée : $\alpha, {}^4_2\text{He}, \text{He}^{++}, \alpha^{++}$ |
| Masse au repos | $m = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ | Quasi nulle | $m = 4,0015 \text{ u} < 2m_p + 2m_n$ |
| Charge | $+ 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | Nulle | $+ 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ($= 2 \times e^+$) |

II. ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES :

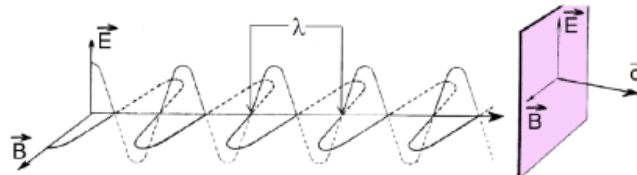
- Représentation ondulatoire de la matière :

Ce sont des **perturbations du champ électromagnétique** qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$), quel que soit le rayonnement électromagnétique.

Une onde électromagnétique représente **la propagation simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique** qui vibrent en phase, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et par rapport à la direction de propagation.

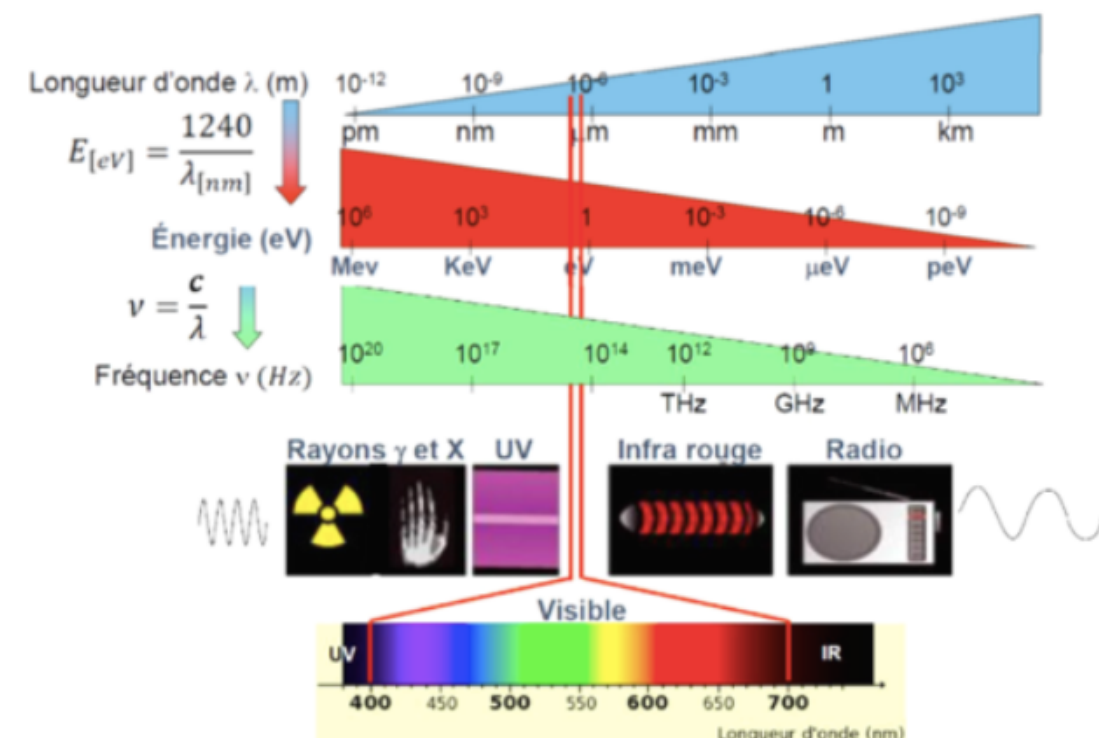
Caractéristiques des ondes électromagnétiques (OEM) :

- **Leur longueur d'onde λ** = qui est la plus petite distance qui sépare 2 points de même excitation ou d'un même état du rayonnement électromagnétique.
- **La fréquence $\nu = \frac{c}{\lambda}$** et s'exprime en Hertz.



- Spectre des ondes électromagnétiques :

Les OEM recouvrent un large spectre qu'on peut décrire par leur longueur d'onde (croissante de gauche à droite) ou bien par leur fréquence (décroissante de gauche à droite).



Les ondes électromagnétiques se répartissent sur ce spectre. Sur la gauche des ondes ayant des longueurs d'onde très courtes comme Rayons γ et rayons X, puis les ultraviolets. Ensuite on a une toute petite portion de ce spectre qu'est représentée par les rayonnements électromagnétiques (EM) qui sont visibles par l'homme. Si on continue il y a les infrarouges et les ondes radio qui vont vers des rayonnements de fréquence plus faible.

- Représentations quantiques :



- 1) Le quantum de Planck :

En effet on s'aperçoit qu'une onde EM peut céder ou acquérir de l'énergie qu'elle transporte que par des **quantités discontinues**, multiples entiers d'une quantité élémentaire : $E = h\nu$ qu'on appelle le quantum de Planck (h étant la constante de Planck). Dans cette représentation, il s'agit d'un paquet d'énergie qui constitue cette OEM.

L'énergie peut s'écrire : $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ en Joules dans le système international (SI).

- 2) Relation de Duane et Hunt :

Mais l'expression de l'énergie en Joules n'est pas pratique dans le contexte qui nous intéresse, donc on utilise la Relation de Duane et Hunt pour relier l'**énergie** (E) et la **longueur d'onde** (λ) dans des unités adaptées qui sont donc hors du SI : (valable seulement si E en eV et λ en nm)

$$E = \frac{1240}{\lambda}$$

III. DUALITÉ ONDE/PARTICULE :

On sépare classiquement de manière très nette d'une part les particules qui ont une masse et qui interagissent par des collisions et d'autre part des ondes EM qui n'ont pas de masse et qui font l'objet de phénomènes de diffraction.

♥ Selon Einstein :

Dans ce système simple il est considéré que les OEM peuvent être considérées comme de nature corpusculaire = **photons**. Ils ont une masse mais qui est exclusivement une masse dynamique.

Comme on a $E = mc^2$ pour une particule de masse m et $E = \frac{hc}{\lambda}$, on trouve :

$$E = mc^2 = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow m = \frac{h}{\lambda c}$$

♥ Selon Broglie :

En 1924, il a considéré que chaque particule pouvait être associée à une représentation ondulatoire.

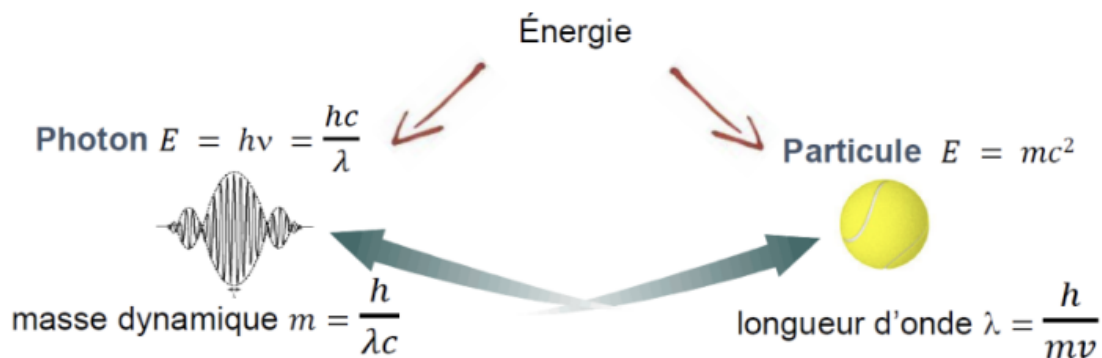
Broglie rapproche : $m = \frac{h}{\lambda c}$ pour un photon
 $m = \frac{h}{\lambda v}$ pour une particule (v = vitesse de la particule)

Il déclare que la relation d'Einstein doit valoir aussi pour toutes les particules et que par exemple l'électron peut être considéré comme une onde. À toute particule de masse m et de vitesse v on peut donc associer une longueur d'onde :

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

CONCLUSION ++

L'énergie peut se présenter soit sous une forme de **photon** soit sous la forme d'une **particule**.



Mais on vient de voir qu'un photon peut avoir une masse dynamique qui la rapproche d'une **particule**. De même et en miroir, une particule peut avoir une longueur d'onde, ce qui la rapproche d'un **photon**.

Cependant cette théorie a des limites en pratique car elle dépend de l'échelle :

- Si on a un électron qui a une différence de potentiel de 100 V sa longueur d'onde sera de l'ordre : $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-10}$ m donc on est dans **l'ordre de grandeur du noyau**.
- Si on a une balle de tennis (=particule) à 100 km/h ici la longueur d'onde sera de l'ordre de : $\lambda = 4,2 \cdot 10^{-34}$ m. Elle est donc en dehors de **l'échelle du monde physique** qui nous entoure. Il n'y aura donc pas de manifestation ondulatoire à cette échelle.