

## Tut'entrée- cours n°1

# Particules, ondes et atomes



### I) Masse, énergie et particules



A = nombre de masse = nombre de nucléons  
 Z = nombre atomique = nombre de protons  
 N = A - Z = nombre de neutrons

#### A) Masse en mécanique quantique (kg)

Quantité de matière d'un corps

Peu approprié pour les atomes isolés et les particules élémentaires

#### B) Masse molaire atomique (g)

Masse d'**1 mole d'atome** c'est-à-dire la masse de N atomes (N = constante d'Avogadro)

La **constante d'Avogadro** =  $N = 6,02.10^{-23}$  a été choisie de telle sorte qu'**1 mole de carbone-12** est une masse de **12g**

#### C) Unité de masse atomique (u)

$1u = 1/12^{\text{ème}}$  de la masse d'un atome de carbone-12

Cette unité est hors SI mais bien adaptée à l'échelle des atomes et particules élémentaires

$$1u = \frac{12g}{N} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{N} = \frac{1}{6,02.10^{23}} = 0,166.10^{-23}g$$

Masse	Hydrogène	Carbone	Oxygène
d'un atome en g	$0,17.10^{-23}$	$2.10^{-23}$	$2,65.10^{-23}$
d'une mole d'atomes en g	1,007	12	15,994
d'un atome en unité de masse atomique	<b>1,007</b>	<b>12</b>	<b>15,994</b>
A nombre de masse (nombre de nucléons)	1	12	16

-La **masse d'un atome en u** s'exprime par le même nombre que la **masse d'1 mole d'atome en g**

-Le **nombre de masse A** est égal à l'entier le + proche de la **masse d'un atome en u**

-Le **nombre de masse A** est égal à l'entier le + proche de la **masse atomique en g**

D) Relation masse-énergie

- Enstein propose que la masse est une forme d'énergie, telle que :  $E_0 = m_0 \times c^2$

Masse d'une particule en mouvement

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m_0$  : masse au repos  
 $c$  : vitesse de la lumière dans le vide  
 $v$  : vitesse de la particule

- Quand  $v \ll c$  :  $m \approx m_0$
- Pour une particule relativiste,  $m > m_0$

NB : une particule relativiste est une particule animé d'une vitesse non négligeable par rapport à la vitesse de la lumière

- L'électronvolt** est une unité adapté aux énergies mises en jeu au niveau de l'atome.
- C'est l'énergie acquise par un électron sans vitesse initiale, sous l'effet d'une différence de potentiel de **1 volt**.
- Équivalence masse énergie :  $1u = 931 \text{ MeV}/c^2$

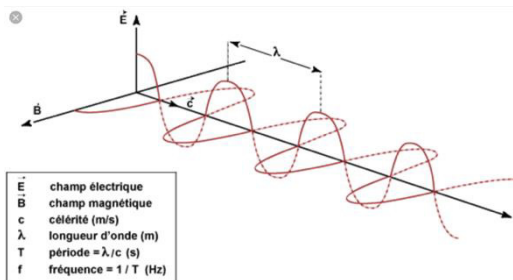
II) Particules matérielles

Particules						
	<u>Proton</u> ( $p, {}^1_0p$ )	<u>Neutron</u> ( $n, {}^1_0n$ )	<u>Electron</u> ( $e^-$ )	<u>Positon</u> ( $\beta^+$ )	<u>Neutrino</u> ( $\nu$ ) <u>Anti-neutrino</u> ( $\bar{\nu}$ )	<u>Particule alpha</u> ( $\alpha, {}^4_2He$ ☼, $He^{++}, \alpha^{++}$ )
Charge	<u>+ e</u>	<u>nulle</u>	<u>- e</u>	<u>+ e</u>	<u>nulle</u>	<u>+ 2e</u>
Masse au repos	<u>1,007 u</u>	<u>1,009 u</u>	<u>1/2000 u</u>	<u>1/2000 u</u>	<u>quasi nulle</u>	<u>4,0015 u</u> ( $< 2m_p + 2m_n$ )
Energie (MeV/c <sup>2</sup> )	<u>938,28</u>	<u>939,56</u>	<u>0,511</u>	<u>0,511</u>	-	-
Particule relativiste	<u>non</u>	<u>non</u>	<u>oui</u>	<u>oui</u>	-	<u>non</u>
Commentaires	<u>Stable</u> ☼	Hors du noyau, le neutron est instable ☼	Aussi appelé négaton ou particule $\beta^-$	Antiparticule de l'électron	Expliquent la radioactivité $\beta^+$ et $\beta^-$	C'est le noyau de l'atome d'Hélium ( $2p + 2n$ )

### III) Rayonnements électromagnétiques (REM)

#### A) Représentation classique

- ❖ REM : perturbation du champ électromagnétique qui se propage dans le **vide** à la **vitesse de la lumière** ; constant quelle que soit  $\nu$  ou  $\lambda$
- ❖ REM : 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.



$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

- **Longueur d'onde (m)** : plus petite distance séparant 2 points dans un même état
- **Fréquence (hz)** nombre de fois qu'un phénomène périodique se répète en 1s

#### B) Représentation quantique

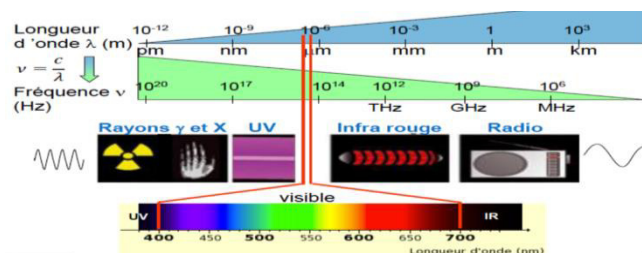
- Une OEM ne peut céder ou acquérir de l'**énergie** que par des **quantités discontinues**, multiples d'une quantité élémentaire appelé **quantum de Planck**, qui a pour énergie :

$$E[J] = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- Pour relier facilement E et lambda dans des unités adaptés on utilise la relation de **Duane et Hunt**

$$E[eV] = \frac{1240}{\lambda[nm]}$$

- Spectre



## IV) Dualité onde-particule

### A) Les ondes considérées comme particules (photons)

- Einstein rapproche deux formules :  $E = m \cdot c^2$  pour une particule de masse  $m$   
 $E = h\nu = hc/\lambda$  du quantum de planck

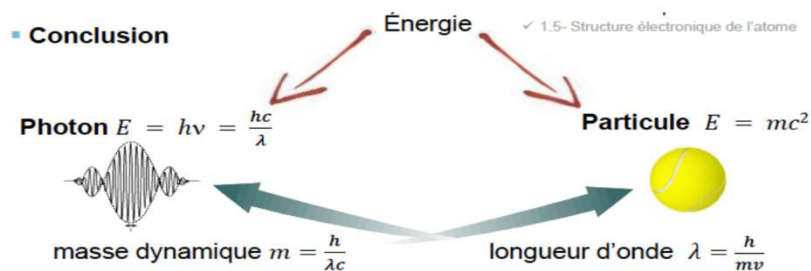
$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

On peut considérer les OEM comme de nature corpusculaire= photons qui ont une masse exclusivement dynamique.

### B) Les particules avec une représentation ondulatoire

- De Broglie propose que l'on puisse associer à toute particule de masse  $m$  en mouvement une onde telle que

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



## v) Structure électronique de l'atome

### A) Modèle sphérique

- ❖ Jusqu'au début du XXème
- ❖ Atome= sphère pleine chargée + ou sont accrochées des charges –

### B) Modèle planétaire de rutherford

- ❖ Expérience de la feuille d'or.
  - Une feuille d'or est bombardée avec des particules alpha.
  - La majorité des particules n'est pas déviée -> la matière est constituée de beaucoup de vide.
- ❖ Modèle planétaire où les électrons gravitent autour du noyau situé au centre.
  - La masse est concentrée au niveau du noyau.
  - Le noyau est **100 000 fois + petit** que l'atome. Rapport noyau/atome:  $10^5$
  - L'atome est essentiellement constitué de **vide**.
  - Les électrons sont situés à la **périphérie** du vide périnucléaire.

### C) Le modèle de Bohr

- ❖ Conséquence de la dualité onde-particule.
- ❖ Il prédit que seules certaines orbites sont possibles pour les électrons.
  - Il faut que la taille de l'orbite soit compatible avec sa nature ondulatoire.
  - $l$  doit être un multiple de la longueur d'onde tel que :

$$l = 2\pi r = n\lambda$$

### D) Conséquence du modèle de Bohr

#### 1) Cas pour l'hydrogène quand $Z=1$

- L'énergie de l'électron sur la couche électronique  $n$  est aussi quantifiée selon:

$$W_n = -13,6 \frac{1}{n^2} [eV]$$

- Cette énergie est négative et notée  $W_n < 0$
- A l'**état fondamental**, l'électron de l'hydrogène occupe la couche K
- Cet électron peut passer sur une orbite supérieure par absorption d'un quantum d'énergie

#### 2) Généralisation à un nombre $Z$ quelconque d'électrons

$$W_n = -13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} [eV]$$

$\sigma$  est la constante d'écran ( elle vous sera donné no worry!)

❖ Énergie de liaison (EL)

- C'est l'énergie qu'il faut apporter pour arracher cet électron à l'édifice et l'emporter hors l'influence du noyau
- L'énergie de liaison est toujours **positive** et **quantifiée** en fonction de n
- Les **électrons de la couche K** sont les **plus fortement liés** ->  $W_K$  **varie beaucoup** selon les atomes
- Les **électrons de la couche externe** sont les **moins fortement liés** ->  $W_{ext}$  **varie peu** selon les atomes

❖ Règles de remplissage des couches

- Nb max d'électron par couche =  $2n^2$
- Lorsque les couches les plus basses sont complètes : atome -> état fondamental
- Si les couches les plus basses sont incomplètes et que les électrons occupent des orbitales supérieures : atome -> état excité

❖ Exemple de calcul

QCM 1) Quelle est l'énergie de liaison en eV de la couche M ( modèle de Bohr) du fer ( Z=26) sachant que la constante d'écran est égal à 20?

- A) -450
- B) - 23,3
- C) 54,4
- D) -54,4
- E) Toutes les propositions sont fausses

$$E_L = |W_n| = 13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} = 13,6 \times \frac{(26-20)^2}{3^2} = \frac{13,6 \times 36}{9} = 54,4 \text{ eV}$$

Attention le résultat est POSITIF car on demande l'énergie de liaison! Si on demandait l'énergie des électrons ce serait négatif.