



# Particules, ondes et atomes

BIOPHYSIQUE DES RADIATIONS

# PLAN

- ▶ Masse et énergie
- ▶ Particules matérielles
- ▶ Rayonnements électromagnétiques
- ▶ Dualité onde-particule
- ▶ Structure électronique de l'atome

# Masse, énergie et unités de masse

- Rappel nomenclature des nuclides



- Avec : A = Nombre de masse ou nb de nucléons  
Z = Numéro atomique ou nb de protons

# Masse, énergie et unités de mesure

## 1. LES UNITÉS DE MASSE

- ▶ Le SI (g) est utilisé en chimie mais non adapté en physique
- ▶ **Le g** : utilisé pour mesurer la masse d'une mole d'atomes (= **masse (molaire) atomique**), ce qui correspond à la masse de  $N$  atomes

$$\text{Masse atomique (g)} = N \times \text{masse d'un atome (g)}$$

- ▶ **L'unité de masse atomique** (u) définie comme le 1/12<sup>ème</sup> de la masse d'un atome de Carbone 12, soit l'inverse de la constante d'Avogadro

$$1 \text{ u} = \frac{1}{N} = \frac{2 \times 10^{-23}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

| <u>Masse</u>                             | Hydrogène             | Carbone            | Oxygène               |
|--|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| D'un atome en g                          | $0,17 \cdot 10^{-23}$ | $2 \cdot 10^{-23}$ | $2,65 \cdot 10^{-23}$ |
| D'une mole d'atome en g (masse atomique) | 1,007                 | 12                 | 15,994                |
| D'un atome en unité de masse atomique    | 1,007                 | 12                 | 15,994                |
| A nombre de masse (nombre de nucléons)   | 1                     | 12                 | 16                    |

Le nombre de masse A est égal à l'entier le + proche de la masse atomique exprimée en g / de la masse d'un atome exprimée en u.

La masse d'un atome en u s'exprime par le même nombre que la masse d'une mole d'atomes en g

# Masse, énergie et unités de masse

## 2. ENERGIE DE MASSE

- ▶ La masse est une forme d'énergie (d'après Einstein) :  $E = mc^2$
- ▶ Energie d'une particule au repos :  $E = m_0c^2$
- ▶ Energie d'une particule en mouvement :  
Sa masse varie selon la vitesse, on parle alors de masse relativiste :

Avec  $m$  : masse relativiste en kg

$m_0$  : masse au repos

$v$  : vitesse de la particule (en  $\text{m.s}^{-1}$ )

$c$  : célérité de la lumière ( $3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

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

# Particules matérielles

## 1. L'ÉLECTRON

- Électron = électron négatif = négaton

| Masse au repos  | Masse relativiste                    | Charge                                 |
|---|--------------------------------------|--|
| $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ g}$<br>$= 0,00055 \text{ u}$<br>$\approx \frac{1}{2000} \text{ u}$ | Pour $v = 0,5 c$<br>$m_e = 1,15 m_0$ | $-e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |

- Unité d'énergie : **l'électronvolt**

Def : **c'est l'énergie cinétique acquise par un électron sans vitesse initiale, sous l'effet d'une différence de potentiel de 1 volt.**

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

# Particules matérielles

## 2. LE PROTON (particule stable)

| Masse au repos          | Masse relativiste | Charge                             |
|-------------------------|-------------------|------------------------------------|
| $m_p = 1,007 \text{ u}$ | Non relativiste   | $+ e = + 1,602.10^{-19} \text{ C}$ |

## 3. LE NEUTRON (Particule non stable en dehors du noyau)

| Masse au repos          | Masse relativiste | Charge        |
|-------------------------|-------------------|---------------|
| $m_n = 1,009 \text{ u}$ | Non relativiste   | Pas de charge |



# Particules matérielles

## 4. LE POSITON (ou particule $\beta^+$ ) : antiparticule de l'électron

| Masse au repos  | Charge   |
|---|--|
| $m_{\beta^+} = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ g} \approx \frac{1}{2000} \text{ u}$ | $+e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (Coulombs)}$ |

## 5. LE NEUTRINO : il explique la radioactivité $\beta$

## 6. LA PARTICULE ALPHA : noyau de l'atome d'hélium

La particule  $\alpha$  est formée de 4 nucléons (2p, 2n), c'est le **noyau** de l'atome d'Hélium ou  $\text{He}^{++}$  ou  $\alpha$  ou  $\alpha^{++}$ .

| Masse au repos                      | Charge   |
|-------------------------------------|--|
| $4,0015 \text{ u } (< 2m_p + 2m_n)$ | $= 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C}$<br>$(= 2 \times e^+)$ |

# Les rayonnement électromagnétiques

## 1. REPRESENTATION ONDULATOIRE CLASSIQUE

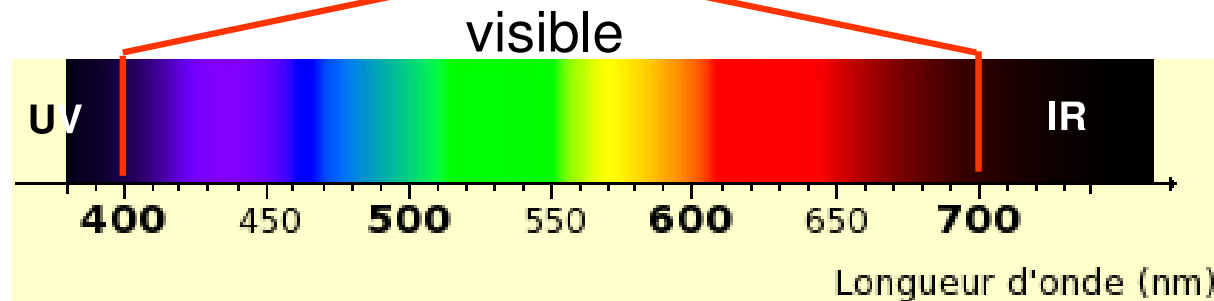
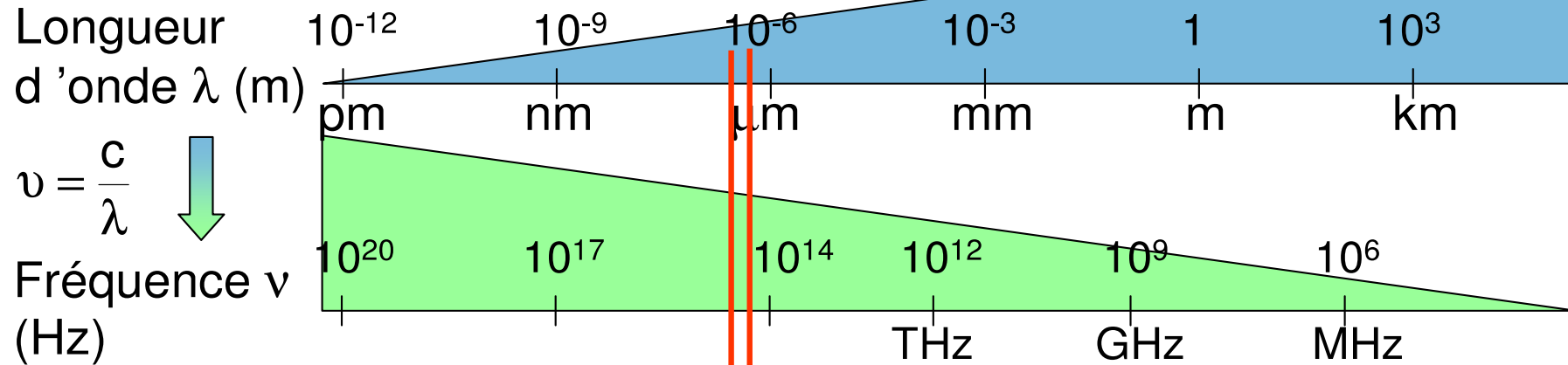
REM = perturbations du champ électromagnétique qui se propagent dans le vide à la **vitesse de la lumière**

= 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

Une des caractéristiques des REM est la longueur d'onde  $\lambda$  (en m). On définit aussi la fréquence  $\nu$  (en Hertz).

$$\nu \text{ [Hz]} = \frac{c \text{ [m.s}^{-1}\text{]}}{\lambda \text{ [m]}}$$

## ■ Spectre des rayonnements électromagnétiques



# Les rayonnements électromagnétiques

## 2. REPRESENTATION QUANTIQUE

On constate qu'une onde EM ne peut céder ou acquérir de l'énergie que par quantité discontinue, multiples entiers d'une quantité élémentaire :  $h$  (cste de Planck) =  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

+ relation de Duane et Hunt :

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

# Dualité onde-particule

## 1. LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES SONT CONSIDERREES COMME DES CORPUSCULES

« Les ondes électromagnétiques peuvent être considérées comme de nature corpusculaire: les photons »  
(Einstein 1905)

► Einstein rapproche :

-  $E = mc^2$  pour une particule de masse  $m$

-  $E = h\nu = hc / \lambda$  du quantum de Planck

► **Les photons** ont une masse exclusivement dynamique :

$m$  : la masse en Kg

$h$  : la constante de Planck  $6,62 \cdot 10^{-34}$

$\lambda$  : la longueur d'onde en m

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

# Dualité onde-particules

## 2. A CHAQUE PARTICULE PEUT ETRE ASSOCIEE UNE REPRESENTATION ONDULATOIRE

- C'est ainsi que **Louis De Broglie** montre que la relation d'Einstein pour les ondes EM vaut aussi pour toutes les particules : "*l'électron est aussi une onde*". A toute particule de **masse m** et de **vitesse v** on associe une onde de:

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

# Structure électronique de l'atome

## 1. MODELE DE RUTHERFORD

- ▶ Son expérience : Un émetteur envoie des particules alpha sur une feuille d'or et la quasi-totalité des particules la traversent et finissent sur le détecteur.
- ▶ Son modèle : Donc la matière est pleine de vide. Selon ce modèle, le diamètre vaut :  
Noyau :  $10^{-15}$  m → masse concentrée chargée positivement  
Atome :  $10^{-10}$  m → e- chargés négativement, à la périphérie du vide péri-nucléaire

## 2. MODELE DE BOHR

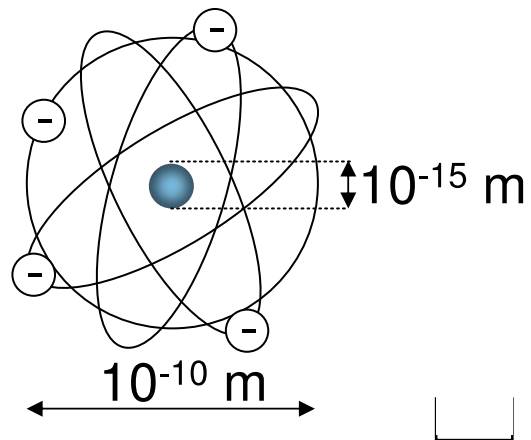
- ▶ Il associe l'électron à une particule qui tourne sur une orbite de rayon r autour du noyau.
- ▶ Le caractère ondulatoire de l'e- (De Broglie) lui associe une onde stationnaire : l'orbite doit être compatible avec la nature ondulatoire de l'électron.
- ▶ La circonférence de l'orbite (l) doit être un multiple entier (n) de la longueur d'onde ( $\lambda$ ).
- ▶ Donc 

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

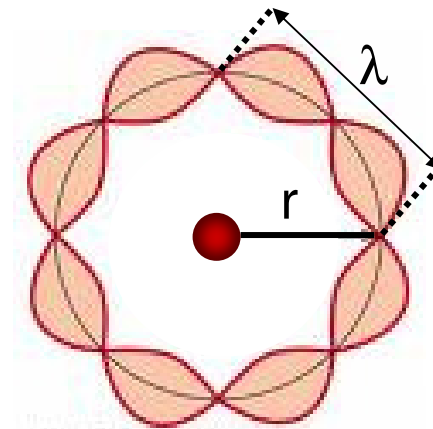
 → les e- sont sur des orbites discrètes et non continues (nb fini d'orbites dont les périmètres st des multiples entiers de  $\lambda$ )

# Structure électronique de l'atome

Modèle de Rutherford



Modèle de Bohr





# Structure électronique de l'atome

## 3. CONSEQUENCES SUR L'ENERGIE DE L'ELECTRON

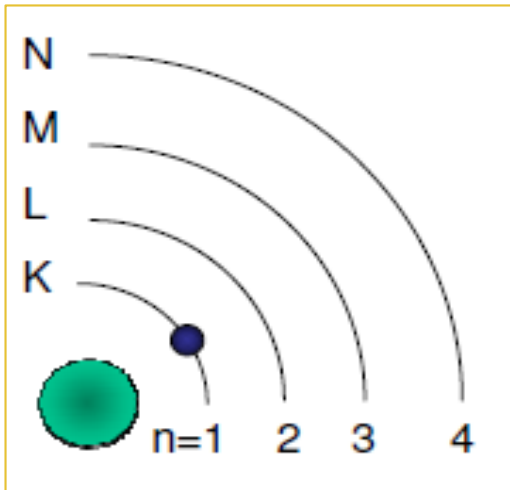
On montre que pour un atome d'hydrogène l'énergie de liaison de l'électron en fonction du numéro de la couche  $n$  vaut :

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

- ▶ **L'énergie de l'électron** est **négative**
- ▶ **L'énergie de liaison** de l'électron est l'énergie qu'il faut apporter pour arracher cet électron de l'édifice atomique et l'emporter hors de l'influence du noyau, elle est **positive** :  $E_L = |W_n|$
- ▶  $W$  et  $E_L$  sont quantifiés, ils varient de manière discontinue en fonction de  $n$

# Structure électronique de l'atome

- ▶ A l'état fondamental de l'hydrogène l'électron occupe la couche K ( $n=1$ ) correspond à l'énergie  $W_n$  minimale mais à l'énergie  $E_L$  maximale
- ▶ Il peut aussi passer sur une orbite supérieure en absorbant un quantum d'énergie, donc il augmente son énergie mais diminue son énergie de liaison



- ▶ Les numéros de couches peuvent être assimilés à des lettres :  $n=1$  (couche K),  $n=2$  (L),  $n=3$  (M).
- ▶ Les électrons K sont plus fortement liés, mais leur énergie varie beaucoup selon les atomes (selon  $Z^2$ , à  $\sigma^2$  près) :  $W_K$  varie beaucoup d'un atome à l'autre.
- ▶ Les électrons externes sont moins fortement liés mais leur énergie varie peu selon les atomes :  $W_{\text{ext}}$  peu selon les atomes car elle dépend peu de  $Z$ .

# Structure électronique de l'atome

## 4. GENERALISATION A UN NB Z QUELCONQUE D'ELECTRONS

- ▶ Théoriquement on a :  $W_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV}$
- ▶ En réalité : le cortège électronique modifie l'interaction noyau/électron par un « **effet écran** » qui va diminuer l'énergie de liaison de l'électron. On a :

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

avec  $\sigma$  : la constante d'écran

# QCM

- ▶ Calculer l'énergie de l'électron sur la couche M du calcium ( $Z=20$ )  
Données :  $\sigma = 17$
- ▶ A. 13,6 eV
- ▶ B. -13,6 eV
- ▶ C. 604 eV
- ▶ D. -604 eV
  
- ▶ Réponse : B