

The background features a gradient from red at the top to blue at the bottom, overlaid with faint, semi-transparent circular patterns and a scale. The scale is a large arc on the left side, with numerical markings from 140 to 260 in increments of 10. Several smaller circles and arcs are scattered across the frame, some with arrows indicating direction, suggesting a scientific or technical theme.

# PARTICULES, ONDES ET ATOMES

UE3A - BIOPHYSIQUE  
TUT'RENTÉE 2016/2017 - COURS 1

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# I. MASSE ET ÉNERGIE

- **Masse** = mesure de la quantité de matière d'un corps
- **Masse atomique (en g)** = masse d'une mole d'atome = masse de  $N$  atomes ( $N=6,02 \cdot 10^{23}$ ).

$N$  est choisi de façon à ce que  $N$  atomes de  $C^{12}$  pèsent 12g.

- **Unité de masse atomique (u)** = unité de masse adaptée à l'atome = un  $1/12^{\text{ème}}$  de la masse d'un atome de  $C^{12}$  en g

$$1u = \frac{12g}{N} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{N} = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,166 \cdot 10^{-23} g$$

# I. MASSE ET ÉNERGIE



**A = Nombre de masse (nombre de nucléons).**  
*Z = numéro atomique (nombre de protons)*

# I. MASSE ET ÉNERGIE

Masse	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'atomes en g <i>masse atomique</i>	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

**Masse atomique en g = Masse d'un atome en u**  
**A est toujours égal à l'entier le plus proche de cette masse**

# I. MASSE ET ÉNERGIE

- La valeur numérique de A exprime 3 quantités selon son unité :
  - *Sans unité* → **nombre de nucléons**
  - *En grammes* → **masse atomique**
  - *En unité de masse atomique (u)* → **masse d'un atome**

# I. MASSE ET ÉNERGIE

Selon Einstein, la masse est une forme d'énergie :  $E_0 = m_0 c^2$

Lorsqu'une particule est en mouvement, l'accélération transforme de l'énergie en masse :

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

$m_0 =$  masse au repos

$v =$  vitesse de la masse

$c =$  vitesse de la lumière dans le vide ( $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

Quand  $v \ll c$ ,  $m \rightarrow m_0$

# I. MASSE ET ÉNERGIE

**Plus la vitesse de la particule se rapproche de la vitesse de la lumière, plus sa masse relativiste augmente.**

**Inversement, plus sa vitesse est faible, plus sa masse se rapproche de  $m_0$ .**

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. **PARTICULES MATÉRIELLES**
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

	Masse au repos	Masse relativiste	Charge	Stabilité
<b>Électron</b> (électron négatif ou négaton)	$m_e = 0,548 \cdot 10^{-3} \text{u}$ $\approx 1/2000 \text{ u}$	<b>Masse faible et vitesse relativement élevée,</b> Pour $v=0,5c$ , $m_e = 1,15m_0$	$e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$ (coulombs)	
<b>Proton</b>	$m_p = 1,007 \text{ u}$	Considérés comme <b>non relativistes</b>	$e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (coulombs)	<b>Stable</b> , même en dehors du noyau
<b>Neutron</b>	$m_n = 1,009 \text{ u}$		<b>nulle</b>	<b>Instable</b> en dehors du noyau $n = p + e^- + \bar{\nu} + 0,78 \text{ MeV}$

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

	<b>Positon (<math>\beta^+</math>)</b> Antiparticule de l'électron	<b>Neutrino (<math>\nu</math>)</b> Explique la radioactivité $\beta$	<b>Particule <math>\alpha</math></b> = 4 nucléons (2p + 2n) = le NOYAU de l'Hélium
<b>Masse au repos</b>	<b>m = 1/2000 u</b>	<b>quasi nulle</b>	<b>m = 4,0015u (&lt;2m<sub>p</sub>+2m<sub>n</sub>)</b>
<b>Charge</b>	<b><math>^+e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}</math></b> (coulombs)	<b>nulle</b>	<b><u>charge</u> = <math>3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C}</math></b> (2 x $^+e$ )

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

Unité d'énergie adaptée à l'atome : **l'électronvolt (eV)** (hors SI)

= énergie cinétique acquise par un électron sans vitesse initiale, sous l'effet d'une différence de potentiel de 1 volt

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

$$10^3 \text{ eV} = \text{keV}$$

$$10^6 \text{ eV} = \text{MeV}$$

$$10^9 \text{ eV} = \text{GeV}$$

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

On peut avoir une **équivalence masse/énergie** pour **1 unité** de masse atomique :

$$1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}/c^2$$

# PLAN

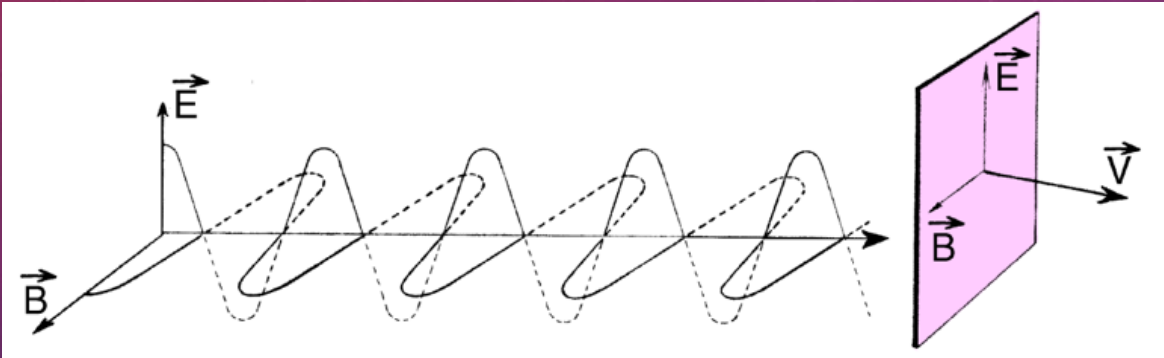
- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## A. Représentation classique



= Perturbations du champ électromagnétique qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière, soit  **$c = 3.10^8 \text{ m. s}^{-1}$**

On les modélise comme composés d'un **champ magnétique B** et d'un **champ électrique E** qui **vibrent en phase**, sont **perpendiculaires l'un par rapport à l'autre** et par rapport à la **direction de propagation**.

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

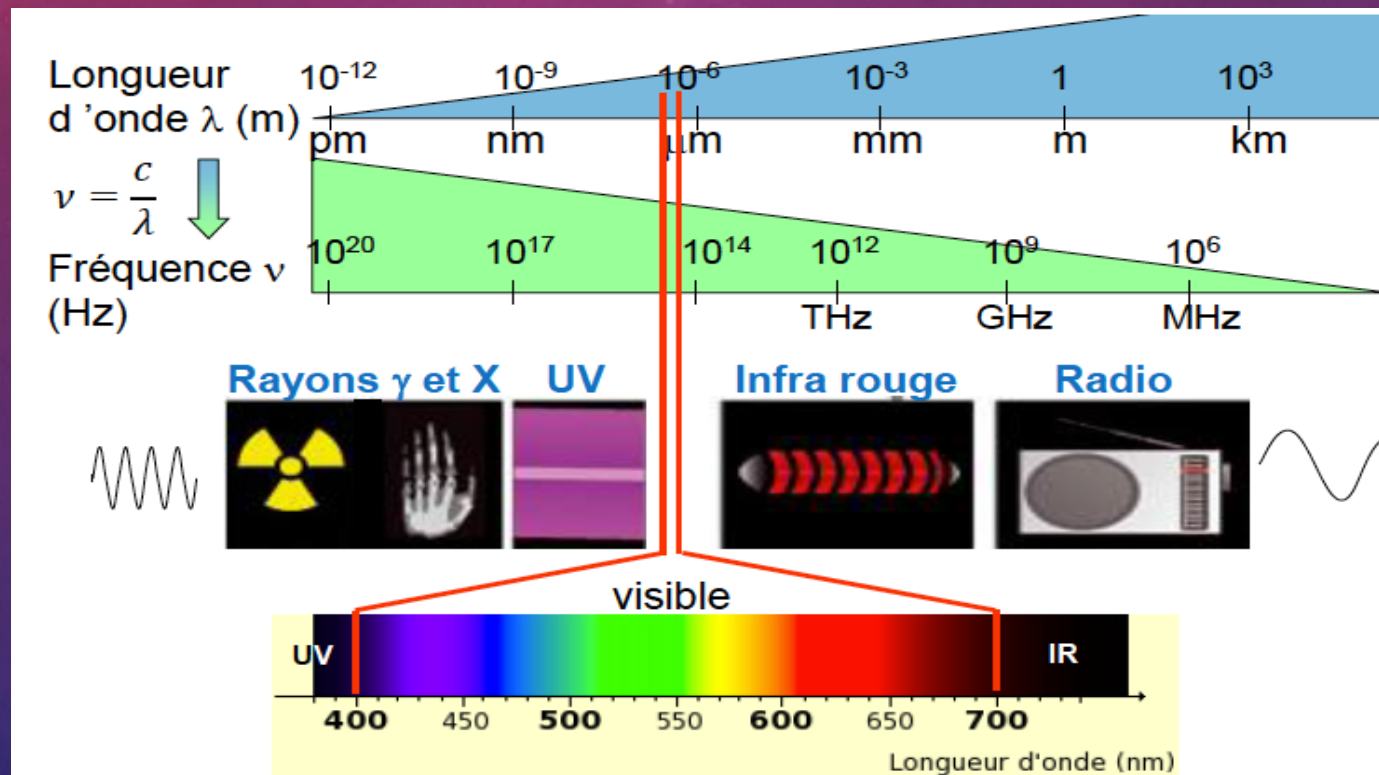
## A. Représentation classique

Ces REM sont caractérisés par :

- Leur **longueur d'onde** =  $\lambda$  = plus petite distance séparant 2 points dans un même état vibratoire (en mètres)
- Leur **fréquence**  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  [Hertz]

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## A. Représentation classique

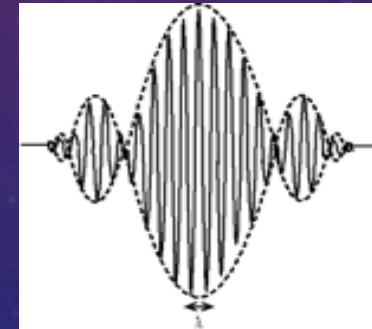


# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## B. Représentation quantique

Une onde EM ne peut céder ou acquérir de l'énergie qu'elle transporte que par **quantités discontinues, multiples entiers d'une quantité élémentaire** : le « *quantum de Planck* » :

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



avec  $h = \text{constante de Planck} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,13 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## B. Représentation quantique

La **relation de Duane et Hunt** permet de relier facilement  $E$  et  $\lambda$  en considérant les unités habituelles (hors système international) :

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

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. **DUALITÉ ONDE-PARTICULE**
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

- **Selon Einstein :**

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

$E = \frac{hc}{\lambda}$  du quantum de Planck

$$E = mc^2 = \frac{hc}{\lambda}$$



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

→ On est capable d'affecter une masse à un REM ; donc les ondes EM peuvent être considérées comme des corpuscules : les **photons**, avec une **masse exclusivement dynamique**  $m = \frac{h}{\lambda c}$ .

# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

- **Selon De Broglie :**

Comme on avait  $m = \frac{h}{\lambda c}$   $\longrightarrow$  il propose  $m = \frac{h}{\lambda \nu}$

À toute particule de masse  $m$  et de vitesse  $\nu$ , on associe une onde dont la longueur d'onde  $\lambda$  est donnée par :

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

# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

## ■ Conclusion

Énergie

✓ 1.5- Structure électronique de l'atome

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

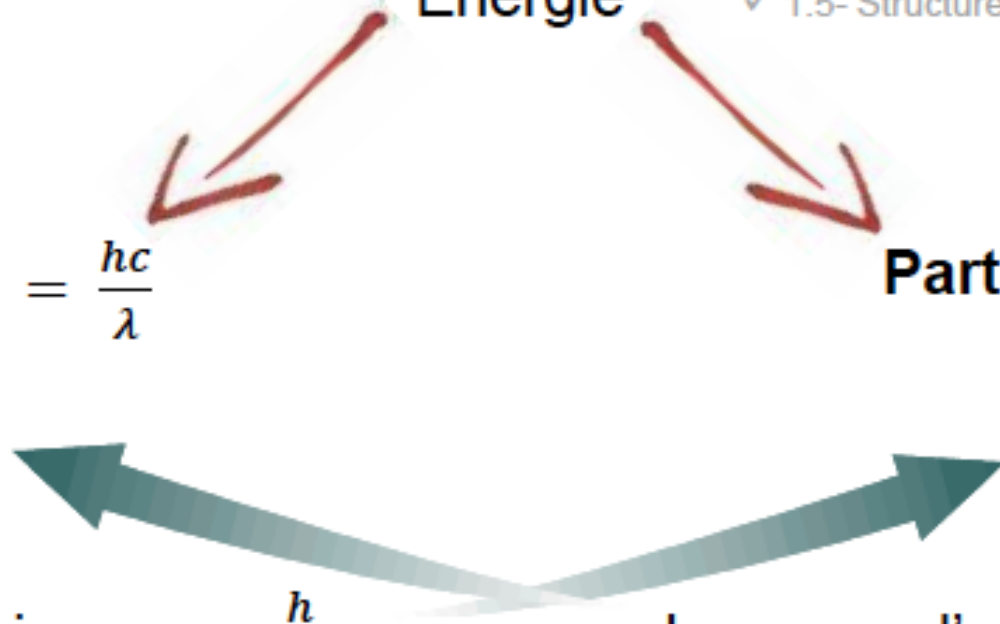


Particule  $E = mc^2$



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

longueur d'onde  $\lambda = \frac{h}{mv}$



# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

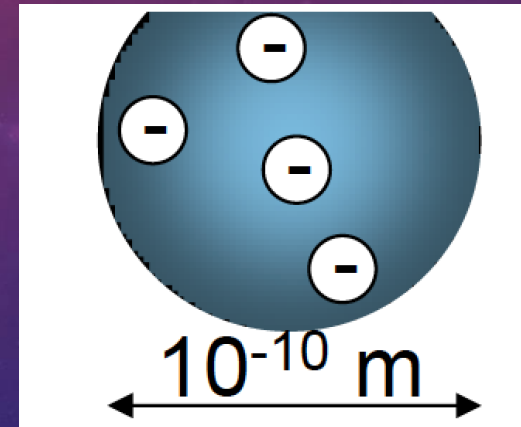
# PLAN

- I. MASSE ET ÉNERGIE
- II. PARTICULES MATÉRIELLES
- III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
- IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE
- V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Jusqu'au début du XXe siècle :

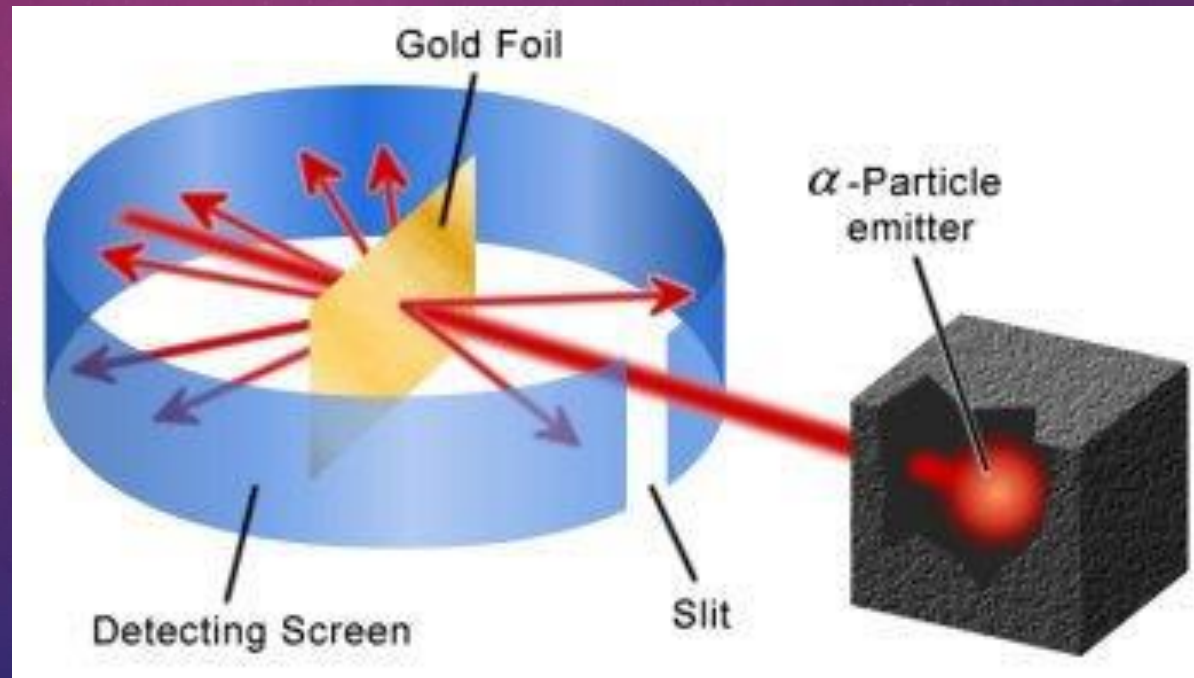
on considère que l'atome est une **sphère pleine positive** sur laquelle sont **accrochées des charges négatives**



# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle planétaire de Rutherford (1911) :

« la matière est pleine de vide »

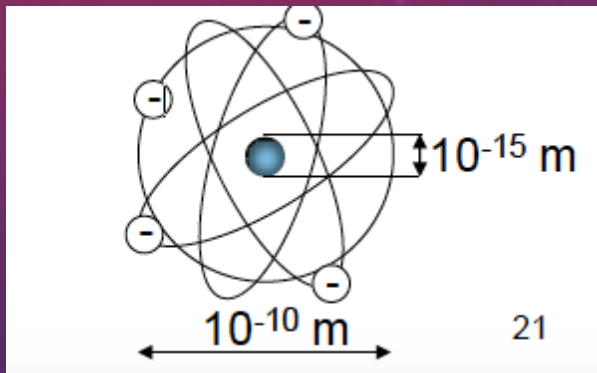


# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle planétaire de Rutherford (1911) :

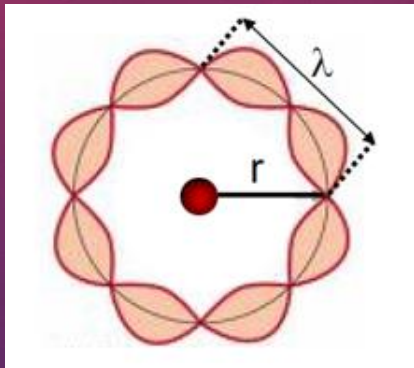
Selon ce nouveau modèle, l'atome est constitué :

- d'une **masse concentrée au niveau du noyau** chargé positivement ( $10^{-15}$  m)
- d'**électrons** chargés **négativement**, refoulés à la **périphérie du vide péri-nucléaire** ( $10^{-10}$  m)



# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle de Bohr (1913) :

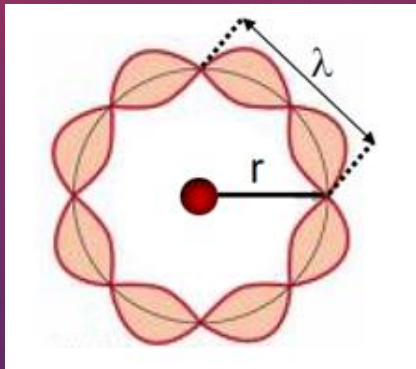


C'est une des conséquences de la **dualité onde-particule**.

*Soit un atome de  ${}_1\text{H}$  qui possède un électron, comment **associer une onde stationnaire à cet électron, tournant sur une orbite à une distance  $r$  du noyau ?***

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle de Bohr (1913) :

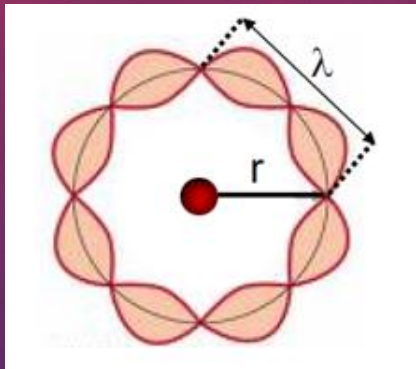


*Soit un atome de  ${}_1\text{H}$  qui possède un électron, comment associer une onde stationnaire à cet électron, tournant sur une orbite à une distance  $r$  du noyau ?*

➤ La circonférence de l'orbite est :  $l = 2\pi r$

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle de Bohr (1913) :

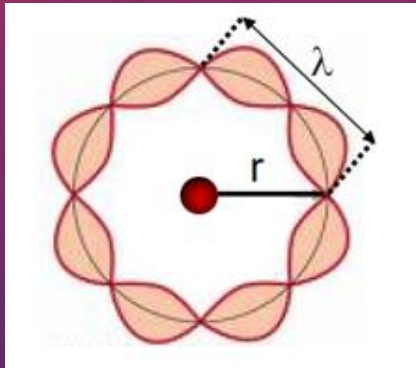


*Soit un atome de  ${}_1\text{H}$  qui possède un électron, comment associer une onde stationnaire à cet électron, tournant sur une orbite à une distance  $r$  du noyau ?*

- La circonférence de l'orbite est :  $l = 2\pi r$
- $l$  doit être un multiple entier de sa longueur d'onde  $\lambda$  :

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle de Bohr (1913) :



Soit un atome de  ${}_1\text{H}$  qui possède un électron, comment **associer une onde stationnaire à cet électron, tournant sur une orbite à une distance  $r$  du noyau ?**

- La circonférence de l'orbite est :  $l = 2\pi r$
- $l$  doit être un multiple entier de sa longueur d'onde  $\lambda$  :

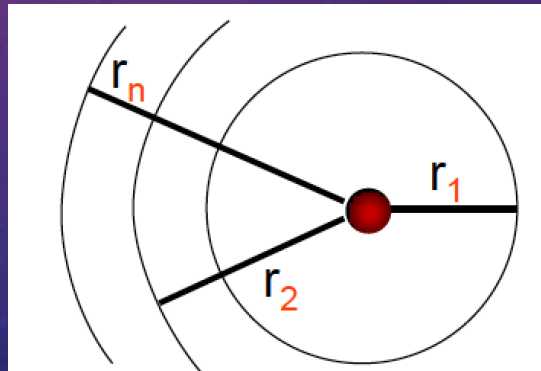
$$l = 2\pi r = n \lambda$$

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Modèle de Bohr (1913) :

**Donc  $r$  est quantifié** : il y a un nombre fini d'orbites dont les périmètres sont des multiples entiers de  $\lambda$ .

L'intensité de la liaison au noyau des électrons positionnés sur ces orbites dépend de  $r$ .



# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron :

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

L'énergie de l'électron est négative.

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron :

L'énergie de liaison de l'électron est l'énergie qu'il faut apporter pour arracher cet électron à l'édifice atomique et l'emporter hors de l'influence du noyau :

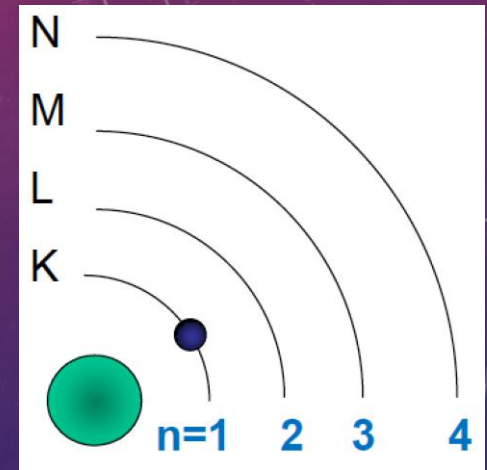
$$E_{Ln} = |W_n|$$

$W_n$  et  $E_{Ln}$  sont quantifiées :  
elles varient de manière **discontinue** en fonction de  $n$

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

À l'état fondamental de  ${}_1\text{H}$ , l' $e^-$  occupe la couche K correspondant à l'énergie  $W_n$  minimale ( $E_L$  maximale). Il peut passer sur une orbite supérieure par absorption d'un quantum d'énergie.

Ex : si  $\Delta E = 10,2 \text{ eV} \rightarrow$  passage de K à L



<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>r</b> ( $10^{-10}\text{m}$ )	0,5	2	4,5	8
<b>Orbite</b>	K	L	M	N
<b><math>W_n</math> (eV)</b>	-13,6	-3,4	-1,5	-0,8
		<b><math>W_k/4</math></b>	<b><math>W_k/9</math></b>	<b><math>W_k/16</math></b>

$$r_n = n^2 \times 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

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

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Généralisation du modèle de Bohr à un nombre Z d'électrons :

Théoriquement :  $W_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV}$

En réalité : le cortège électronique modifie l'interaction noyau / électron par un « effet écran ».

Pour en tenir compte :

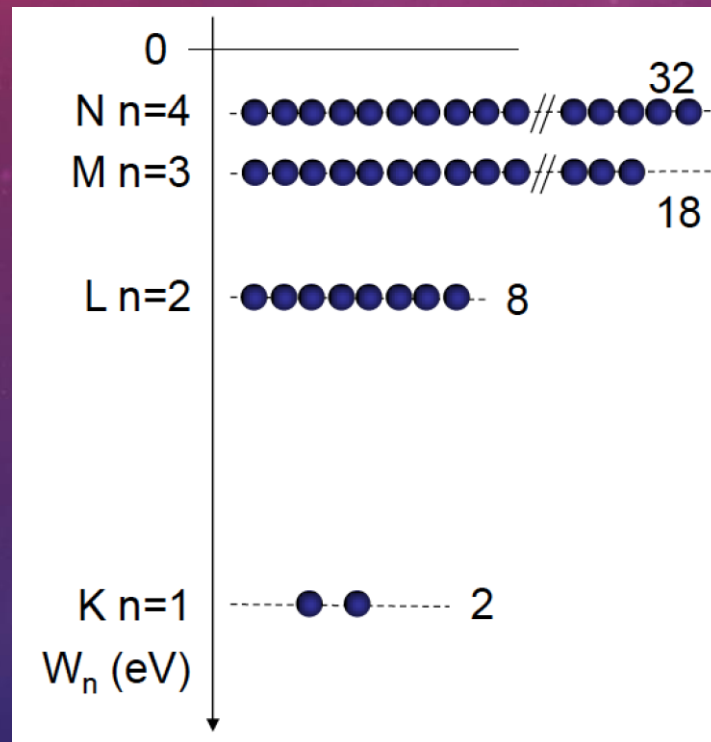
$$W_n = -13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} \text{ eV}$$

avec  $\sigma$  « constante d'écran »

Ex : couche M du tungstène : en théorie  $W_n = -8\,275 \text{ eV}$ , valeur réelle  $W_n = -2\,820 \text{ eV}$  ( $\sigma = 30,8$ )

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

- Remplissage des couches électroniques dans le modèle de Bohr :



Nombre  
maximum  
d'électrons  
par couche  
 $= 2n^2$

# CONCLUSION

- Tous les atomes sont construits selon le même mode de remplissage des différentes couches :  **$2n^2$  électrons par couche** (modèle de Bohr) ...
- Les énergies des électrons dépendent de la couche et de l'atome :

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

	Hydrogène Z=1	Calcium Z=20	Tungstène Z=74
$W_k$ (eV)	- 13,6	- 4000	- 69500
$W_{\text{ext}}$ (eV)	- 13,6	- 25,4	- 5,7

- Les  **$e^-$  K** sont **les plus fortement liés** ;  $W_k$  varie **beaucoup** selon les atomes (fonction de  $Z^2$  à l'effet écran près).
- Les  **$e^-$  de la couche la plus externe** sont **les moins fortement liés** ;  $W_{\text{ext}}$  varie **peu** selon les atomes (dépend peu de Z).
- Lorsque les couches électroniques les plus basses sont complètes, l'atome est dans son **état fondamental** (sinon excès d'énergie).

## QCM

L'iode naturel stable ( $Z=53$ ) a une masse atomique égale à 126,90447 g.

- A) La masse d'un atome d'iode naturel est égale à 126,90447 u.
- B) Il s'agit de l'iode-126 (nombre de masse  $A=126$ ).
- C) Cet atome d'iode naturel dans son état fondamental possède 53 électrons.
- D) Le noyau de cet atome est composé de 74 neutrons.
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.

# QCM

L'iode naturel stable ( $Z=53$ ) a une masse atomique égale à 126,90447 g.

- A) La masse d'un atome d'iode naturel est égale à 126,90447 u.
- B) Il s'agit de l'iode-126 (nombre de masse  $A=126$ ).
- C) Cet atome d'iode naturel dans son état fondamental possède 53 électrons.
- D) Le noyau de cet atome est composé de 74 neutrons.
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Merci pour votre attention