

# MECANIQUE QUANTIQUE

<p><b>Dualité onde-particule</b> Photon et onde lumineuse.</p> <p>Particule matérielle et onde de matière ; relation de De Broglie.</p> <p>Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.</p>	<p>Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Utiliser la relation <math>p = h/\lambda</math>. Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.</p>
<p><b>Transferts quantiques d'énergie</b> Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser.</p> <p>Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.</p>	<p>Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie). <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information.</i></p> <p>Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.</p>

## I- Dualité onde-particule

### 1. Onde électromagnétique et photon:

#### 1.1. Activité 1 p 376 questions 1 et 2

#### 1.2. Le photon :

En 1905, Albert Einstein postule que l'énergie de la lumière est transportée par des grains d'énergie (quanta d'énergie) appelés photons qui présentent un aspect particulaire et ondulatoire.

#### Remarque :

Un photon, de charge et de masse nulle, se déplace à la vitesse de la lumière.

L'énergie d'un photon est :  $E = h \nu$  , E (J) représente l'aspect particulaire du photon  
h constante de Planck égale à  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s  
la fréquence  $\nu$  (Hz) représente l'aspect ondulatoire du photon

**1.3. Conclusion :** La lumière se comporte tantôt comme une onde tantôt comme une particule (ce sont les conditions de l'expérience qui orientent son comportement): c'est la dualité onde-particule.

### 2. Particules et onde de matière :

En 1923, le physicien français Louis de Broglie généralise la dualité onde-particule de la lumière à toutes les particules matérielles (électrons, protons, neutrons, ...)

#### 2.1. Relation de Louis De Broglie :

A chaque particule en mouvement est associée une onde appelée **onde de matière** de longueur d'onde  $\lambda$  telle que  $\lambda = \frac{h}{p}$  p étant la quantité de mouvement de la particule ( $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;  $\lambda$  (m) ;  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s

**Exemple :** à un électron de masse  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg se déplaçant à la vitesse de  $400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  est associée une onde de longueur d'onde  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \times 400} = 1,82 \text{ } \mu\text{m}$

## 2.2. Condition d'observation du comportement ondulatoire :

Le comportement ondulatoire des particules matérielles, observé lors des phénomènes de diffraction ou d'interférences, est significatif lorsque la dimension de l'obstacle ou de l'ouverture est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de matière  $\lambda$ .

## 3. Aspect probabiliste des phénomènes quantiques :

3.1. Phénomènes quantiques : vidéo physique quantique

3.2. Activité 2 p 377

3.3. Conclusion :

Les phénomènes quantiques présentent un aspect probabiliste : on ne peut pas prévoir la position précise d'une particule mais seulement sa probabilité de présence en un lieu donné.

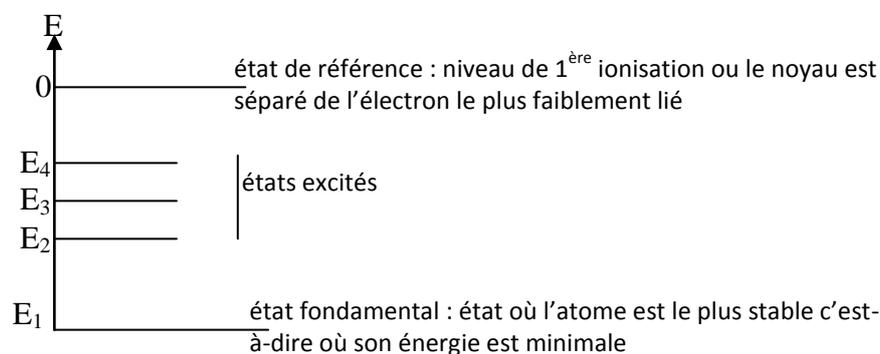
## II- Transferts quantiques d'énergie

### 1. Émission et absorption quantiques :

1.1. Quantification des niveaux d'énergie :

L'énergie d'un atome est quantifiée c'est-à-dire qu'un atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis, valeurs discontinues caractéristiques de l'élément, appelés niveaux d'énergie.

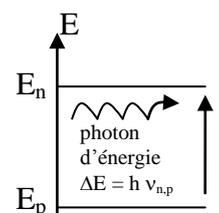
Diagramme d'énergie d'un atome :



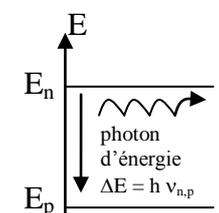
Remarques: \* pour amener l'atome de son état fondamental à l'état de référence, il faut un apport extérieur d'énergie: les états d'énergie de l'atome sont donc négatifs.  
\* le passage d'un état à un autre est appelé transition.

1.2. Absorption et émission spontanée :

\* Le gain d'énergie d'un atome lors d'une transition d'un niveau d'énergie E<sub>p</sub> à un niveau supérieur E<sub>n</sub>, (E<sub>n</sub> > E<sub>p</sub>), s'accompagne de l'absorption d'un photon d'énergie  $h \nu_{n,p} = E_n - E_p$ .



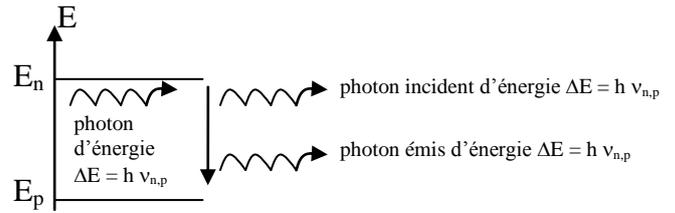
\* La perte d'énergie d'un atome excité lors d'une transition d'un niveau d'énergie E<sub>n</sub> à un niveau inférieur E<sub>p</sub>, (E<sub>n</sub> > E<sub>p</sub>), s'accompagne de l'émission d'un photon d'énergie  $h \nu_{n,p} = E_n - E_p$ .



### 1.3. Emission stimulée :

En 1917, Einstein prévoit un autre mode d'émission de photons : l'émission stimulée

Lorsqu'un photon d'énergie  $h \nu_{n,p} = E_n - E_p$  rencontre un atome à l'état excité  $E_n$ , cet atome peut retrouver un état d'énergie plus stable  $E_p$  en émettant un autre photon, « jumeau » du photon incident, de même énergie  $h \nu_{n,p} = E_n - E_p$ .



Remarques : Les 2 photons obtenus après émission stimulée ont mêmes fréquence, phase, direction et sens de propagation

### 2. Application : le laser : activité A25 + vidéo « C'est pas sorcier »

### 3. Transitions d'énergie :

Comme les atomes, toutes les entités (molécules, ions, noyaux) possèdent des niveaux d'énergie quantifiés.

**3.1 Transitions d'énergie des noyaux :** lors de réactions nucléaires, les noyaux sont généralement dans un état excité. La différence d'énergie entre 2 niveaux est de l'ordre du MeV ( $1,6 \cdot 10^{-13}$  J)

### 3.2. Transitions d'énergie électroniques :

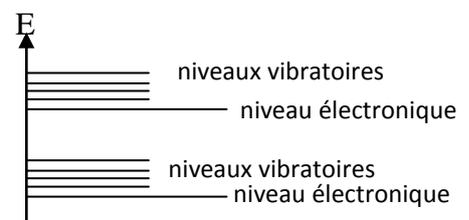
Un atome gagne ou cède de l'énergie en faisant transiter un électron d'un niveau vers un autre niveau d'énergie : c'est une transition d'énergie électronique.

Lors d'une transition d'énergie électronique, les atomes émettent ou absorbent des photons d'énergie  $\Delta E$  de l'ordre de 10 eV pour les électrons des couches internes et 1 eV ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  J) pour ceux de valence.

### 3.3. Transitions d'énergie vibratoires :

Une molécule est constituée d'atomes qui vibrent les uns par rapport aux autres : elle possède de l'énergie vibratoire de l'ordre de 0,1 eV.

Remarque : Les transitions d'énergie vibratoire étant moins énergétiques que les transitions d'énergie électroniques, le diagramme d'énergie d'une molécule est schématisé tel que:



### 3.4. Transition et longueur d'onde :

A chaque photon d'énergie  $\Delta E$  est associée une longueur d'onde

$$\lambda = \frac{h c}{\Delta E}$$

