

Ch.15 RESUME. TRANSFERTS QUANTIQUES D'ÉNERGIE ET DUALITÉ ONDE-PARTICULE**I. TRANSITIONS ÉNERGETIQUES DANS LES ATOMES :****1) Absorption et émission spontanées de lumière :**

- Les atomes, ions et molécules ne peuvent exister que dans des états d'énergie précis : **les niveaux d'énergie sont quantifiés.**
- De même, les variations d'énergie dans la matière sont quantifiées.

- Un atome peut **absorber** un photon possédant une énergie correspondant **exactement** à la différence ΔE entre le niveau occupé et un niveau d'énergie plus élevé. **L'atome possède alors une plus grande énergie, on dit qu'il est excité.**
- De même un atome peut émettre de la lumière (photons) lorsqu'il passe d'un niveau d'énergie supérieur E_p à un niveau d'énergie inférieur E_n .
- **La différence d'énergie entre les niveaux d'énergie électronique est :**

$$\Delta E = E_p - E_n = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

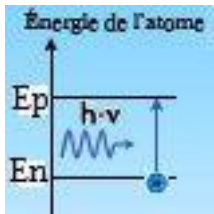
$\Delta E = E_p - E_n$ est l'énergie transportée par le photon en J ;

h : constante de Planck = $6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;

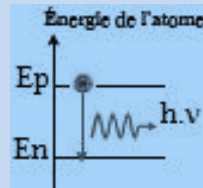
ν : fréquence de l'onde associée au photon en Hz.

c : célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹,

λ : longueur d'onde de la lumière (m)



Transition énergétique d'un atome (représenté symboliquement par une sphère) avec absorption d'un photon d'énergie $\Delta E = E_p - E_n = h \cdot \nu$



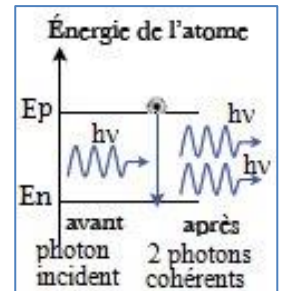
Transition énergétique d'un atome avec émission spontanée d'un photon d'énergie $\Delta E = E_p - E_n = h \cdot \nu$

- Il n'est possible de déterminer ni la date ni la direction dans laquelle le photon sera émis : **cette émission a lieu de manière aléatoire**, dans n'importe quelle direction de l'espace.

2) Émission stimulée

- Lorsqu'un photon incident d'énergie bien choisie $E = h \cdot \nu = E_p - E_n$ rencontre un atome, initialement dans l'état excité d'énergie E_p , il peut provoquer une émission stimulée. L'atome passe au niveau d'énergie inférieur E_n . Ce passage s'accompagne de l'émission d'un second photon.

- Dans ce cas, les 2 photons obtenus : photon incident et photon émis ont **même direction, même sens de propagation, même fréquence** (donc même énergie), et sont en **phase** (aucun décalage entre eux) ; ils sont appelés : « **photons synchronisés ou cohérents** ». **L'onde incidente a donc été amplifiée.**



Transition énergétique d'un atome avec émission stimulée.

Le photon incident possède une énergie $E = E_p - E_n = h \cdot \nu$. Les 2 photons obtenus sont cohérents.

II. PRINCIPE DU LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)**1) Propriétés du laser**

Un **laser** émet un faisceau lumineux **monochromatique** (photons émis ont même fréquence donc même longueur d'onde, cohérent (photons émis **directif**). Cela permet une **concentration spatiale de l'énergie**.

Les lasers à impulsions permettent de plus une **concentration temporelle de l'énergie** donc délivrent une puissance considérable.

2) Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse

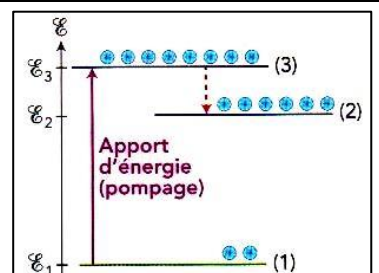
- Le laser émet des photons produits par émission stimulée, ce qui a pour effet d'amplifier l'onde lumineuse incidente.

- **L'émission stimulée est favorisée par l'inversion de population** qui consiste à maintenir plus d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental. Cette situation est obtenue grâce à un apport d'énergie.

- L'apport d'énergie permet aux atomes de passer du niveau fondamental (1) à un niveau excité (3).

Les atomes redescendent spontanément et très rapidement au niveau (2) où ils s'accumulent.

La transition du niveau (2) au niveau (1) pourra alors se produire lors d'une émission spontanée ou stimulée.

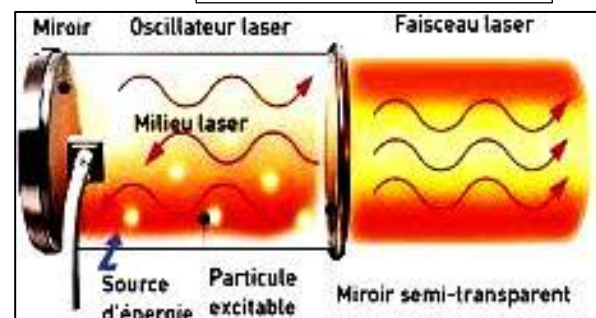


Répartition des atomes dans les niveaux d'énergie avec inversion de population.

3) Un oscillateur optique : le laser

Dans l'**oscillateur laser**, limité par deux miroirs, les **émissions stimulées successives font augmenter le nombre de photons** qui ont même fréquence, mêmes direction et sens de propagation et qui sont en phase. Effet laser ; le laser est un **amplificateur de lumière** fonctionnant grâce à l'émission stimulée.

Un des 2 miroirs est semi-transparent, une partie du rayonnement peut sortir de l'oscillateur. On obtient ainsi un faisceau laser qui, selon les modèles, est émis en continu ou par impulsions.



II. TRANSITIONS D'ÉNERGIE ET DOMAINE SPECTRAL

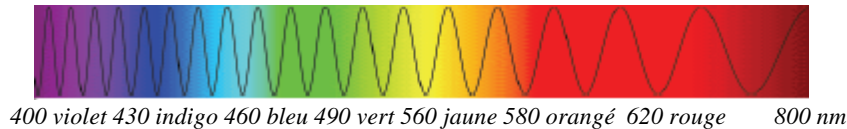
1) Transitions d'énergie électroniques :

Les transitions d'énergie électronique dans les atomes mettent en jeu des photons se situant dans le domaine du visible ou de l'UV (spectroscopie U

2) Transitions d'énergie dans les molécules :

Domaine spectral	Nature de la transition mise en jeu	Analyse spectrale correspondante
Visible, UV	Transition entre niveaux d'énergie électronique	Spectroscopie UV-visible
Infrarouge	Transition entre niveaux d'énergie vibratoire	Spectroscopie IR

La lumière visible correspond à des longueurs d'onde qui s'échelonnent d'environ 400 (rouge) à 800 nm (violet).



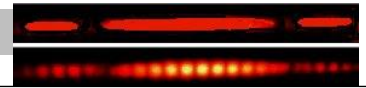
III. ONDES OU PARTICULES ?

1) Aspect ondulatoire et particulaire de la lumière :

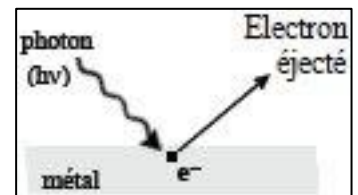
- La lumière se comporte dans certains cas **comme une onde électromagnétique** de fréquence bien déterminée (caractérisée par la période T en s, la fréquence $f = 1/T$ (notée aussi ν), la vitesse de propagation c en $m.s^{-1}$, la longueur d'onde $\lambda = c.T = \frac{c}{\nu}$ en m.

Les phénomènes de diffraction et d'interférences de la lumière s'expliquent par ses propriétés ondulatoires.

- Lorsque l'on éclaire un métal avec de la lumière, Hertz découvre que la lumière peut arracher des électrons : c'est l'effet photoélectrique. C'est Einstein en 1905 qui explique ce phénomène en considérant la lumière comme composée de petits « grains » qui viennent frapper les électrons : des photons.



Figures de diffraction (a) et d'interférences (b) de la lumière.



Schématisme de l'effet photoélectrique

On parle de dualité onde-corpuscule :

La lumière (et les ondes électromagnétiques en général) est souvent décrite comme un flux de photons (particule sans charge ni masse) se déplaçant à la vitesse de la lumière. Le photon transporte un quantum d'énergie E : représente l'aspect particulaire du photon. Sa fréquence ν représente son caractère ondulatoire.

L'énergie transportée par un photon est : $E = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda}$ avec h : constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$).

Quantum d'énergie
(aspect corpusculaire)

λ : longueur d'onde
(aspect ondulatoire)

2) Application de la dualité onde-corpuscule à la matière – Relation de De Broglie :

- La dualité onde-particule conduit à associer une onde de longueur d'onde λ à toute particule, matérielle ou non, de quantité de mouvement $p = m.v$.

λ et p sont liées par la relation de de Broglie : $p = \frac{h}{\lambda}$ où $h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$; λ en m et p en $kg.m.s^{-1}$.

- Aspect probabiliste des phénomènes quantiques :

Les particules du monde microscopique sont soumises à des lois probabilistes. C'est un phénomène quantique. Seule l'étude d'un grand nombre de particules permet d'établir leur comportement. : on peut alors établir la probabilité de présence d'une particule à un endroit donné.

- Les phénomènes quantiques présentent un aspect probabiliste : on peut au mieux établir la probabilité de présence d'une particule à un endroit donné.

Impacts, en blanc, des photons après traversée des fentes d'Young. De 1 à 2, la durée de l'expérience et donc le nombre de photons sont croissants.

