

Chapitre 19 : La dualité de la lumière

Extrait Programme 1^{ère} spé

Domaine des ondes électromagnétiques.
Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.

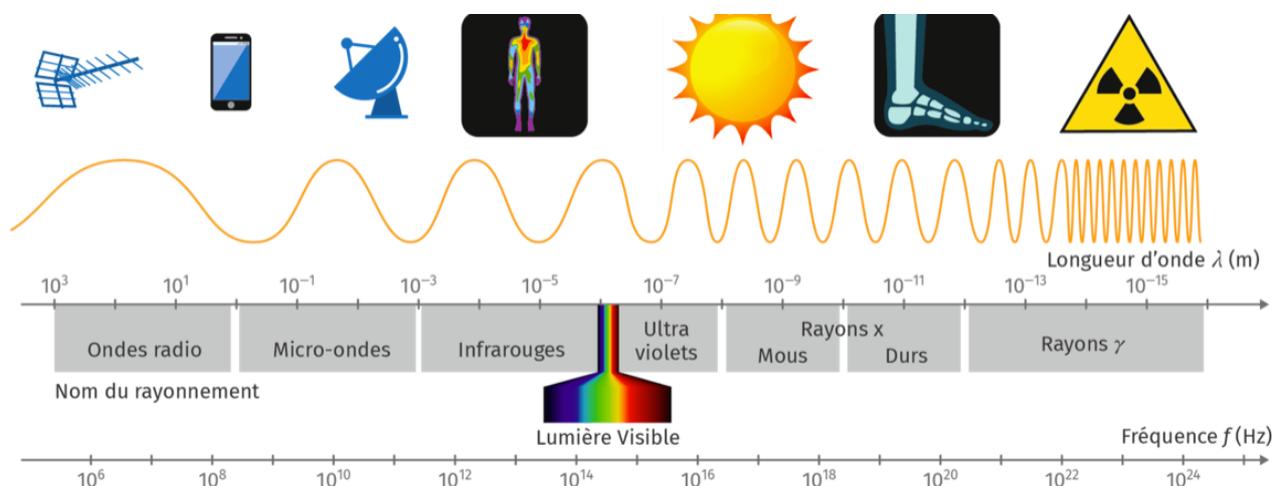
Le photon.
Énergie d'un photon.
Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission.
Quantification des niveaux d'énergie des atomes.

- Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral.
- Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.)
- Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon
- Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h \nu$
- *Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent.*

I- La lumière : une onde électromagnétique

Regarder la vidéo suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=w7y-1eY0mcE>

La lumière est une onde électromagnétique, et la lumière visible ne représente qu'une partie du spectre électromagnétique.



Remarque : plus la longueur d'onde est courte, et plus le rayonnement électromagnétique est énergétique et dangereux (voir plus loin dans le chapitre).

La longueur d'onde est liée à la fréquence par la relation $\lambda = \frac{c}{\nu}$ avec c la célérité de l'onde électromagnétique ($c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s) et ν (nu) la fréquence en Hz.

Applications : n°24 p 393 (corrigé), n°27 p 393

II- Une particule de lumière : le photon

Regarder la vidéo suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=L5B3frVR8LM>

Afin d'expliquer certains phénomènes, tels que l'effet photoélectrique ou les spectres de raies d'émission, on ne peut pas considérer la lumière comme une onde.
Les scientifiques ont alors été amenés à considérer la lumière comme constituée de particules.

La lumière transporte de l'énergie, sous forme de photons.
Le photon est une particule sans masse, sans charge électrique, qui se déplace à la vitesse de la lumière dans le vide. Chaque photon possède une énergie bien définie.

La nature de la lumière a été longtemps sujette à débat (voir vidéo). C'est Albert Einstein qui a résolu cette grande controverse en énonçant que la lumière était à la fois une onde et une particule.

On dit que la lumière est duale : elle est à la fois une onde et une particule. Dans certaines situations, c'est l'aspect ondulatoire qui prédomine, alors que dans d'autres, c'est l'aspect corpusculaire.

Une formule permet de relier les deux aspects :

$$E = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

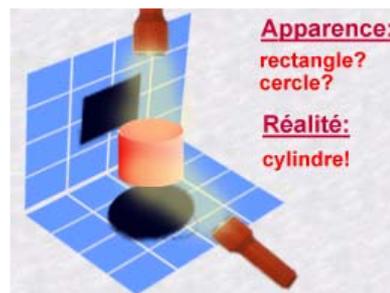
E est l'énergie du photon en Joule (J)

ν est la fréquence de l'onde électromagnétique correspondante en Hertz (Hz)

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

Remarques :

- Cela peut sembler étrange que la lumière puisse être de deux natures différentes, mais en fait non : ces deux natures sont les deux facettes d'un même objet !



- Plus la longueur d'onde dans le vide est petite, plus sa fréquence est élevée, et donc plus l'énergie du photon correspondant est grande.
- L'énergie associée à chaque photon est généralement très faible, de l'ordre de 10^{-19} J, on exprime donc généralement E dans une autre énergie : l'électronvolt (eV). On a $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Applications :

- 1) Calculer l'énergie d'un photon en Joules, puis en eV, correspondant à une radiation de fréquence $\nu = 2,00 \cdot 10^{14}$ Hz.

$$E = 1,33 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,829 \text{ eV}$$

2) Calculer en électronvolt, l'énergie d'un photon correspondant à un rayonnement de longueur d'onde 550 nm (radiation verte).

$$E = 3,62 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,26 \text{ eV.}$$

Applications : n°28 p 393 (corrigé), n°29 p 393, n°37 p 394

III- Les échanges d'énergie avec la matière

1- Les niveaux d'énergie de la matière

Le modèle de l'atome que vous avez vu au collège ou en 2nde doit être amélioré pour pouvoir expliquer certains phénomènes comme les spectres de raies d'émission.

Niels Bohr propose en 1913 un modèle qui porte son nom. Voilà ses caractéristiques :

- Seules certaines orbites électroniques sont possibles autour du noyau. Chaque orbite correspond à un niveau d'énergie de l'atome.
- Le niveau d'énergie le plus petit correspond à l'**état fondamental** : c'est un état stable de la matière. Les niveaux d'énergie supérieure, appelés **états excités** sont des états instables de la matière.
- Dans certaines conditions, l'électron peut changer d'orbite. Lorsqu'il passe à un niveau d'énergie plus élevé, il absorbe de la lumière. Pour cela, il a besoin d'énergie, fournie par un photon (schéma 1).

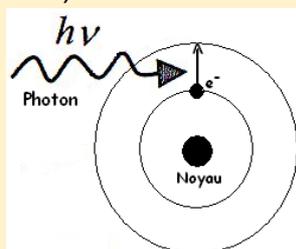


Schéma 1

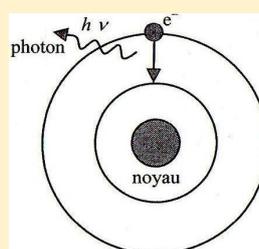
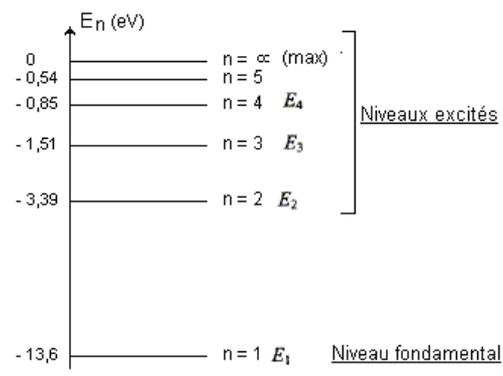


Schéma 2

Lorsqu'il passe à un niveau d'énergie plus faible, il émet de la lumière. Dans ce cas, il perd de l'énergie, et un photon est émis (schéma 2)

Remarque : L'énergie maximale d'un électron dans l'atome est prise, par convention égale à 0. Cela correspond à l'état ionisé de l'atome : il a perdu l'électron. Les énergies E_n sont donc toutes négatives.

Ci-contre : le diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène.



2- Interactions lumière matière

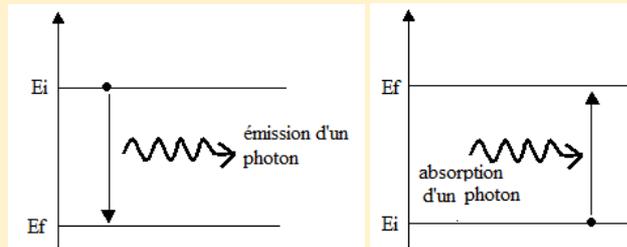
Un électron peut changer de niveau d'énergie : on parle alors de transition. Il existe deux sortes de transition, qui impliquent l'intervention d'un photon.

- phénomène d'absorption : Un électron peut passer d'un niveau d'énergie à un autre plus élevé s'il reçoit exactement l'énergie nécessaire. Cette énergie est apportée par un photon qui est absorbé par l'atome.

L'énergie de ce photon remplit la condition $E_{\text{photon}} = E_f - E_i = \Delta E = h \nu > 0$

- phénomène d'émission : Un électron peut passer d'un niveau d'énergie à un autre moins élevé s'il cède exactement l'énergie excédentaire. Cette énergie est libérée par un photon qui est émis de l'atome.

L'énergie de ce photon remplit la condition $E_{\text{photon}} = E_i - E_f = \Delta E = h\nu > 0$



Remarque : Pour le phénomène d'absorption, l'état final est forcément un état excité, alors que l'état initial peut être un état excité ou l'état fondamental.

[Applications](#) : n°33 p 393, n°42 p 395

[Applications en autonomie](#) : n°20 p 390 et 22 p391 (corrigés détaillés) et n°32 p 393, n°43 p 395

3- Interprétation des spectres de raies

Lors d'une transition, les photons absorbés ou émis ont une énergie qui dépend des niveaux d'énergie des atomes impliqués.

Ainsi, on peut expliquer pourquoi les longueurs d'onde des raies d'émission ou d'absorption d'un spectre d'un atome sont caractéristiques de l'atome considéré. De même, cela explique que ces spectres soient discontinus.

Les raies d'émission et d'absorption des spectres d'un même atome ont les mêmes longueurs d'onde, car dans les deux cas, ce sont les mêmes niveaux d'énergie qui sont impliqués.