

Lumière, photons

Cours de sciences physiques - niveau Terminale

*Pourquoi un pointeur laser vert éclaire-t-il plus « fort » qu'une lampe rouge de même puissance, et pourquoi un simple rayon ultraviolet peut-il arracher des électrons à un métal alors que la lumière rouge, même intense, n'y parvient pas ? La réponse tient en un mot : la **lumière** est composée de grains d'énergie, les **photons**, et l'énergie échangée avec la matière est quantifiée.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Lumière et photons : l'énergie d'un grain de lumière

Le modèle ondulatoire de la lumière explique les phénomènes de diffraction et d'interférences. Mais pour décrire les échanges d'énergie avec la matière, on utilise le modèle corpusculaire : un rayonnement de fréquence ν et de longueur d'onde λ est un flux de **photons**, particules sans masse et sans charge qui se déplacent à la célérité c dans le vide. Chaque photon transporte une énergie bien précise.

FORMULE À RETENIR

$$E = h \times \nu = h \times c \div \lambda$$

E en joules (J), ν en hertz (Hz), λ en mètres (m), $c = 3,00 \times 10^8$ m/s et $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s (constante de Planck).

DÉFINITION

L'**électronvolt** (eV) est une unité d'énergie adaptée à l'échelle atomique : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J, énergie gagnée par un électron accéléré par une tension de 1 V. Pour passer des joules aux électronvolts, on divise par $1,60 \times 10^{-19}$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

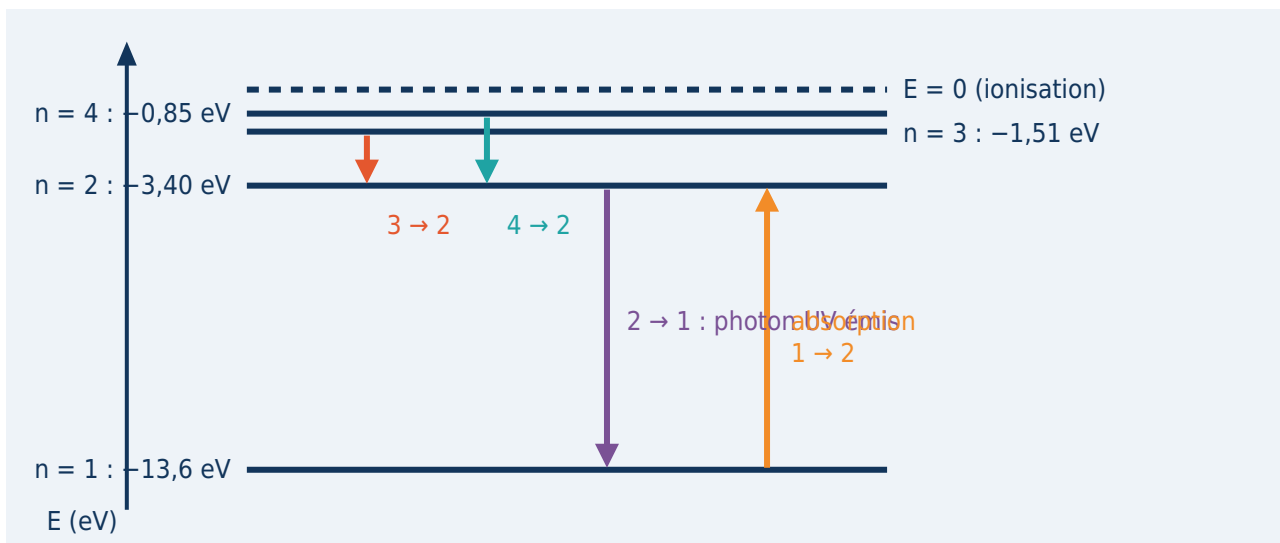
Un laser vert émet à $\lambda = 532 \text{ nm}$. L'énergie d'un photon vaut $E = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 \div (532 \times 10^{-9}) \approx \mathbf{3,74 \times 10^{-19} \text{ J}}$, soit $3,74 \times 10^{-19} \div 1,60 \times 10^{-19} \approx \mathbf{2,34 \text{ eV}}$. Pour un laser de puissance $P = 1,0 \text{ mW}$, le nombre de photons émis par seconde est $N = P \div$

$$E = 1,0 \times 10^{-3} \div 3,74 \times 10^{-19} \approx \mathbf{2,7 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}.$$

Plus la longueur d'onde est courte, plus le photon est énergétique : un photon bleu ($\lambda = 450 \text{ nm}$) emporte plus d'énergie qu'un photon rouge ($\lambda = 700 \text{ nm}$), et un photon ultraviolet plus encore. L'énergie d'un photon visible est de l'ordre de 1,8 eV (rouge) à 3,1 eV (violet).

Niveaux d'énergie d'un atome

L'énergie d'un atome ne peut pas prendre n'importe quelle valeur : elle est **quantifiée**, c'est-à-dire limitée à des valeurs discrètes appelées niveaux d'énergie. Le niveau de plus basse énergie est le **niveau fondamental** ; les autres sont les niveaux excités. Pour l'atome d'hydrogène, $E_n = -13,6 \div n^2$ (en eV), avec $n = 1, 2, 3 \dots$. L'énergie est négative car l'électron est lié au noyau ; $E = 0$ correspond à l'atome ionisé, électron libre au repos.



Niveaux de l'hydrogène : une émission descend d'un niveau à un autre, une absorption monte d'un niveau à un autre.

PROPRIÉTÉ

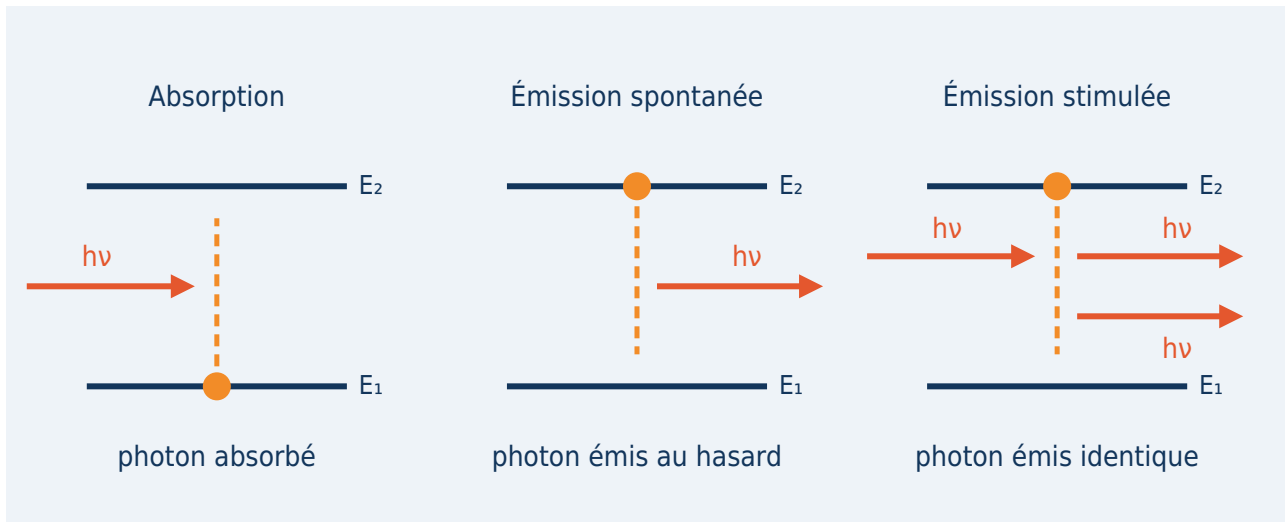
Lors d'une transition entre deux niveaux E_i et E_f , un atome émet ou absorbe un photon dont l'énergie est exactement égale à l'écart entre les niveaux : $\mathbf{E_{photon} = |E_i - E_f| = h \times c \div \lambda}$. Chaque élément chimique possède ses propres niveaux, donc ses propres raies.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Transition de $n = 3$ à $n = 2$ dans l'hydrogène : $\Delta E = -1,51 - (-3,40) = 1,89 \text{ eV} = 1,89 \times 1,60 \times 10^{-19} = 3,02 \times 10^{-19} \text{ J}$. La longueur d'onde du photon émis est $\lambda = h c \div \Delta E = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 \div 3,02 \times 10^{-19} \approx \mathbf{658 \text{ nm}}$ (raie rouge, 656 nm avec des constantes plus précises).

Absorption, émission spontanée et émission stimulée

La lumière interagit avec un atome de trois façons. Dans l'**absorption**, un photon d'énergie exactement égale à $E_2 - E_1$ fait passer l'atome du niveau 1 au niveau 2 ; il disparaît. Dans l'**émission spontanée**, l'atome excité redescend de lui-même et émet un photon dans une direction et avec une phase aléatoires. Dans l'**émission stimulée**, un photon incident d'énergie $E_2 - E_1$ provoque la désexcitation d'un atome déjà excité : le photon émis est **identique** au photon incident (même fréquence, même direction, même phase), si bien qu'il y a deux photons au lieu d'un.



Dans l'émission stimulée, le photon émis est cloné : même énergie, même direction, même phase que le photon incident.

Le laser : une lumière stimulée

Un **laser** (pour « amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement ») est composé d'un milieu amplificateur placé dans une cavité résonante entre deux miroirs. Un apport d'énergie (pompage) porte la majorité des atomes dans un niveau excité, c'est l'**inversion de population**. Les photons émis spontanément déclenchent alors des émissions stimulées en cascade qui font des allers-retours dans la cavité. Un miroir partiellement transparent laisse sortir un faisceau fin, directif, monochromatique et cohérent.

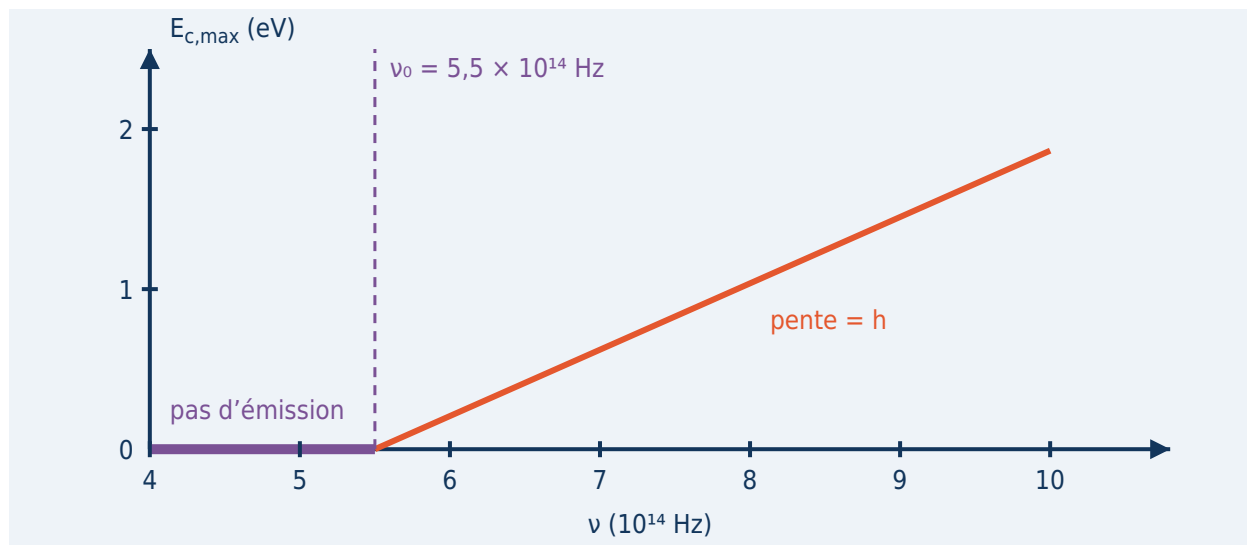
L'effet photoélectrique

Lorsqu'une lumière éclaire une plaque métallique, elle peut en arracher des électrons, mais seulement si sa fréquence est suffisante. Cet effet ne s'explique pas avec un modèle purement ondulatoire, mais très bien avec les photons. Chaque électron absorbe un seul photon ; il doit recevoir au moins l'énergie nécessaire pour quitter le métal, appelée **travail d'extraction W_0** (propre à chaque métal).

FORMULE À RETENIR

$$E_{c,max} = h \times \nu - W_0 \quad \text{avec} \quad \nu \geq \nu_0 = W_0 \div h$$

$E_{c,max}$: énergie cinétique maximale de l'électron émis ; ν_0 : fréquence seuil ; $\lambda_{seuil} = h c \div W_0$.



Aucun électron n'est émis sous la fréquence seuil ν_0 ; au-dessus, $E_{c,max}$ croît linéairement avec ν , avec une pente égale à h .

APPLICATION NUMÉRIQUE

Le sodium a un travail d'extraction $W_0 = 2,3$ eV. Sa longueur d'onde seuil vaut $\lambda_{seuil} = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 \div (2,3 \times 1,60 \times 10^{-19}) \approx \mathbf{5,4 \times 10^{-7} \text{ m}}$, soit 540 nm. Éclairé par une lumière de 400 nm (photon de 3,11 eV), il émet des électrons d'énergie cinétique maximale $E_{c,max} = 3,11 - 2,3 \approx \mathbf{0,8 \text{ eV}}$, soit une vitesse maximale de l'ordre de 5×10^5 m/s. Avec une lumière rouge ($\lambda = 700$ nm, 1,78 eV), aucun électron n'est émis, même très intense.

ERREUR FRÉQUENTE

L'intensité lumineuse ne change pas l'énergie d'un photon : elle augmente seulement le **nombre** de photons, donc le nombre d'électrons émis par seconde (le courant), jamais l'énergie cinétique maximale. Seule la fréquence détermine si l'effet a lieu.

L'essentiel à retenir

- La lumière est un flux de photons d'énergie $E = h \nu = h c \div \lambda$ ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s) ; $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J.
- L'énergie d'un atome est quantifiée : un photon émis ou absorbé a une énergie égale à l'écart entre deux niveaux.
- Absorption, émission spontanée et émission stimulée sont les trois interactions lumière-matière ; le laser repose sur l'émission stimulée et l'inversion de population.
- Effet photoélectrique : $E_{c,max} = h \nu - W_0$ pour $\nu \geq \nu_0$; en dessous du seuil, aucun électron n'est émis, quelle que soit l'intensité.