

La lumière, un flux de photons

Dualité onde-corpuscule :

<https://www.youtube.com/watch?v=N968DgSVLkg> (s'arrêter à 3min) ou sur l'ENT

La lumière est une onde : c'est le modèle ondulatoire de la lumière.

La longueur d'onde λ et la fréquence ν d'une radiation lumineuse sont liées par la relation : $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Dans le vide, la valeur de la vitesse de la lumière est $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$ valeur arrondie avec 3 CS à $3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

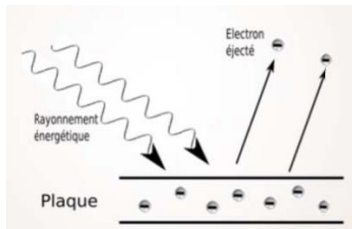
La lumière est également un flux de particules appelées photons : c'est le modèle particulaire de la lumière.

Un photon possède une masse nulle et se déplace à la vitesse de lumière.

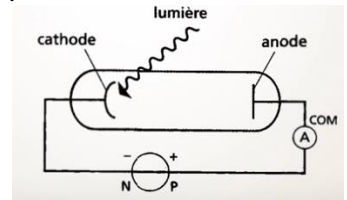
I. L'effet photoélectrique

1. Description

Ce phénomène a été découvert au XIXème siècle par le physicien Heinrich Hertz. Il n'a pas su l'expliquer avec le modèle ondulatoire de la lumière. L'explication a été faite par Einstein en 1905 à l'aide du modèle particulaire.



La lumière peut instantanément arracher des électrons à une plaque métallique. Pour mettre en évidence l'effet photoélectrique, on utilise un dispositif constitué d'une ampoule en verre dans laquelle on fait le vide et on place deux électrodes métalliques. Ces électrodes sont reliées à une pile. On mesure l'intensité du courant grâce à un ampèremètre



On s'intéresse à l'influence de la fréquence (ou longueur d'onde) des photons incidents et à celle de l'intensité du flux lumineux.

Caractéristiques

Simulation PHET :

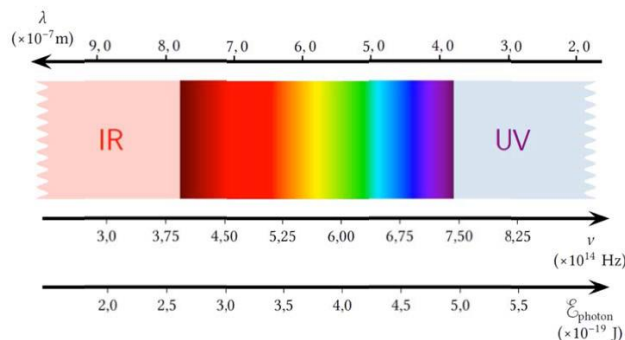
- Les électrons ne sont arrachés du métal que si les photons ont une longueur d'onde inférieure à une longueur d'onde seuil, donc une fréquence supérieure à une fréquence seuil.
- Si leur fréquence est suffisante, plus le nombre de photons incidents est important, plus le nombre d'électrons arrachés est grand et plus l'intensité du courant produite est élevée.

2. Énergie du photon

L'énergie E_{photon} d'un photon dépend de la fréquence : $E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

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

E_{photon} en J ; ν en Hz et c en m.s^{-1} et λ en m



L'effet photoélectrique est observé lorsque les photons incidents ont une énergie supérieure à l'énergie seuil E_s (caractéristique du métal).

$$\text{Exemple pour le mercure : } \lambda_s = 277 \text{ nm} \quad \nu_s = \frac{c}{\lambda_s} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{277 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1,08 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$E_{\text{photon}} = h \times \nu = 6,63 \times 10^{-34} \times 1,08 \times 10^{15} = 7,18 \times 10^{-19} \text{ J} = 4,49 \text{ eV}$$

Remarque : Autre unité utilisée dans les diagrammes d'énergie : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

3. Bilan énergétique de l'effet photoélectrique

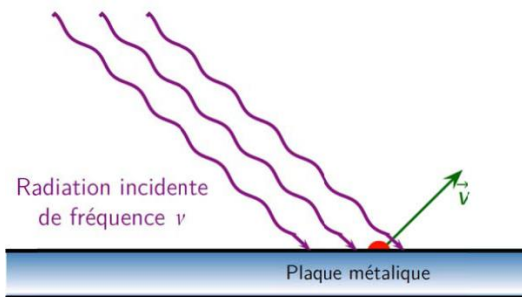
Ce bilan énergétique, établi par Einstein et traduisant la conservation de l'énergie, permet d'expliquer l'effet photoélectrique.

Les électrons d'un métal proche de la surface pouvant être extrait par effet photoélectrique sont appelés électrons libres.

L'énergie minimale à fournir à un métal pour extraire un électron libre proche de la surface est appelée **travail d'extraction $W_{\text{extraction}}$** .

Lors de l'effet photoélectrique, l'énergie minimale du photon permettant d'arracher un électron du métal est l'énergie d'extraction. $E_{\text{photon-minimale}} = W_{\text{extraction}}$

L'énergie du photon incident est transférée à l'électron pour l'extraire du métal et éventuellement lui permettre d'acquérir une vitesse V (ne pas confondre avec la fréquence ν).



$$E_{\text{photon}} = W_{\text{extraction}} + E_{c \text{ max}}$$

$$h \times \nu = W_{\text{extraction}} + \frac{1}{2} m_e V_{\text{max}}^2$$

Comme $W_{\text{extraction}} = h \times \nu_s = h \times c/\lambda$

Si $\nu < \nu_s$ ou si $\lambda > \lambda_s$, il ne se passe rien;

Si $\nu > \nu_s$ ou si $\lambda < \lambda_s$, l'effet photoélectrique se produit

Bilan énergétique [voir vidéo ENT](#), on remarque que plus la fréquence du photon incident est grande, plus la vitesse d'éjection de l'électron est importante.

II. Absorption et émission de photon

1. Absorption de photons par une cellule photoélectrique

Cellule photoélectrique : dispositif dont une propriété électrique est modifiée par l'absorption de photons

Exemples :

- Photorésistance : plus elle reçoit une lumière intense, plus sa résistance diminue. (utilisé pour un capteur de luminosité)
- Photodiode : plus elle reçoit une lumière intense, plus l'intensité du courant qui la traverse est grande (capteurs CCD des appareils photo ou caméra, utile en spectroscopie IR ou UV-visible pour l'analyse chimique)
- Cellules photovoltaïques : ce sont des générateurs qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique

Effet photovoltaïque avec dopage : https://www.youtube.com/watch?v=23i-v_tWTA

$$\eta = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{lum}}} = \frac{E_{\text{elec}}}{E_{\text{lum}}}$$

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport de la puissance (énergie) exploitable, récupérée en sortie divisée par la puissance (énergie) en entrée.

2. Émission de photons par une DEL

Une DEL est constituée de deux semi-conducteurs, l'un possédant un excès d'électrons (dopée n), l'autre possédant un déficit d'électrons (dopée p) appelés trous.

Le passage d'un électron de la zone n à la zone p ne se produit que si cet électron possède une énergie minimale ou énergie de seuil apportée par le générateur.

Lorsqu'un électron passe de la zone dopée n à la zone dopée p, il y a émission d'un photon au niveau de la zone de recombinaisons.

