

Chapitre 20

Description de la lumière par un flux de photons

L'interaction entre la lumière et la matière diffère selon la gamme de longueurs d'onde mise en jeu. Plusieurs exemples ont déjà été abordés au cours du programme de première, comme la spectroscopie UV ou IR et l'émission et l'absorption de photons. Le but de ce chapitre est de présenter d'autres phénomènes issus de ces interactions : l'effet photoélectrique, le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque ou encore d'une diode électroluminescente.

Le plan du chapitre sera le suivant

- Effet photoélectrique ([Vidéo](#))
- Effet photovoltaïque et autres applications

20.1 Effet photoélectrique

20.1.1 Définition

Albert Einstein a reçu le prix Nobel de physique en 1921 pour ses travaux sur la relativité et sur l'effet photoélectrique.

Effet photoélectrique

Lorsqu'un métal est soumis à un rayonnement électromagnétique d'éclairement ϵ (en W.m^{-2}) et de fréquence ν (en Hz), supérieure à une certaine fréquence caractéristique du métal, appelée **fréquence seuil ν_s** (en Hz), alors l'énergie $E = h\nu$ d'un photon permet d'arracher un électron à un atome de ce métal.

Il y a donc **conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique**.

20.1.2 Travail d'extraction

D'un point de vue mécanique, pour arracher l'électron à un atome, il faut exercer une force supérieure à l'interaction électrostatique attractive qui attache l'électron au noyau de l'atome. On définit alors le **travail d'extraction** qui correspond à l'énergie minimale que doit fournir un photon pour pouvoir arracher l'électron à l'atome.

Travail d'extraction

Le **travail d'extraction**, noté W_e (en J), correspond à l'énergie minimale apportée par un photon pour arracher un électron à l'atome métallique.

$$W_e = h\nu_s$$

W_e le travail d'extraction (en J)

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

ν_s la fréquence seuil du métal (en Hz)

20.1.3 Énergie cinétique de l'électron

Énergie cinétique de l'électron

Une fois arraché à l'atome, l'électron possède une énergie cinétique E_c (en J), correspondant à la différence entre l'énergie $h\nu$ apportée par le photon et le travail d'extraction nécessaire pour arracher l'électron :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = E - W_e = h(\nu - \nu_s)$$

20.1.4 Cellule photoélectrique

Une **cellule photoélectrique** permet de convertir l'énergie d'un rayonnement lumineux en énergie électrique. Elle est composée d'un circuit comprenant un générateur qui applique une certaine tension entre la cathode et l'anode d'une ampoule à vide. Lorsque l'on éclaire la cathode, si la fréquence du rayonnement est supérieure à la fréquence seuil du métal constituant, alors des électrons sont émis et accélérés d'une force électrique $\vec{F} = -e\vec{E}$, où \vec{E} est le champ électrique régnant entre la cathode et l'anode. On génère ainsi un courant électrique.

20.2 Autres applications

20.2.1 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque, semblable à l'effet photoélectrique, repose sur l'utilisation de matériaux appelés **semi-conducteurs**. Dans un solide, les électrons se situent sur des couches électroniques qui possèdent un certain niveau d'énergie. Les niveaux accessibles en théorie pour un type d'atomes sont appelés les états électroniques. La différence entre un métal conducteur, un semi-conducteur et un isolant repose sur l'écart énergétique qui existe entre la bande dite de valence (valeurs d'énergie des états fondamentaux des électrons) et la bande dite de conduction (états excités théoriquement accessibles par les électrons).

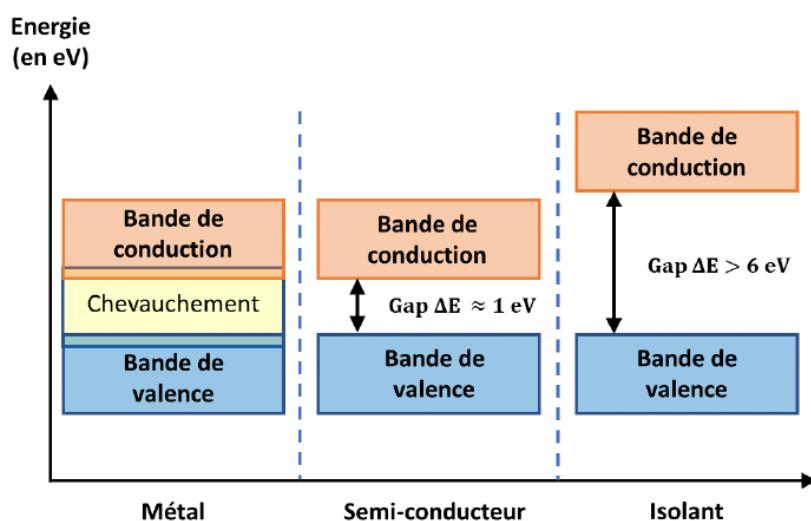


Figure 20.1 – Diagramme illustrant la différence entre les niveaux d'énergie pour un métal, un semi-conducteur et un isolant.

Pour un métal, la bande de valence et celle de conduction se chevauchent, assurant un libre passage des électrons de l'une à l'autre. Pour un isolant, le gap énergétique entre les deux bandes est trop grand pour que l'on puisse faire passer un électron de sa bande de valence à sa bande de conduction.

Pour les semi-conducteurs, le gap énergétique est relativement faible. Ainsi, à l'état naturel, les semi-conducteurs se comportent comme des isolants. Mais lorsqu'on leur apporte une énergie lumineuse suffisante, les électrons peuvent s'exciter et atteindre la bande de valence dans laquelle ils vont pouvoir circuler d'un atome à l'autre. Le matériau devient conducteur : c'est l'**effet photovoltaïque**.

Effet photovoltaïque

Lorsqu'on éclaire un semi-conducteur avec un rayonnement électromagnétique d'énergie suffisante, un courant électrique s'installe dans le matériau : c'est l'**effet photovoltaïque**.

20.2.2 Rendement d'une cellule photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques utilisent l'énergie lumineuse provenant du Soleil pour la convertir en électricité. Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre la puissance utile et la puissance reçue. La puissance utile correspond ici à la puissance électrique délivrée en sortie de la cellule, et la puissance reçue est la puissance lumineuse éclairant la cellule.

Rendement cellule photovoltaïque

Le rendement η d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre la puissance électrique générée $P_{él}$ (en W) et la puissance lumineuse reçue P_l . Cette puissance lumineuse est égale au produit de l'éclairement ϵ (puissance surfacique en W.m^{-2}) et de la surface éclairée :

$$\eta = \frac{P_{él}}{P_l} = \frac{P_{él}}{\epsilon S}$$

20.2.3 Diode électroluminescente (DEL)

Diode électroluminescente (DEL)

Une **diode électroluminescente (DEL)** fonctionne à l'inverse de la cellule photovoltaïque : les électrons, qui se désexcitent pour revenir à leur état fondamental dans la bande de valence, émettent un photon lumineux. Il y a **conversion d'énergie électrique en énergie lumineuse**.

20.2.4 Spectroscopie UV-visible et IR

Spectroscopie UV-visible et IR

Les techniques de **spectroscopie UV-visible et infrarouge (IR)** reposent sur l'interaction lumière matière. La spectroscopie UV-visible permet d'identifier les transitions électroniques en jeu dans l'échantillon analysé (donc sa couleur). La spectroscopie IR met en jeu des énergie de vibration et rotation des liaisons chimiques, offrant une information quant à la nature des liaisons chimiques présentes dans l'échantillon analysé.