

C16(18) Interaction lumière-matière

- La lumière peut être décrite comme une **onde électromagnétique**.

La partie visible correspond aux ondes dont la longueur d'onde dans le vide λ est comprise entre 400 nm (violet) et 800 nm (rouge).

- La longueur d'onde dans le vide λ et la célérité c de l'onde électromagnétique sont liées par la formule :

$$\lambda = cT$$

où c est la célérité de la lumière dans le vide ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

- La période T et la fréquence ν d'une onde sont reliées par la formule :

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \left| \begin{array}{l} \nu \text{ en hertz (Hz)} \\ T \text{ en secondes (s)} \end{array} \right.$$

- On en déduit la relation : $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Exemple

Une onde lumineuse de couleur jaune est périodique de période $T = 1,97 \times 10^{-15} \text{ s}$.

La fréquence correspondante est égale à :

$$\nu = \frac{1}{1,97 \times 10^{-15}} = 5,08 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

C16V1

- La lumière peut être décrite comme un ensemble de particules appelées **photons**. Un photon est un **quantum d'énergie** indivisible.

- Chaque photon transporte une énergie E proportionnelle à la fréquence ν de l'onde considérée.

Cette énergie est donnée par la relation :

$$E = h\nu \quad \left| \begin{array}{l} E \text{ en joules (J)} \\ \nu \text{ en hertz (Hz)} \end{array} \right.$$

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

Conversions

L'énergie transportée par le photon est souvent exprimée en électron-volts (eV) :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Exemple

Un photon d'énergie $E = 2,34 \times 10^{-19} \text{ J}$ possède une énergie égale à :

$$E = \frac{2,34 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}} = 1,46 \text{ eV}$$

Sa fréquence vaut :

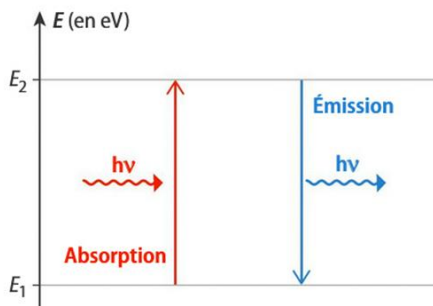
$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{2,34 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 3,53 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Sa longueur d'onde vaut :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{3,53 \times 10^{14}} = 850 \text{ nm}$$

C16V2

- Les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés et représentés sur un diagramme de niveaux d'énergie.



- Un atome au niveau d'énergie E_1 passe au niveau d'énergie $E_2 > E_1$ lorsqu'il absorbe (flèche rouge sur le diagramme ci-contre) un photon de fréquence ν telle que $\Delta E_{21} = E_2 - E_1 = h\nu$.

- Un atome au niveau d'énergie E_2 passe au niveau d'énergie $E_1 < E_2$ lorsqu'il émet (flèche bleue sur le diagramme ci-contre) un photon de fréquence ν telle que $\Delta E_{21} = E_2 - E_1 = h\nu$.

- Le spectre d'émission d'un atome met en évidence les raies d'émission correspondant aux transitions énergétiques d'émission de l'atome.

C16V3

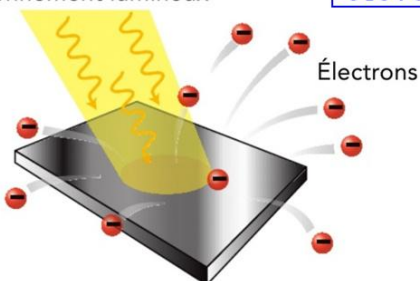
Exemple:

C16V4

Un laser hélium-néon émet une lumière rouge de longueur d'onde $\lambda = 632 \text{ nm}$ et de fréquence $\nu = 4,75 \times 10^{14} \text{ Hz}$. L'énergie transportée par chaque photon vaut $E = h\nu = 6,63 \times 10^{-34} \times 4,75 \times 10^{14} = 3,15 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Rayonnement lumineux

C16V5



Exemple:

C16V6

Le travail d'extraction d'un électron du zinc vaut $W_{\text{ext}} = 3,3 \text{ eV} = 5,3 \times 10^{-19} \text{ J}$.

La fréquence seuil vaut donc $\nu_s = \frac{W_{\text{ext}}}{h} = \frac{5,3 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 8,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

Exemple:

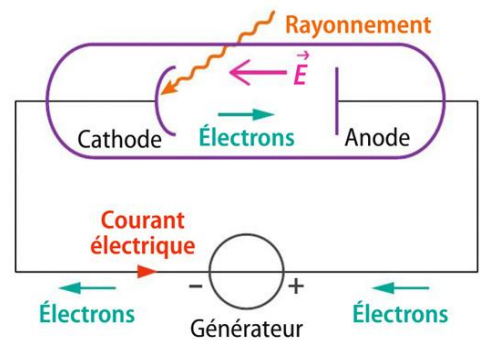
C16V7

Une source ultraviolette de fréquence $\nu = 1,2 \times 10^{15} \text{ Hz}$ est braquée vers une plaque de zinc de fréquence seuil $\nu_s = 8,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

Les électrons émis ont une énergie cinétique :

$$E_c = h(\nu - \nu_s) = 6,63 \times 10^{-34} \times (1,2 \times 10^{15} - 8,0 \times 10^{14}) = 2,7 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- Dans une ampoule à vide, un champ électrique $\vec{E}$ s'établit entre l'anode reliée au pôle positif et la cathode reliée au pôle négatif d'un générateur.
- L'espace vide est isolant et, en l'absence de lumière, l'intensité du courant électrique qui circule dans le circuit est nulle.
- Lorsque l'on soumet la cathode à un faisceau lumineux de fréquence supérieure à la fréquence seuil du métal, elle émet des électrons de charge $-e$; ils subissent la force électrique $\vec{f} = -e\vec{E}$ qui leur donne un mouvement accéléré de la cathode vers l'anode où ils sont captés, puis ils parcourent le circuit et rejoignent la cathode, créant ainsi un courant électrique



C16V8

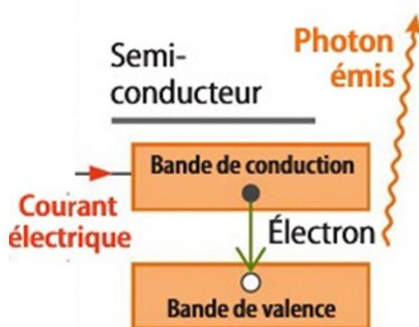
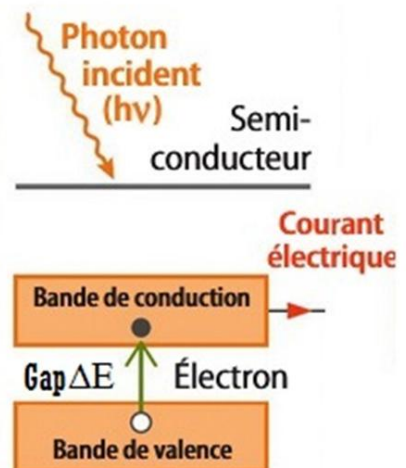
- Dans un solide, l'énergie des électrons est quantifiée, tout comme dans un atome. Les niveaux d'énergie autorisés pour les électrons se regroupent en paquets, appelés « bandes », et sont séparés par des « bandes interdites ».
- Lorsque le matériau est à son énergie minimale, les électrons sont dans la **bande de valence**.
- Le courant électrique ne peut circuler dans un matériau que si un ou plusieurs électrons sont mobiles, et peuvent ainsi se déplacer dans le matériau. Pour cela, ils doivent se trouver la **bande de conduction**.

Si les deux bandes se chevauchent, le matériau est **conducteur**.

Si elles ne se chevauchent pas, l'écart énergétique ΔE entre les deux bandes est appelé le **gap** (doc. 7) : cela correspond à une bande d'énergies interdites.

Si ΔE est grand, le matériau est **isolant**. Si ΔE est petit, le matériau est **semi-conducteur*** et l'absorption d'un photon d'énergie $h\nu$ au moins égale à ΔE permet à un électron de rejoindre la bande de conduction. Le matériau devient alors conducteur de l'électricité. Si $h\nu$ est strictement supérieure à ΔE , l'énergie excédentaire est communiquée aux électrons et un courant électrique s'établit dans le matériau.

C16V9



C16V11

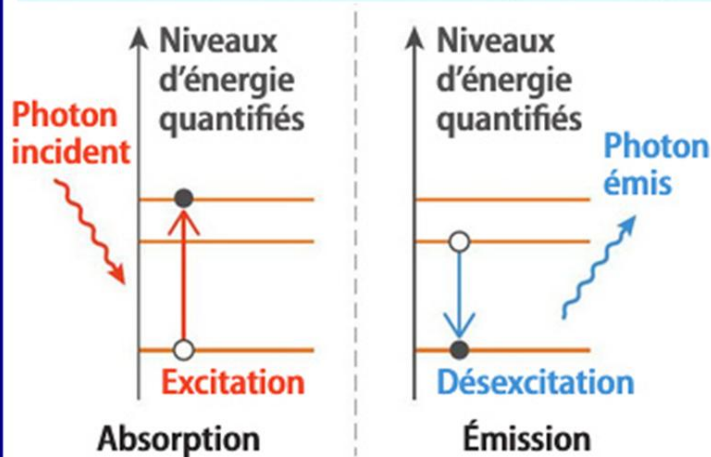
Les diodes électroluminescentes ont un bien meilleur rendement énergétique que les ampoules à incandescence.

Exemple:

C16V10

Afin de déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque d'aire $S = 20 \text{ cm}^2$, on teste son fonctionnement en braquant sur elle une lampe de bureau, dont l'éclairement vaut $\varepsilon = 800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. La tension aux bornes de la cellule est $U = 10 \text{ V}$ et elle délivre un courant d'intensité $I = 29 \text{ mA}$. Le rendement de la cellule vaut $\eta = \frac{P_{\text{el}}}{\varepsilon S} = \frac{UI}{\varepsilon S} = \frac{10 \times 29 \times 10^{-3}}{800 \times 20 \times 10^{-4}} = 0,18$.

La **spectroscopie** est l'étude des spectres d'absorption ou d'émission d'un échantillon soumis à un rayonnement électromagnétique. En déterminant les longueurs d'onde des photons absorbés ou émis, on détermine les atomes ou liaisons moléculaires qui figurent dans l'échantillon. C'est donc un procédé précieux d'**analyse chimique**.



Un atome ne peut absorber qu'un photon qu'il est susceptible d'émettre. Il y a complémentarité entre les spectres d'émission (a) et d'absorption (b), ici ceux de l'atome d'hydrogène.

 C16R4 spectre d'atome

C16V12