

# Chapitre IV INTERACTION LUMIERE - MATIERE : LE PHOTON

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES
Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie. Spectre solaire.	Convertir les unités d'énergie : joule et électronvolt. Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ . Les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie. Connaître l'origine du spectre solaire.

## I. Lumière et énergie

Le rayonnement électromagnétique, dont la lumière est un exemple, est l'une des formes de l'**énergie**. C'est une onde, c'est-à-dire un phénomène ondulatoire, caractérisée par :

- une vitesse de propagation  $c$  ;
- une fréquence  $\nu$  (nombre d'oscillations par seconde) ;
- une longueur d'onde  $\lambda$  (distance parcourue pendant les temps d'une oscillation).

Comme la fréquence est aussi le nombre de longueurs d'onde parcourues pendant une seconde, ces trois grandeurs sont liées par la relation :

$$c = \lambda \times \nu$$

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide est toujours la même. C'est une constante universelle qui a été déterminée avec une grande précision et vaut :  $c = 2,997\,925 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

### Emission et absorption du rayonnement par la matière

De nombreux faits d'observation plus ou moins courants montrent qu'il peut se produire des échanges d'énergie entre la matière et le rayonnement, dans les deux sens :

- *émission* : toutes les sources lumineuses, soleil, ampoules à incandescence, tubes "fluo", flammes, vers luisants, témoignent que, dans certaines conditions, la matière peut émettre (produire) du rayonnement visible. Dans d'autres domaines, les lampes à bronzer émettent du rayonnement ultraviolet, les fours à micro-ondes produisent un rayonnement hertzien de très courte longueur d'onde, les antennes des émetteurs de radio ou de télévision envoient dans l'espace des ondes hertziennes de longueurs d'ondes variées ;
- *absorption* : l'échauffement d'un objet au soleil, ou celui des aliments dans un four à micro-ondes, l'absorption des rayons X par les parties denses du corps (os) qui apparaissent ainsi en clair sur les radiographies, le phénomène de la couleur, indique que l'énergie d'un rayonnement peut être absorbée par la matière. Cette absorption se traduit souvent par une élévation de température, mais elle peut aussi avoir des effets chimiques, en provoquant des réactions photochimiques.

Source : Paul Arnaud et al., Chimie Physique, Dunod, 2001, p53-54

Lire livre p77 : 1. Onde lumineuse et énergie

## II. La lumière : onde ou particule ?

### A/ Effet photoélectrique

 <http://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric> -> **télécharger** puis ouvrir avec [Java](#)

**Principe :** Certains métaux soumis à des radiations lumineuses produisent du courant électrique : ceci constitue l'effet photoélectrique.

(Les électrons émis peuvent être récupérés par une électrode, et un courant électrique peut être mis en évidence.  $K$  représente la plaque métallique et  $A$  l'électrode. Les électrons émis, soumis à la tension entre  $A$  et  $K$  peuvent alors atteindre l'électrode  $A$ . La valeur de l'intensité  $I$  du courant est proportionnelle au nombre d'électrons atteignant l'électrode  $A$  chaque seconde.)

👉 **Simulation :** Choisir une plaque métallique  $K$ , ou "target" (= cible en anglais), en sodium et régler la tension aux bornes de la pile sur  $U = 3,00\text{ V}$

👉 **Cas 1 :** Choisir une radiation violette ( $\lambda = 400\text{ nm}$ ), partir d'une intensité lumineuse nulle, et l'augmenter progressivement.

📎 Qu'observez-vous ?

$I$  augmente avec l'intensité lumineuse. Plus le métal reçoit de l'énergie lumineuse, plus le nombre d'électrons éjectés, et atteignant l'électrode  $A$ , est grand.

Lorsque  $K$  n'est pas éclairé, aucun électron n'est éjecté, il n'y a donc aucun courant qui circule ( $I = 0$ ).

👉 **Cas 2 :** Intensité lumineuse à 50 % du max. Faire varier  $\lambda$  sur toute l'étendue des valeurs disponibles.

📎 Qu'observez-vous ?

$I$  augmente avec  $\lambda$ , jusqu'à  $\lambda = 197\text{ nm}$ , puis diminue ensuite jusqu'à devenir nul au-delà de  $526\text{ nm}$ .

👉 **Cas 3 :**  $\lambda = 600\text{ nm}$  (orangé). Faire varier l'intensité lumineuse.

📎 Qu'observez-vous ?

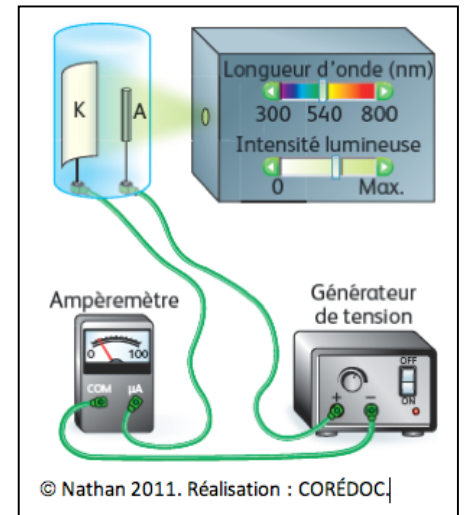
Quelle que soit la valeur de l'intensité lumineuse,  $I$  reste nul : aucun électron n'est arraché à cette longueur d'onde.

Deux hypothèses sont proposées pour expliquer les résultats précédents.

- **Hypothèse A :** L'énergie lumineuse est transmise en continu aux électrons par le faisceau lumineux. Un électron peut être éjecté hors du métal lorsqu'il a accumulé assez d'énergie.
- **Hypothèse B :** L'énergie lumineuse est transmise aux électrons par collision avec des grains de lumière, appelés **photons**. L'énergie d'un **photon** dépend uniquement de la longueur d'onde de la radiation. **Un électron** peut être éjecté s'il entre en collision avec **un photon** d'énergie suffisante mais il ne peut pas accumuler l'énergie de plusieurs photons.

📎 Pourquoi seule l'hypothèse B justifie à la fois les résultats du **cas 2** et du **cas 3** ?

Si l'énergie lumineuse était transmise en continu, et accumulée par les électrons, comme le suggère l'**Hypothèse A**, alors des électrons devraient être arrachés dans le **Cas 3** (ce qui n'arrive pas). L'énergie lumineuse est, en fait, transmise par paquets, ou **photons**, comme l'explique l'**Hypothèse B**. Ainsi, si les photons émis possèdent une énergie trop faible, ou trop élevée, ils ne pourront pas arracher d'électrons. Cette hypothèse explique pourquoi dans le **Cas 3**, on observe une valeur maximum de  $I$  pour une longueur d'onde donnée. Cette longueur d'onde correspond aux photons dont l'énergie permet d'arracher un maximum d'électrons de la plaque de sodium.



### À retenir :

- Les transferts d'énergie entre matière et lumière sont **discontinus** ou **quantifiés**. Ils ne peuvent se faire que par "paquet" ou **quantum** d'énergie.
- Un **quantum** d'énergie lumineuse est appelé **photon**.
- L'énergie  $\Delta E$  d'un photon est donnée par la relation :

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

où  $\nu$  est la fréquence de la radiation émise ou absorbée et  $h$  une constante universelle, la constante de Planck :  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

- La nature de la lumière est à la fois **ondulatoire** (longueur d'onde des radiations lumineuses) et **corpusculaire** (constituée particules de *masse nulle* : les photons)



Remarque : cela ne signifie pas que les électrons sont tantôt des particules et tantôt une onde, ni qu'ils sont à la fois onde et particules. Mais en l'absence de théorie unitaire à leur sujet, on ne peut rendre compte de leurs comportements qu'en les considérant soit comme des particules, soit comme des ondes, selon les phénomènes étudiés.

## III. Quantification des niveaux d'énergie

### A/ Quantification des niveaux d'énergie de l'atome

👉 <http://phet.colorado.edu/en/simulation/hydrogen-atom> -> « experiment », sélectionner une lumière monochromatique bleue ( $\lambda = 480 \text{ nm}$ ) et « turn on the gun ».

✎ Que représentent les points lumineux observés ? **Des photons.**

✎ Calculer  $\nu$  (fréquence de cette lumière) puis  $\Delta E$  (énergie transportée par chacun de ces points lumineux) en Joule et en électronvolt ( $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

$$\lambda = c/\nu \Leftrightarrow \nu = c/\lambda = 3,00 \cdot 10^8 / 480 \cdot 10^{-9} = 6,25 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\Delta E = h\nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 6,25 \cdot 10^{14} = 4,14 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,60 \text{ eV}$$

👉 Sélectionner la lumière blanche.

✎ Pourquoi apparaissent des points de couleurs différentes ?

Ce sont des photons correspondant à différentes longueurs d'ondes.

👉 Choisir « Prediction » puis modèle de « Bohr » (avec une vitesse d'animation moyenne : échelle en bas)

✎ A quoi correspondent les cercles autour du noyau? Où est placé l'électron initialement ?

Les cercles correspondent aux différents niveaux d'énergie de l'atome. Initialement, l'électron se situe au niveau d'énergie le plus bas : il est dans son **état fondamental**.

👉 Visualiser les niveaux d'énergie de l'électron « Show electron energy level diagram ».

✎ Puis expliquer ce qui se produit lorsque l'électron de l'atome d'hydrogène change d'« orbite ».

Lorsque l'atome absorbe un photon, l'électron peut passer à niveau d'énergie supérieur, dans un **état excité**. En revenant à un état de plus basse énergie, ou à l'état fondamental, l'électron émet un photon. Ces changements de niveau d'énergie s'appellent des **transitions** électroniques.

✎ Les niveaux d'énergie sont-ils régulièrement espacés ?

Les niveaux d'énergie ne sont pas régulièrement espacés, ils sont **quantifiés**. Les niveaux d'énergies d'un atome ne peuvent prendre que des **valeurs discrètes**.

👉 Allumer le spectromètre (et le laisser ouvert)

✎ Décrire et essayer de donner une explication à ce que vous observez.

Le spectrophotomètre compte le nombre de photon émis pour une longueur d'onde donnée. Les photons ne sont émis que pour certaines *longueurs d'ondes précises* qui correspondent aux énergies de transition de l'électron. (Ce phénomène explique l'aspect des spectres de raies d'émission des atomes)

## B/ Interprétation des spectres atomiques

- 👉 Spectres d'émission : [www.ostralo.net](http://www.ostralo.net). Choisir l'élément hydrogène. Augmenter la luminosité.
- ✎ Les longueurs d'onde des radiations émises par l'atome sont-elles distribuées de façon continue ou discontinue ?  
Les longueurs d'ondes des radiations émises par l'atome sont distribuées de façon discontinue.
- ✎ Comparer ce spectre à celui obtenu dans le logiciel précédent qualitativement et quantitativement ( $\lambda$ ).  
Les radiations de ce spectre correspondent exactement aux longueurs d'ondes du logiciel précédent. La radiation la plus intense ( $\lambda = 656 \text{ nm}$ ) est celle pour laquelle le nombre de photons émis est le plus grand.
- ✎ Pour chaque radiation émise, calculer la fréquence  $\nu$  correspondant à la longueur d'onde  $\lambda$  puis l'énergie  $\Delta E$ . Comparer cette dernière à la valeur donnée par le logiciel.  
Chaque radiation émise correspond à une transition électronique.

$\lambda$ (nm)	$\nu$ (Hz)	$\Delta E$ (eV)	transition
410	$7,30 \cdot 10^{14}$	3,03	n = 6 -> n = 2
434	$6,91 \cdot 10^{14}$	2,87	n = 5 -> n = 2
486	$6,17 \cdot 10^{14}$	2,56	n = 4 -> n = 2
656	$4,57 \cdot 10^{14}$	1,90	n = 3 -> n = 2

- 👉 Spectres d'absorption : [www.ostralo.net](http://www.ostralo.net) -> Animation en physique -> Optique -> Comparaison des spectres émission et d'absorption. Choisir l'hydrogène H, le sodium Na, puis le mercure Hg.
- ✎ En comparant les spectres d'émission et d'absorption, que peut-on conclure ?  
Les raies des spectres d'absorption sont situées aux mêmes longueurs d'ondes que celles des spectres d'émission. Les photons absorbés par l'atome ont la même énergie que ceux émis.

## C/ Spectre solaire

- 👉 Spectre solaire : [www.ostralo.net](http://www.ostralo.net) Animation en physique -> Optique -> Etude des spectres.
- ✎ Décrire le spectre solaire. Quels éléments contient-il ? Tester H, Na, Mg, Ca, Fe.  
Le spectre solaire est constitué d'un **fond continu**, dû au rayonnement thermique émis par la *photosphère*, auquel se superpose un **spectre de raies d'absorption**, dû au gaz de la *chromosphère*. Le soleil contient essentiellement de l'hydrogène, et de l'hélium, mais aussi du sodium, du magnésium...  
Schéma du soleil (photosphère et chromosphère) :

