

CHAPITRE 20 : LA LUMIÈRE EN TANT QUE FLUX DE PHOTONS

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Mai 2021

THÈME 4 - CHAPITRE 20 : LA LUMIÈRE EN TANT QUE FLUX DE PHOTONS

I. Modèle corpusculaire de la lumière

1. Insuffisance du modèle ondulatoire
2. Le photon : particule de lumière

II. Quantification des niveaux d'énergie dans les atomes

1. Niveaux d'énergie des atomes
2. Transitions atomiques

III. Interactions entre un photon et un atome

1. Spectres de raies des atomes
2. Interprétation des spectres de raies
3. Remarques

THÈME 1 - CHAPITRE 20 : LA LUMIÈRE EN TANT QUE FLUX DE PHOTONS

IV. Effet photoélectrique

V. Cellule photovoltaïque

**VI. Autres applications actuelles de l'interaction
photon-matière**

I. Modèle corpusculaire de la lumière

1. Insuffisance du modèle ondulatoire

- La lumière est une onde électromagnétique caractérisée par sa fréquence ν ou sa longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$.
- Ce modèle permet de bien expliquer un certain nombre de phénomènes tels la dispersion, la diffraction, les interférences, optique géométrique, etc
- En revanche, il ne permet pas de rendre compte d'autres phénomènes comme le rayonnement thermique du corps noir, l'interaction entre lumière et matière (effet photoélectrique par exemple), les spectres de raies des atomes, etc

I. Modèle corpusculaire de la lumière

2. Le photon : particule de lumière

- En 1900, Max Planck établit la théorie des quanta selon laquelle les échanges d'énergie entre lumière et matière se font par paquets d'énergie appelés quanta
- Un quantum d'énergie contient une énergie (en joule J) proportionnelle à la fréquence de l'onde (en hertz Hz) de sorte que : $E = h \cdot \nu$ où $h = 6,626076 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ est appelée constante de Planck.
- Puisque $\nu = \frac{c}{\lambda_0}$, cette relation peut aussi s'écrire : $E = \frac{h \cdot c}{\lambda_0}$

I. Modèle corpusculaire de la lumière

2. Le photon : particule de lumière

- En 1905, Albert Einstein établit que cette énergie est portée par une particule appelée photon (ou grain de lumière).

Conclusion

À une onde électromagnétique de fréquence ν est associée une particule appelée photon véhiculant une énergie $E = h \cdot \nu$. La lumière a donc un double aspect ondulatoire et corpusculaire. On parle de dualité onde-corpuscule.

II. Quantification des niveaux d'énergie dans les atomes

1. Niveaux d'énergie des atomes

- Comme tout système physique, un atome possède une énergie qui résulte notamment des interactions électrons/noyau stabilisantes (car attractives) et des interactions électron/électrons répulsives.
- Contrairement aux systèmes physiques à notre échelle, l'énergie d'un atome ne peut pas prendre n'importe quelle valeur mais seulement certaines valeurs **discrètes** (c'est-à-dire formant une suite discontinue). Ces valeurs d'énergie sont appelées niveaux d'énergie.
- On dit ainsi que l'énergie des atomes est quantifiée.

II. Quantification des niveaux d'énergie dans les atomes

1. Niveaux d'énergie des atomes

Définition : état fondamental

Le niveau de plus basse énergie correspond à l'atome dans son état stable. On parle d'état fondamental.

Définition : états excités

Les niveaux d'énergie supérieure à celle de l'état fondamental sont appelés états excités.

Définition : l'électronvolt

L'électronvolt est une unité d'énergie adaptée à l'échelle des atomes. $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

II. Quantification des niveaux d'énergie dans les atomes

2. Transitions atomiques

- Lorsqu'un atome reçoit de l'énergie (collision avec un électron projectile ou absorption d'un photon par exemple), il peut passer de son état fondamental à un état excité ; on parle alors d'absorption.
- Lorsqu'un atome est dans un état excité (donc instable), il peut se désexciter en rendant une partie de son énergie : il passe d'un état excité à un état plus stable, d'énergie plus faible ; on parle alors d'émission.
- Ces deux phénomènes d'absorption et d'émission sont appelés des transitions atomiques.

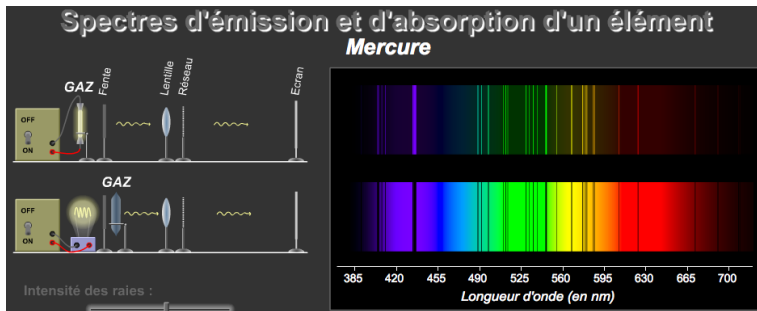
Conclusion

Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés. L'atome peut absorber ou émettre de l'énergie au cours de transitions atomiques.

III. Interactions entre un photon et un atome

1. Spectres de raies des atomes

- Les atomes présentent des spectres d'émission ou d'absorption comportant de très fines raies (colorées sur fond noir ou noires sur fond coloré).
- Les spectres d'émission et d'absorption étant complémentaires, on en déduit qu'un atome ne peut absorber que la lumière qu'il est capable d'émettre et vice versa.



III. Interactions entre un photon et un atome

2. Interprétation des spectres de raies

- Quand un atome est dans son état fondamental, il ne peut absorber qu'un paquet d'énergie l'amenant vers un de ses états excités. Pour qu'un photon puisse être absorbé par l'atome il faut que l'énergie du photon soit rigoureusement égale à la différence ΔE entre deux niveaux de l'atome (entre son état fondamental et un état excité).
- Quand l'atome est excité, il ne peut redescendre que vers l'un de ses états plus stables (qui sont quantifiés) et restituera donc un paquet d'énergie (quantum) égal à ΔE .

Conclusion

Un atome ne peut absorber ou émettre un photon d'énergie $h \cdot \nu$ que si cette énergie correspond exactement à une transition possible de l'atome entre deux de ses niveaux d'énergie :

$$|\Delta E| = |E_f - E_i| = h \cdot \nu$$

III. Interactions entre un photon et un atome

3. Remarques

- Si un photon apporte une énergie telle que $h \cdot \nu = |E_0|$, alors l'atome est ionisé : un électron est arraché à l'atome et il est libéré des interactions avec le noyau en étant au repos.
- Si un photon apporte une énergie telle que $h \cdot \nu > |E_0|$, alors l'atome absorbe une énergie $|E_0|$, il est aussi ionisé mais l'électron est produit avec une vitesse non nulle et emporte avec lui le reste de l'énergie, à savoir $E_{e^-} = h \cdot \nu - |E_0|$.
- Si un électron percute un atome (lors d'une décharge électrique par exemple), l'atome peut absorber une partie seulement de l'énergie de l'électron pour subir une transition (absorption) et l'électron repart avec une énergie plus faible. En effet, l'énergie d'un électron n'est pas quantifiée : elle peut prendre n'importe quelle valeur.

III. Interactions entre un photon et un atome

3. Remarques

- Les spectres atomiques sont comme l'empreinte digitale d'un élément chimique, ce qui permet d'avoir des renseignements sur la composition de la matière à partir de l'analyse spectrale de la lumière reçue.
- La lumière en provenance du Soleil présente un spectre de raies d'absorption qui permet d'obtenir des informations quant à la composition chimique de la couche externe du Soleil.

IV. Effet photoélectrique

Définition

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau, le plus souvent métallique, lorsque celui-ci est exposé à la lumière ou à un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisante et dépendante du matériau.

Interprétation

L'effet photoélectrique peut être interprété comme une collision entre un photon et un électron du métal. En vertu de la conservation de l'énergie, l'énergie $h \times \nu$ apportée par le photon est égale à la somme de l'énergie d'extraction de l'électron W_{ex} et de l'énergie cinétique E_C de l'électron extrait après le choc : $h \times \nu = W_{ex} + E_C$.

IV. Effet photoélectrique

Remarque

Augmenter l'intensité de la source lumineuse ou la durée d'exposition ne change pas l'énergie des photons mais seulement leur nombre. Les photons n'étant absorbés qu'un par un, cela permet d'expliquer les différentes propriétés de l'effet photoélectrique.

V. Cellule photoélectrique

Définition

Encore appelée cellule photovoltaïque, il s'agit d'un composant électronique produisant du courant électrique continu à partir du rayonnement solaire qui arrive sur le composant.

Fonctionnement

Lorsque le matériau semi-conducteur est exposé à des photons d'énergie suffisante, un photon arrache un électron, créant à sa place une lacune appelée un trou. Une tension électrique entre les deux faces du composant permet de séparer cet électron et ce trou et de les faire migrer en sens contraire de sorte à produire le courant électrique.

Rendement

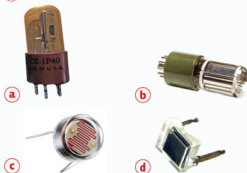
Le rendement d'une cellule photovoltaïque est le rapport de l'énergie électrique produite à l'énergie radiative reçue :

$$\eta = \frac{\text{énergie électrique produite}}{\text{énergie radiative reçue}}$$

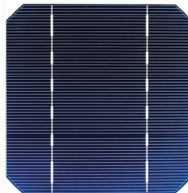
VI. Autres applications actuelles de l'interaction photon-matière

DOC. 1 Capteurs de lumière

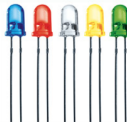
Capteurs de lumière utilisant : **a** une cellule photoélectrique ; **b** un photomultiplicateur ; **c** une photorésistance ; ou **d** une photodiode.



DOC. 2 Production d'électricité avec une cellule photovoltaïque



DOC. 3 Production de lumière avec une diode électroluminescente (DEL)



DOC. 4 Spectroscopie

Spectroscopie : **a** UV-visible ; **b** infrarouge.



EXERCICES

PP471-477 n°21, 22, 28 et 31