

Chapitre 18- Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

LES ondes électromagnétiques constituent l'une des deux grandes familles d'ondes avec les ondes mécaniques (cf. chapitre 16). Contrairement à ces dernières, les ondes électromagnétiques ont notamment la capacité de se propager dans le vide. Depuis le début du XX^e siècle et les travaux de Max Planck et Albert Einstein, la lumière peut être décrite aussi selon un modèle particulaire. L'objet de ce chapitre est de décrire à la fois le modèle ondulatoire et le modèle corpusculaire de la lumière, ainsi que de présenter certains mécanismes des interactions entre lumière et matière.

18.1 Modèle ondulatoire de la lumière

18.1.1 Lumière visible

La figure 18.1 montre le spectre électromagnétique avec les différentes classes d'ondes qui le compose, dont la lumière visible.

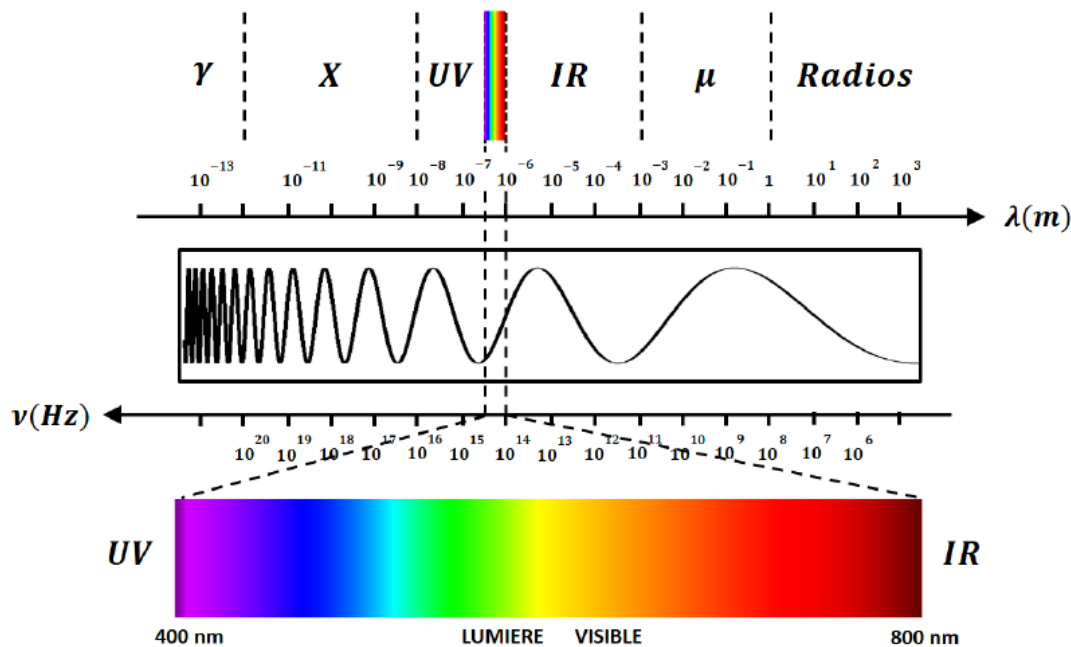


Figure 18.1 – Spectre électromagnétique

Lumière visible

La lumière représente la partie visible du spectre électromagnétique, c'est à dire celle que l'oeil humain est capable de détecter. Les couleurs décrivent l'arc en ciel du violet au rouge. Les domaines de longueur d'onde λ ou de fréquence ν correspondants sont les suivants :

$$\lambda \in [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}]$$

$$\nu \in [4.10^{14} \text{ Hz} ; 8.10^{14} \text{ Hz}]$$

18.1.2 Fréquence, longueur d'onde et célérité

Fréquence - Longueur d'onde - Célérité

Tout comme les ondes mécaniques, on définit la longueur d'onde λ (en m), la fréquence ν (en Hz) et la célérité c (en m.s^{-1}) d'une onde électromagnétique. Ces trois grandeurs sont reliées par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Remarque : La lumière visible, comme toutes les ondes électromagnétiques, peut se propager dans les milieux matériels, **mais aussi dans le vide**.

La célérité de la lumière dans le vide est la même pour toutes les ondes électromagnétiques et vaut $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

18.2 Modèle corpusculaire de la lumière

18.2.1 Photon

Le modèle ondulatoire de la lumière ne permet pas d'expliquer tous les phénomènes où elle intervient, comme par exemple son interaction avec la matière. On peut alors définir la lumière comme un flux de particules élémentaires appelées **photons**. Ces photons sont des particules énergétiques, de **masse nulle**. Chaque photon transporte une certaine quantité d'énergie appelée **quantum d'énergie**.

Energie d'un photon

Pour une radiation électromagnétique de fréquence ν , de longueur d'onde λ et de célérité c , chaque photon transporte une quantité d'énergie E (en J) définie par :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s}$ la constante de Planck

Remarque : Les énergies en jeu à l'échelle d'un photon étant très faibles, on utilise une autre unité : l'**électron-volt**. Il est défini par : $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$.

18.2.2 Dualité onde-particule

Le comportement de la lumière se décrit via un modèle ondulatoire ou bien corpusculaire (particulaire). Les deux modèles sont valables, et sont utilisés selon les phénomènes étudiés. En effet, certains phénomènes comme les interférences lumineuses s'expliquent par le modèle ondulatoire, d'autres comme l'interaction lumière-matière ne peuvent être décrits que par le modèle corpusculaire.

18.3 Interaction lumière-matière

18.3.1 Quantification de l'énergie

Quantification de l'énergie

A l'échelle de l'atome, les niveaux d'énergies pris par les électrons sont **quantifiés**, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent prendre que certaines valeurs bien précises. Les différents niveaux d'énergie possibles forment un ensemble discret de valeurs, contrairement à l'échelle macroscopique où les énergies sont des fonctions continues.

18.3.2 Absorption ou émission d'un photon

Du fait de la nature quantifiée de l'énergie à l'échelle atomique, les électrons qui gravitent autour du noyau d'un atome sont situés à des distances fixes de ce noyau. Ils sont répartis sur des couches, suivant le modèle de la configuration électronique (cf. chapitre 4). Ainsi, un électron situé sur une couche, avec un certain niveau d'énergie, peut passer sur une couche supérieure, à condition qu'on lui apporte la différence d'énergie exacte pour atteindre cet autre niveau.

Le niveau dans lequel se trouve l'électron à l'état naturel est appelé l'**état fondamental**, et les niveaux supérieurs les **états excités**. Ces états excités ne sont pas stables et un électron situé dans une couche supérieure va finir par revenir dans sa couche fondamentale en libérant l'énergie équivalente.

Lorsqu'un photon possède le quantum d'énergie correspondant exactement à la différence d'énergie entre deux niveaux, l'électron va absorber le photon pour passer de l'état fondamental à un état excité. On parle alors d'**absorption** de photon.

A l'inverse, lorsque l'électron retourne dans son état fondamental, il peut libérer l'énergie suivant différents mécanismes. L'un de ces mécanismes est l'émission d'un photon dont l'énergie correspond exactement à la différence d'énergie entre les deux niveaux. On parle alors d'**émission** de photon.

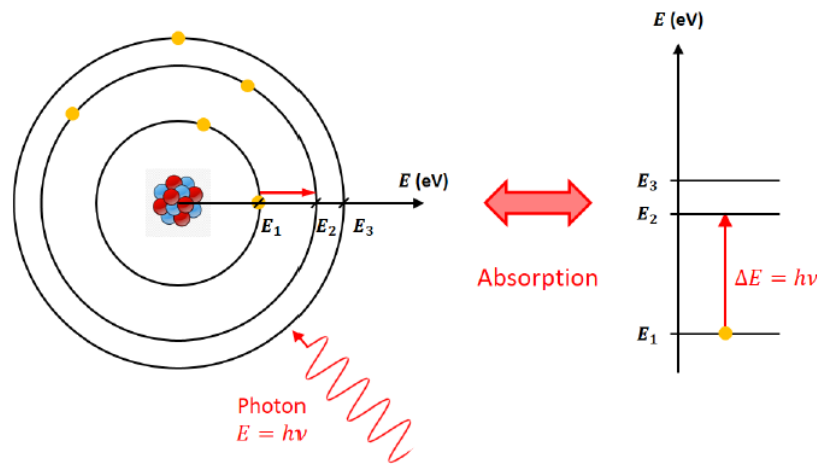


Figure 18.2 – Schéma décrivant le processus d'absorption d'un photon par un atome .

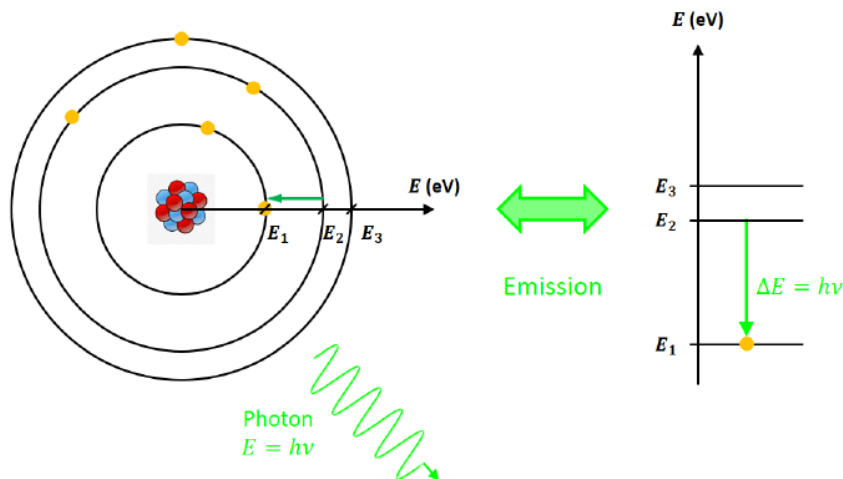


Figure 18.3 – Schéma décrivant le processus d'émission d'un photon par un atome .

Pour qu'un électron situé sur un niveau d'énergie initiale E_i passe à un niveau d'énergie finale E_f , il doit absorber ou émettre un photon d'énergie :

$$\Delta E = |E_f - E_i| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- Pour une absorption, $E_f > E_i$
- Pour une émission, $E_f < E_i$

18.3.3 Spectres d'émission et d'absorption

Lorsqu'un gaz atomique froid est éclairé en lumière blanche, les atomes du gaz absorbent les longueurs d'ondes correspondant aux transitions énergétiques quantifiées qui leur correspondent. On obtient un **spectre de raies d'absorption** : fond continu avec des raies sombres pour chaque couleur absorbée.

Lorsqu'un gaz atomique est chauffé, il émet des radiations de couleurs correspondant aux transitions énergétiques quantifiées des atomes. On obtient un **spectre de raies d'émission** : fond noir avec des raies colorées pour chaque couleur émise.

Lorsqu'un corps complexe est éclairé en lumière blanche, il peut absorber une gamme complète de longueurs d'onde, offrant ainsi un **spectre continu d'absorption** : large bande noire continue correspondant aux couleurs absorbées sur un fond coloré continu.

A l'inverse, lorsqu'un corps complexe est chauffé, il peut émettre une large bande de longueurs d'ondes, offrant ainsi un **spectre continu d'émission** : fond noir avec une large bande colorée continue.

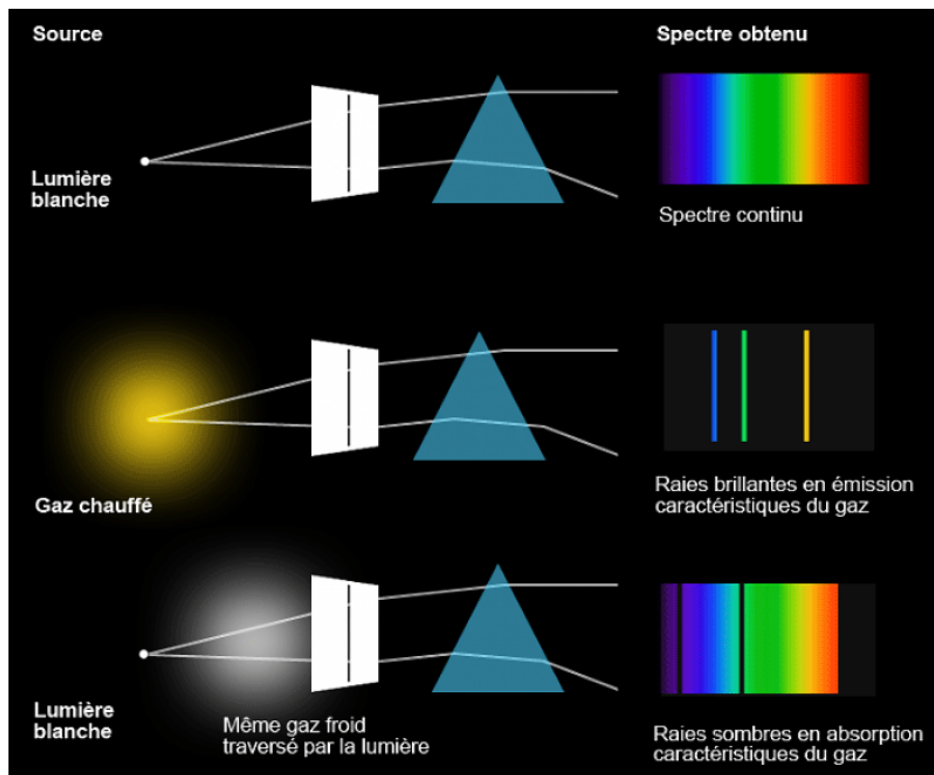


Figure 18.4 – Exemples de spectres d'émission ou d'absorption, de raies ou continu (source : <https://pg-astro.fr/astronomie/initiation/la-spectrographie.html>)