

Chapitre 20

Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

1. Ondes électromagnétiques

La lumière, les rayons X ou les ondes radio sont des ondes de même nature, appelées ondes électromagnétiques. Toutes les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide avec la même célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Les ondes électromagnétiques sont caractérisées par leur longueur d'onde dans le vide λ ou leur fréquence ν (fréquence de la source émettrice).

Elles sont classées par domaines spectraux en fonction du dispositif utilisé pour les émettre ou les recevoir.

Exemple

Le domaine spectral de la lumière visible correspond aux ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde dans le vide est comprise entre 400 nm et 750 nm.

Comme dans le cas des ondes mécaniques, la période T ou la fréquence ν d'un rayonnement monochromatique est liée à sa longueur d'onde dans le vide λ par la relation : $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$.

Unités du Système international :

$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, la célérité de l'onde dans le vide ;

T en seconde (s) ;

λ en mètre (m) ;

ν en hertz (Hz).

Exemple

Le wifi est une onde électromagnétique de fréquence $\nu = 5,0 \text{ GHz}$.

Sa longueur d'onde dans le vide est $\lambda = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{5,0 \times 10^9 \text{ Hz}} = 0,060 \text{ m} = 6,0 \text{ cm}$.

2. Photon

2.1 - Insuffisance du modèle ondulatoire

Le modèle ondulatoire de la lumière est indispensable pour étudier la propagation de la lumière, mais il est insuffisant pour décrire les échanges d'énergie entre lumière et matière.

Albert Einstein postule en 1905, que les transferts d'énergie entre matière et lumière sont quantifiés.

Ces transferts d'énergie se font uniquement par paquets d'énergie, appelés photons.

La lumière est modélisée par un déplacement de particules sans masse, les photons.

C'est le modèle particulaire de la lumière.

2.2 - Énergie du photon

L'énergie $|\Delta\mathcal{E}|$ d'un photon ne dépend que de la fréquence ν du rayonnement monochromatique qui le transporte ou de sa longueur d'onde dans le vide λ .

L'énergie $|\Delta\mathcal{E}|$ d'un photon est donnée par la relation de Planck :

$$|\Delta\mathcal{E}| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Unités du Système international :

$|\Delta\mathcal{E}|$ en joule (J) ;

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

$c = 3,00 \times 10^8$ m · s⁻¹, célérité de l'onde dans le vide ;

ν en hertz (Hz) ;

λ en mètre (m).

3. Quantification des niveaux d'énergie des atomes

3.1 - Niveaux d'énergie d'un atome

Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés. Leur énergie ne peut prendre que des valeurs particulières, caractéristiques de l'atome. L'état stable de l'atome correspond à son niveau d'énergie le plus bas : c'est l'état fondamental. Les niveaux d'énergie supérieurs correspondent aux états excités de l'atome.

3.2 - Transitions quantiques

La transition d'un atome entre deux niveaux d'énergie est appelée transition quantique.

Lors d'une transition quantique d'un niveau donné à un niveau d'énergie inférieur, l'atome cède l'énergie $|\Delta\mathcal{E}| = \mathcal{E}_{\text{finale}} - \mathcal{E}_{\text{initiale}} < 0$. Cette transition quantique s'accompagne de l'émission d'un seul photon d'énergie égale à $|\Delta\mathcal{E}|$. Elle est représentée sur le diagramme des niveaux d'énergie par une flèche droite orientée vers le bas.

Lors d'une transition quantique d'un niveau d'énergie donné à un niveau d'énergie supérieur, l'atome reçoit l'énergie $|\Delta\mathcal{E}| = \mathcal{E}_{\text{finale}} - \mathcal{E}_{\text{initiale}} > 0$. Cette transition quantique s'accompagne de l'absorption d'un seul photon d'énergie égale à $|\Delta\mathcal{E}|$. Elle est représentée sur le diagramme des niveaux d'énergie par une flèche droite orientée vers le haut.

Une transition quantique n'est possible que si l'énergie du photon est exactement égale à l'écart d'énergie entre le niveau d'énergie initial et le niveau d'énergie final.

3.3 - Interprétation des spectres atomiques

Les énergies des photons qu'un atome peut émettre ou absorber ne peuvent prendre que des valeurs particulières. Ces valeurs sont les mêmes, que les photons soient émis ou absorbés. Il en est de même pour les fréquences des rayonnements puisque :

$$\nu = \frac{|\Delta\mathcal{E}|}{h}$$

Le spectre de la lumière émise ou absorbée par un atome possède donc un nombre limité de raies, les raies ayant la même longueur d'onde dans le vide dans les spectres d'émission et dans les spectres d'absorption. Ainsi, le modèle de l'atome d'hydrogène faisant intervenir des niveaux d'énergie, proposé par Niels Bohr, permet d'interpréter les spectres des atomes.