

## OPTIQUE PHOTONIQUE

À la fin du XIX-e siècle il pouvait sembler que dans la compétition des deux conceptions sur la nature de la lumière, corpusculaire et ondulatoire, c'était la conception ondulatoire sous la forme qu'elle prit dans la théorie de Maxwell qui l'emportait définitivement.

Mais le triomphe de la théorie électromagnétique n'était pas entier: plusieurs phénomènes importants relatifs à l'émission et à l'absorption de la lumière ne se laissaient absolument pas interpréter par cette théorie. Ainsi la loi de la répartition de l'énergie dans le spectre du corps noir établie conformément à la théorie ondulatoire demeurait, malgré tous les efforts des théoriciens, en flagrante contradiction avec l'expérience et comportait en outre des contradictions propres.

En 1901 Max Planck établit une loi de répartition de l'énergie dans le spectre de rayonnement du corps noir en équilibre thermique, qui était conforme à l'expérience. Cette loi se fonde sur l'hypothèse du caractère discret des processus d'émission et d'absorption de la lumière par la matière et admet donc que la lumière est émise ou absorbée par des portions finies appelées **quanta de lumière** ou photons.

L'énergie  $\varepsilon$  d'un quantum de lumière est proportionnelle à la fréquence des oscillations lumineuses  $\omega$  et s'exprime par l'égalité:

$$\varepsilon = \hbar \omega \quad (1)$$

avec  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$  J·s où  $h$  est la constante de Planck.

Après qu'Einstein eut démontré qu'il était nécessaire d'attribuer au quantum de lumière, en plus d'une énergie  $\varepsilon$ , une certaine impulsion

$$p = \frac{\varepsilon}{c} \quad (2)$$

dont la direction coïncide avec celle de la propagation de la lumière, la conception des quanta de lumière reçut sa forme définitive.

L'introduction du vecteur d'onde  $\vec{k} \left( k = \frac{2\pi}{\lambda} \right)$  permet d'exprimer l'impulsion du quantum de lumière sous une forme vectorielle:

$$\vec{p} = \hbar \vec{k} \quad (3)$$

Les formules (1) et (3) établissent les corrélations entre, l'énergie  $\varepsilon$  et l'impulsion  $\vec{p}$  d'un quantum de lumière d'une part et, de l'autre part, la fréquence  $\omega$  et la longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde monochromatique plane dont la direction de propagation est déterminée par le vecteur  $\vec{k}$ .

Le sens profond de la théorie quantique de la lumière consiste non pas à considérer la lumière comme une sorte de gaz formé par des particules d'énergie  $\varepsilon$  et d'impulsion  $\vec{p}$ , mais bien en ce que tout échange d'énergie et d'impulsion entre les microsystemes et la lumière s'accompagne de la naissance d'un certain nombre de photons et de la disparition d'autres.

Désignons par  $E$  et  $\vec{P}$  l'énergie et l'impulsion du système considéré avant sa collision avec un photon, et par  $\vec{E}'$  et  $\vec{P}'$  ces mêmes grandeurs après la collision; nous désignerons par  $\hbar\omega$  et  $\hbar\vec{k}$  l'énergie et l'impulsion du photon avant collision, et par  $\hbar\omega'$  et  $\hbar\vec{k}'$  les valeurs de ces grandeurs après la collision.

Les lois de la conservation de l'énergie et de l'impulsion s'écrivent sous la forme:

$$\hbar\omega + E = \hbar\omega' + E' \quad (4)$$

$$\hbar\vec{k} + \vec{P} = \hbar\vec{k}' + \vec{P}' \quad (5)$$

Ces équations permettent de décrire trois processus fondamentaux: absorption, émission et diffusion de la lumière.

Les lois de la conservation de l'énergie et de l'impulsion (4) et (5) ne sont conformes ni à la conception corpusculaire, ni à la conception ondulatoire de la lumière et ne peuvent trouver d'interprétation dans le cadre de la physique classique.

Selon la théorie ondulatoire l'énergie d'un champ d'onde dépend non pas de la fréquence  $\omega$ , mais de l'amplitude des ondes qui le constituent. Par ailleurs, on ne dispose d'aucune corrélation suffisamment générale entre l'amplitude d'une onde et la fréquence des oscillations qui permettrait de relier l'énergie d'un photon isolé à l'amplitude de l'onde. Considérons un faisceau lumineux rencontrant une plaquette transparente. Une partie de la lumière incidente sera réfléchiée et l'autre partie passera au travers de cette plaquette; les amplitudes des ondes incidente, réfléchiée et transmise doivent être différentes. Si nous essayons maintenant d'établir par un procédé quelconque une corrélation entre l'énergie du photon  $\varepsilon$  et les amplitudes des ondes, nous arriverons à la conclusion que dans ces trois faisceaux l'énergie des quanta est différente. Or, selon (1) on ne peut pas modifier l'énergie des quanta sans modifier leur fréquence; cela signifie qu'une partie des quanta est d'une "couleur" différente de celle des quanta d'origine. L'hypothèse selon laquelle l'énergie des quanta serait déterminée par l'amplitude conduirait à conclure que la couleur des faisceaux incident, réfléchi et transmis devrait être différente, fait que l'on **n'observe jamais** lorsqu'un faisceau lumineux traverse un corps transparent.

Il est tout aussi inadmissible de considérer les quanta de lumière comme des particules se trouvant quelque part dans l'espace et se comportant comme des "flotteurs" sur l'eau.

Par sa définition [équations (1) et (3)], le photon est associé à une onde monochromatique plane, c'est-à-dire à un processus périodique se reproduisant indéfiniment aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Admettre que le photon se trouve localisé quelque part reviendrait à contester la parfaite périodicité de l'onde: lorsqu'une onde sinusoïdale est déformée de quelque manière, ce n'est plus une seule onde, mais une superposition de plusieurs ondes sinusoïdales.

Donc, si nous reconnaissons la validité des lois de conservation (4) et (5) nous sommes engagés à reconnaître que les conceptions classiques sont inaptées à décrire les phénomènes atomiques. La lumière manifestant simultanément des propriétés ondulatoires et corpusculaires, on aboutit à **la conception de la dualité de la lumière.**