

OPTIQUE ONDULATOIRE

Le caractère ondulatoire de la lumière a été énoncé pour la première fois par C. Huygens (1678). Il a été ensuite largement développé par A. Fresnel (1802) et relié plus tard, en 1876, à l'électromagnétisme par J. C. Maxwell.

La théorie ondulatoire est à la base de l'interprétation du transfert de l'information, sans transport de matière, depuis la source jusqu'au récepteur. Nous nous proposons ici de donner, sans les établir, les principaux résultats de la théorie électromagnétique de la lumière.

1. Les équations de propagation de \vec{E} et \vec{B} en vide:

$$\Delta\vec{E} = \varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}; \quad \Delta\vec{B} = \varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

2. Les équations de propagation de \vec{E} et \vec{B} dans un milieu matériel idéal:

$$\Delta\vec{E} = \varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r \frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}; \quad \Delta\vec{B} = \varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r \frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$$

3. Structure de l'onde lumineuse monochromatique plane (les solutions de (1), (2))

$$\begin{aligned}\tilde{\vec{E}} &= \vec{E}_m \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi)] \\ \tilde{\vec{B}} &= \vec{B}_m \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi)]\end{aligned}\quad (3)$$

avec $v = \frac{\omega}{k} \left(c = \frac{\omega}{k_0} \right)$; \vec{k} = le vecteur d'onde

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Les trois vecteurs \vec{E} , \vec{B} , \vec{k} forment un trièdre trirectangle direct; les champs \vec{E} et \vec{B} oscillent en phase et sont liés par la relation:

$$\frac{E}{B} = \frac{\omega}{k} = v$$

4. Intensité I de l'onde lumineuse

$$I = \left\langle \tilde{\vec{E}} \times \tilde{\vec{H}}^* \right\rangle_t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_m^2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} H_m^2 \quad (4)$$

où $\left\langle \tilde{\vec{E}} \times \tilde{\vec{H}}^* \right\rangle$ est la valeur moyenne dans le temps du vecteur de Poynting.

5. Réflexion et réfraction d'une onde monochromatique

La théorie électromagnétique permet de retrouver les lois de Snellius – Descartes (voir “L'optique géométrique”)

Les facteurs de réflexion et de transmission en amplitude complexe (r, t) et en intensité $(\mathcal{R}, \mathcal{T})$ sous l'incidence normale s'expriment simplement en fonction des indices n_1 et n_2 .

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_2 + n_2}; \quad t = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}; \quad (5)$$

$$\mathcal{R} = r^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2; \quad \mathcal{T} = \frac{n_2}{n_1} t^2 = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2}. \quad (6)$$

6. États de polarisation des ondes lumineuses

a) ondes polarisées rectilignement

Les ondes lumineuses sont polarisées rectilignement lorsque les champs \vec{E} et \vec{B} gardent une direction déterminée au cours de la propagation; le plan défini par \vec{E} et \vec{k} est alors appelé **le plan de polarisation**.

b) ondes polarisées elliptiquement et circulairement

L'extrémité de \vec{E} décrit, généralement une ellipse au cours de la propagation. On peut considérer le champ électrique \vec{E} (ou \vec{B}) comme la somme de deux champs perpendiculaires qui se propagent suivant la direction normale au plan qu'ils forment; entre les deux composantes il y a un retard de phase φ .

Lorsque φ est positif, l'ellipse est décrite dans le sens trigonométrique; l'onde est **d'hélicité positive**, puisque le sens de description de l'ellipse est relié au sens de propagation par la règle du trièdre direct.

En optique, on dit que l'onde est polarisée **elliptiquement à gauche** car, pour un observateur vers lequel l'onde se propage, l'ellipse est décrite vers la gauche.

Lorsque φ est négatif, l'onde est d'hélicité négative ou polarisée **elliptiquement à droite**.

Dans le cas particulier où $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ et les amplitudes de deux composantes sont égales, l'onde est polarisée **circulairement**.

Il y a plusieurs moyens pour produire de la lumière polarisée: la réflexion par la surface séparant deux milieux diélectriques à l'incidence Brewster, la diffusion, le dichroïsme (l'absorption sélective par certains matériaux d'une direction de polarisation de l'onde lumineuse qui les traverse), la biréfringence (naturelle ou provoquée).

7. La diffraction est le phénomène **d'éparpillement de la lumière** que l'on observe lorsqu'une onde est matériellement limitée.

Elle est interprétée après le principe d'Huygens – Fresnel.

(1) La contribution d'Huygens (1678)

La lumière se propage de proche en proche. Chaque élément de surface atteint par elle se comporte comme une source secondaire qui émet des ondelettes sphériques dont l'amplitude est proportionnelle à cet élément.

(2) La contribution de Fresnel (1818)

L'amplitude complexe de la vibration lumineuse en un point est la somme des amplitudes complexes des vibrations produites par toutes les sources secondaires.

8. L'interférence

Des ondes interfèrent lorsque l'intensité résultant de leur superposition n'est pas la somme de leurs intensités.

On peut résumer le phénomène par la relation:

$$I = I_1 + I_2 + I_{12} \quad (7)$$

I_{12} est le terme d'interférence; s'il est non nul, résultent des franges d'interférence brillantes (I_{\max}) et obscures (I_{\min}).

Pour réaliser l'interférence, les ondes doivent être mutuellement cohérentes. Les systèmes interférentiels réalisent des ondes cohérentes à

partir d'une onde primaire par division du front de l'onde primaire (miroirs de Fresnel, biprisme de Fresnel, bilentilles de Billet, fentes d'Young) ou par division de l'amplitude de l'onde primaire (l'interféromètre de Michelson).

9. Polarisation rotatoire ou biréfringence circulaire (activité optique)

La polarisation rotatoire est la propriété de certaines substances de faire tourner le plan de polarisation d'une onde polarisée rectilignement qui les traverse.

Les lois de la polarisation rotatoire ont été établies expérimentalement par Biot:

$$\alpha = \{\alpha\}l \quad (8)$$

ou α est l'angle de rotation du plan de polarisation, l est l'épaisseur de substance traversée et $\{\alpha\}$ est la pouvoir rotatoire spécifique. Pour une solution de concentration c :

$$\alpha = \{\alpha_c\}lc \quad (9)$$

L'interprétation cinématique de la polarisation rotatoire a été donnée par Fresnel et est basée sur la décomposition d'une onde polarisée rectilignement en deux ondes circulaires, de même amplitude, l'une gauche et l'autre droite. L'origine microscopique de l'activité est dans la dissymétrie moléculaire ou cristalline des substances.