

Les ondes électromagnétiques

Elles sont très diverses : la lumière visible, les ondes radio, les rayons X ou γ , les rayonnements Infrarouges et ultraviolets... On se référera à l'échelle logarithmique en fréquences donnant les différents domaines.

Elles ont un caractère dual : onde et particule.

1. La nature ondulatoire de la lumière

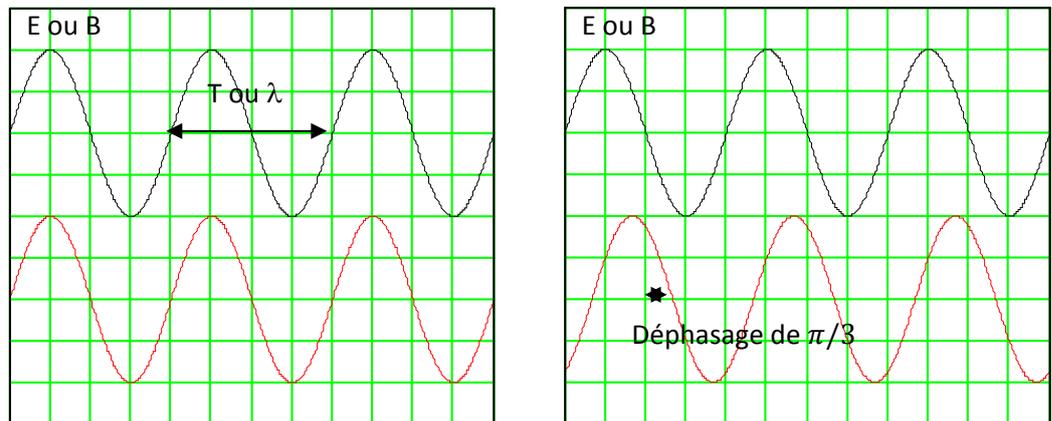
Les ondes électromagnétiques sont produites à partir de la vibration d'un champ électrique et d'un champ magnétique. On a : $E = E_0 \sin(\omega t - kx)$ et $B = B_0 \sin(\omega t - kx)$

Elles se déplacent à la vitesse de la lumière dans le vide $c = 3.10^8 \text{ km.s}^{-1}$

E et B ont une périodicité temporelle.

Ainsi, $E = E_0 \sin(\omega t - kx) = E_0 \sin(\omega t - kx + 2\pi)$ d'où une période $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ou une fréquence $f = \frac{1}{T}$.

E et B ont une périodicité spatiale avec une longueur d'onde $\lambda = c T = \frac{c}{f}$



- \vec{E} et \vec{B} sont des vecteurs orthogonaux l'un à l'autre.
- Leurs intensités sont telles que $E = c B$.
- De plus, on a la relation $\epsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$.

On notera que $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9 \text{ SI}$ et $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ SI}$

E et B sont ainsi solution de l'équation de propagation des ondes : $\frac{\delta^2 y}{\delta t^2} = c^2 \frac{\delta^2 y}{\delta x^2}$

Le flux d'énergie des ondes électromagnétiques est tel que $S = \frac{EB}{\mu_0}$ en W.m^{-2} . On l'appelle

l'intensité du vecteur de Poynting. La pression de radiation absorbée par une surface sera

$p = \frac{S}{c}$ en Pa.

2. La preuve du caractère ondulatoire : interférences et diffraction

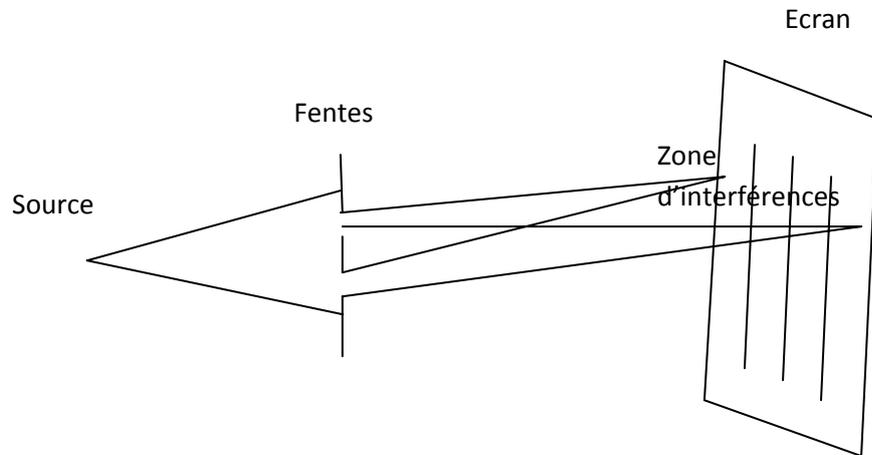
La diffraction et les interférences sont la preuve du caractère ondulatoire d'un phénomène. Cela résulte du fait que la superposition de 2 ondes suivant qu'elles sont en phase ou en opposition de phases se superposent ou s'annulent. En d'autres termes : lumière + lumière peut donner lumière ou obscurité.

$$E = E_1 + E_2 = E_0 \sin(\omega t - kx) + E_0 \sin(\omega t - kx) = 2 E_0 \sin(\omega t - kx)$$

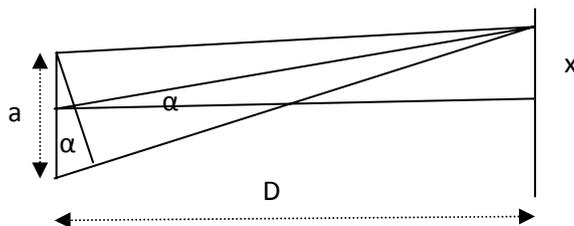
$$E = E_1 + E_2 = E_0 \sin(\omega t - kx) + E_0 \sin(\omega t - kx + \pi) = 0$$

a. Les fentes d'Young

La source à travers les doubles fentes donne 2 sources en phases cohérentes. On obtient une zone de superposition des lumières provenant des 2 fentes. C'est la zone d'interférence.



Les angles étant petits, on a : $\sin \alpha = d / a \approx \text{tg } \alpha = x / D$ où d est la différence de marche entre les 2 rayons lumineux.



Si $d = n \lambda$, on obtient $x = n \lambda D / a$. On appelle $i = \lambda D / a$ l'interfrange. C'est la distance séparant 2 franges brillantes consécutives en alternance avec les zones sombres.

b. Diffraction à travers une fente

L'angle d'ouverture de la lumière issue d'une fente suffisamment petite de largeur L est $\sin \alpha = 1,22 \frac{\lambda}{L}$. L'angle augmente de façon significative dès que la fente est telle $L < 10 \lambda$.

c. Diffraction à travers un réseau

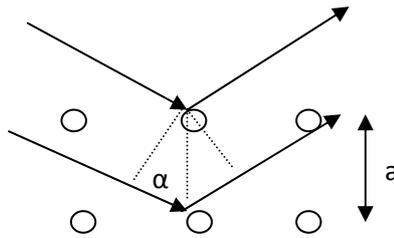
On peut placer un réseau de n traits / mm à la place des fentes d'Young. On obtient dans un ce cas un réseau de diffraction tel que $d \sin \alpha = m \lambda$ où $d = 1 / n$ et $m \in \mathbb{Z}$.

Ainsi, un réseau traversé par une lumière blanche donnera un spectre qui s'étalera de :

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{600}} = 0,24 \text{ soit } \alpha = 13,9^\circ \text{ à pour } 0,7 \mu\text{m}, \alpha = 24,8^\circ$$

d. Diffraction des rayons X et relation de Bragg

On considère un cristal cubique simple :



La différence de marche entre les 2 rayons lumineux est $2 a \sin \alpha = n \lambda$. On obtient ainsi sur l'écran des franges brillantes et des franges obscures caractéristiques du réseau cristallin.

3. Les photons

En 1905, Einstein interprète l'expérience de l'effet photoélectrique. Un métal éclairé par un faisceau lumineux peut expulser des électrons.

Il le fait sous condition que la longueur d'onde soit suffisamment faible. La théorie ondulatoire n'est pas capable d'expliquer que ce phénomène ne dépend pas du temps. Il n'y a pas accumulation d'énergie.

Einstein reprend l'idée de Planck. La lumière est constituée de photons, particules élémentaires d'énergie $E = h \nu = h c / \lambda$ où $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s.

L'électron est expulsé si l'énergie du photon est supérieure à l'énergie d'ionisation du métal.

aluminium	4,3 eV
cuivre	4,7 eV
or	5,1 eV

La différence d'énergie donne l'énergie cinétique de l'électron.

Exemple : pour le zinc $W_0 = 3,35$ eV et $\lambda_0 = 0,37$ μm . Pour $\lambda = 0,3$ μm , $\nu = 520$ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$