

P5. Modèles ondulatoire et corpusculaire de la lumière

Cours

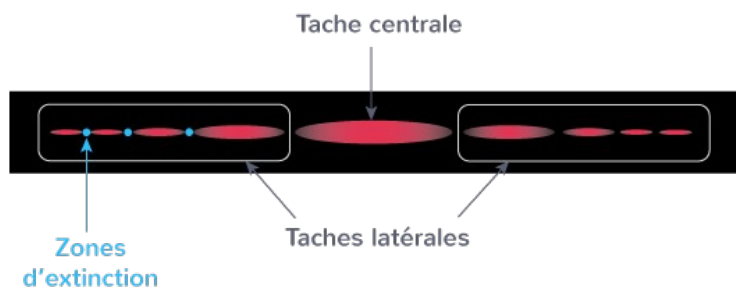
I. Diffraction de la lumière

Un faisceau lumineux qui rencontre un obstacle ou une ouverture de très petites dimensions est diffracté : le modèle de propagation rectiligne de la lumière ne permet pas d'expliquer ce phénomène.

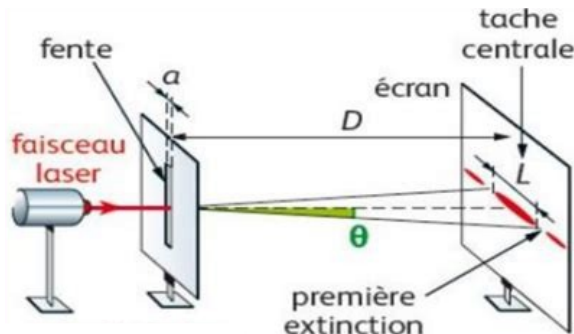
Le phénomène de diffraction étant caractéristique des ondes, cette expérience révèle que la lumière se comporte comme une onde. La lumière est une **onde électromagnétique**, qui peut se propager dans le vide.

Ainsi, la lumière visible est diffractée par des obstacles ou ouvertures dont la taille est de l'ordre du μm .

Lorsqu'un faisceau parallèle de lumière traverse une fente verticale la **figure de diffraction** obtenue est horizontale :



On définit la **demi-ouverture angulaire** θ (ou écart angulaire) comme l'angle compris entre le centre de la tache centrale et la première extinction.



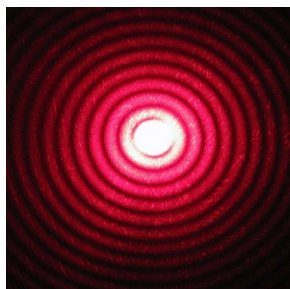
Pour un faisceau de longueur d'onde λ traversant une fente de largeur a , la demi-ouverture angulaire θ s'exprime :

$$\theta = \lambda / a$$

λ et a en m

θ en radian (rad)

Remarque : Figure de diffraction obtenue pour un obstacle ou une ouverture circulaire



II. Fréquence, longueur d'onde et célérité de la lumière

Une onde monochromatique est caractérisée par sa fréquence f .

Cette fréquence est déterminée par la source et ne varie pas lorsque la lumière change de milieu.

Il en est de même pour la période temporelle T .

On rappelle que :

$$T = 1/f$$

f en Hz et T en s

En revanche, la vitesse de la lumière dépend du milieu dans lequel elle se propage :

$$v = c / n$$

avec n l'indice optique du milieu (sans unité)
et c la vitesse de la lumière dans le vide (en $m.s^{-1}$).

La plupart des milieux transparents autres que le vide et l'air sont dispersifs : l'indice optique donc la vitesse de la lumière dépend de la fréquence.

Pour une onde lumineuse de fréquence f se propageant dans le vide, sa **longueur d'onde dans le vide** est notée λ_0 :

$$\lambda_0 = c \cdot T = c / f$$

Cette même onde lumineuse de fréquence f se propageant dans un milieu d'indice n a pour longueur d'onde λ :

$$\lambda = v \cdot T = c \cdot T / n$$

donc

$$\lambda = \lambda_0 / n$$

III. Dualité onde - corpuscule de la lumière

En 1905, Einstein propose un **modèle corpusculaire** de la lumière.

Dans ce modèle, l'énergie d'une radiation lumineuse de fréquence f est quantifiée (elle prend des valeurs discrètes et non continues) : elle est la somme de quanta d'énergie, transportés par des particules appelées **photons**.

Le photon est une particule élémentaire (ou corpuscule), de masse nulle et symbolisée par la lettre γ .

Le quantum d'énergie transporté par un photon associé à une radiation de fréquence f est donné par la formule :

$$E = h \cdot f \text{ ou } E = h \cdot \nu$$

avec f ou ν (ν) la fréquence de la radiation en Hz
et E l'énergie du photon en **Joule (J)**

h est la **constante de Planck** : $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Dans le vide, un photon se déplace à la vitesse $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

On peut donc aussi écrire $E = h \cdot c / \lambda_0$ avec λ_0 la longueur d'onde du photon (et de la radiation) dans le vide.

Ce modèle corpusculaire (ou particulaire) de la lumière permet d'expliquer :

- l'effet photoélectrique (émission d'électricité sous l'effet d'un rayonnement lumineux)
- les spectres d'émission et d'absorption des éléments chimiques.

Absorption d'un photon par un atome

Lorsqu'un atome absorbe un photon, l'énergie de l'atome passe de son niveau d'énergie initial à un niveau d'énergie supérieur.

On appelle :

- **niveau d'énergie fondamental** : correspond au niveau d'énergie de l'atome le plus bas
- **niveaux d'énergie excités** : ce sont les niveaux d'énergie de l'atome supérieurs au niveau fondamental
- **niveau d'énergie d'ionisation** : le niveau d'énergie de l'atome est maximal ; au-delà de ce niveau, l'atome est ionisé c'est-à-dire que l'un de ses électrons est arraché.

Selon l'énergie transmise par le photon, un atome peut donc être excité ou ionisé.

Applications : capteur CCD ou CMOS, panneau photovoltaïque

Emission d'un photon par un atome

Un atome peut à l'inverse émettre un photon lorsqu'il passe spontanément à un niveau d'énergie inférieur : sa variation d'énergie est alors transmise au photon.

Sa variation d'énergie ΔE se calcule comme :

$$\Delta E = E_f - E_i \quad \text{avec } E_f \text{ l'énergie finale de l'atome et } E_i \text{ son énergie initiale (en Joule J).}$$

Cette énergie transmise au photon correspond à une longueur d'onde dans le vide λ_0 telle que $\Delta E = h \cdot c / \lambda_0$

Applications : LED (diodes électroluminescentes) ou lampes spectrales