

1. Ondes lumineuses

Indice optique : $n = \frac{c}{v_\varphi}$ verres optiques : $1,50 < n < 1,75$ eau liquide : $n = 1,33$

Chemin optique entre deux points A et B le long d'un rayon lumineux: $L_{AB} = \int_A^B n(M) ds$, soit

$L_{AB} = (AB) = nAB$ pour un milieu homogène d'indice optique n uniforme.

Onde plane progressive harmonique : $s(M, t) = s_m \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi_0)$.

Période temporelle : $T = \frac{1}{f}$ Période spatiale : $\lambda = v_\varphi T$ $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{u}$ vecteur d'onde

vide ou air : $\lambda_0 = cT = \frac{c}{f}$. milieu transparent d'indice n : $\lambda_n = v_\varphi T = \frac{c}{nf} = \frac{\lambda_0}{n}$

Lumière visible : $0,4 \mu\text{m}$ (violet) $< \lambda_0 < 0,8 \mu\text{m}$ (rouge) - $3,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \leq f = \frac{c}{\lambda_0} \leq 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Lien entre déphasage et différence de chemin optique pour 2 points A et B sur un même rayon:

$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda_0} (AB) + \varphi_{\text{sup}}$, φ_{sup} déphasage supplémentaire éventuel.

2. Interférences

Principe de superposition :

- ❖ Ondes incohérentes : $I = I_1 + I_2$ On somme les intensités
- ❖ Ondes cohérentes : $E = E_1 + E_2$ On somme les amplitudes des champs

2.1. Dispositif à division du front d'onde (fentes d'Young, miroirs de Fresnel)

Différence de marche géométrique entre deux rayons S_2P et S_1P . $\delta = (S_2P) - (S_1P)$

Déphasage entre deux ondes cohérentes : $\Delta\varphi(P) = \frac{2\pi}{\lambda_0} [(S_2P) - (S_1P)] = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta$

Si $a \ll D$ et $|y(P)| \ll D$: $\delta(P) \approx \frac{na y}{D}$ Ordre d'interférence: $p = \frac{\Delta\varphi(P)}{2\pi} = \frac{\delta(P)}{\lambda_0}$

Les **franges brillantes** correspondent à un déphasage $\Delta\varphi(P)$ multiple de 2π , à une différence de marche $\delta(P)$ multiple de λ_0 et à un ordre d'interférence p entier relatif : $p = m$.

Les **franges sombres** correspondent à un déphasage $\Delta\varphi(P)$ multiple impair de π , à une différence de marche $\delta(P)$ multiple impair de $\lambda_0/2$ et à un ordre d'interférence $p = m + 1/2$.

Entre 2 franges claires (ou sombres) consécutives, p varie de ± 1 , δ de $\pm \lambda_0$ et $\Delta\varphi$ de 2π .

Entre 1 frange claire et une frange sombre consécutives, p varie de $\pm 1/2$, δ de $\pm \lambda_0/2$ et $\Delta\varphi$ de $\pm \pi$.

Interfrange entre deux franges consécutives de même nature pour une observation à une distance

$D \gg a$: $i = \frac{\lambda D}{a}$. Observation à l'infini à l'aide d'une lentille : $i = \frac{\lambda f'}{a}$

cotes des franges brillantes : $y_B = m * i$ cotes des franges sombres : $y_S = \left(m + \frac{1}{2}\right) * i$

formule fondamentale des interférences (pas exigible dans le cadre du syllabus) :

$$I = K \langle |\vec{E}|^2 \rangle = 4I_0 \cos^2[\Delta\varphi(P)/2] = 2I_0(1 + \cos(\Delta\varphi(P)))$$

2.2. Dispositifs à division d'amplitude

Equations de l'interférence des lames minces naturelles :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \delta_{\text{géo}} + \varphi_{\text{sup}} \right), \text{ avec } \delta_{\text{géo}} = 2n_2L \text{ (sous incidence quasi-normale)}$$

Film de savon : $\varphi_{\text{sup}} = \pi \rightarrow \delta = \delta_{\text{géo}} + \lambda_0/2$

$$\text{Condition d'interférences constructives : } \Delta\varphi = 2\pi m \Rightarrow L = \frac{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0}{2n_2} = \frac{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda}{2} \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{Condition d'interférences destructives : } \Delta\varphi = (2m + 1)\pi \Rightarrow L = \frac{m\lambda_0}{2n_2} = \frac{m\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Attention : ces équations ne sont pas universelles et doivent être établies au cas par cas selon l'existence ou non d'un déphasage supplémentaire de π

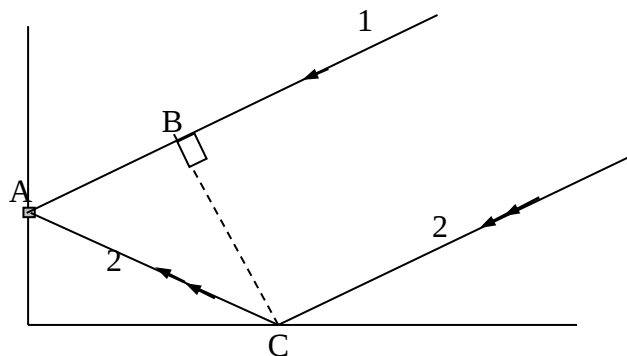
Savoir faire :

- Calcul de la différence de marche δ par construction géométrique

Bien comprendre le calcul géométrique dans le cas des interférences entre 2 ondes planes!

Exemple : différence de marche entre le rayon 1 (infini, B, A) et le rayon 2 (infini, C, A) :

$$\delta_{\text{géo}} = CA - BA$$



- Réflexion sur un milieu plus réfringent (air sur verre, air sur eau, réflexion sur un métal)
 $\Rightarrow$ déphasage supplémentaire de $\pi \Leftrightarrow \lambda_0/2$ à rajouter à δ calculée
- Identifier l'interfrange i à partir des données du texte
 i intervalle spatial entre 2 franges brillantes (maxima)
- Reconnaître les dispositifs classiques : fentes d'Young, coin d'air, lame d'air

3. Diffraction

3.1. Diffraction par une fente de largeur a :

La figure de diffraction comporte une frange centrale très brillante, dans la direction prévue par l'optique géométrique, entourée de franges secondaires deux fois moins larges et beaucoup moins brillantes.

Sous incidence normale, les deux premières franges sombres correspondent donc à des points P_1

dont la position angulaire θ_1 obéit à l'équation : $\frac{a \sin \theta_1}{2} = \pm \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow \boxed{\sin \theta_1 = \pm \frac{\lambda}{a}}$

La frange centrale est d'autant plus large que la fente est mince. Si l'angle θ_1 est petit, $\sin\theta \approx \theta$ et la largeur angulaire de la frange centrale est $\Delta\theta = 2\frac{\lambda}{a}$

Largeur de la tache centrale sur l'écran dans la configuration de Fraunhofer : $\theta \approx \tan\theta = \frac{x}{f_2'}$ où f_2'

est la distance focale image de la lentille $L_2 \rightarrow \Delta x = \frac{2\lambda f_2'}{a}$

3.2. Diffraction par une ouverture circulaire de diamètre Φ

La tache centrale, appelée aussi « tache d'Airy », est limitée par le 1^{er} minimum nul de $I(\theta)$, repéré par l'angle θ tel que : $\sin\theta = 1,22\frac{\lambda}{\Phi}$ $\rightarrow$ facteur 1,22 par rapport à la position du 1^{er} minimum pour une fente de largeur a .

Si $\Phi \gg \lambda$, le diamètre angulaire de la tache centrale est alors : $\Delta\theta = 1,22\frac{\lambda}{R}$. Et si la figure de diffraction est observée dans le plan focal image d'une lentille de distance focale f' , alors le rayon de la tache centrale est $\rho = 1,22\frac{\lambda f'}{\Phi}$

3.3. critère de Rayleigh.

La limite de résolution angulaire d'un instrument d'optique peut en fait être précisée quantitativement à l'aide du **critère de Rayleigh** : deux objets sont tout juste séparés si le milieu du pic central de diffraction de l'image de l'un correspond au premier minimum du pic central de diffraction de l'autre $\rightarrow \Delta\theta \geq \theta_R = \sin^{-1}\left(1,22\frac{\lambda}{\Phi}\right) \approx 1,22\frac{\lambda}{\Phi}$

3.4. Diffraction par une fente double

L'intensité sur l'écran est le produit d'un terme d'interférences modulé par un terme de diffraction par une fente seule. Le nombre de franges observables dans le dispositif des fentes d'Young est limité par la diffraction.

A la limite des angles faibles 1) largeur de la frange centrale de diffraction : $\Delta x = \frac{2\lambda D}{a}$

2) interfrange de la figure d'interférences : $i = \frac{\lambda D}{d} \rightarrow$ nombre n de franges d'interférences

observables à l'intérieur de la frange centrale de diffraction lié au rapport d/a . Pour calculer n , faire un schéma au cas par cas.

4. Réseaux de diffraction

Un réseau plan est une structure périodique constituée de N traits semblables et parallèles, distants d'un pas d , et de longueur L très grande devant d .

On distingue deux grands types de réseaux : **les réseaux par transmission et les réseaux par réflexion.**

Les réseaux usuels comportent 50 à 500 traits par mm sur une largeur de 5 cm.

Pour N élevé, la figure de diffraction est essentiellement composée de pics principaux de diffraction pour lesquelles les N ondes diffractées sont toutes cohérentes et en phase : $\delta_{\text{géo}} = n d \sin\theta = m \lambda_0$

Formule fondamentale des réseaux sous incidence normale : $\sin\theta_m = m\lambda/d$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

m est appelé l'ordre d'interférence. Les ordres m permis sont en nombre limité avec $|m| < \frac{d}{\lambda}$

La largeur des pics principaux varie en $1/N$

Utilisation en lumière polychromatique : 1) le spectroscope à réseau fournit autant de spectres de l'élément qu'il y a d'ordres m permis non nuls, plus une image géométrique non dispersée, correspondant à $m = 0$, et dont la couleur est celle de la source de lumière « brute »
2) Contrairement au prisme, **le réseau dévie plus le rouge que le bleu.**

La dispersion angulaire augmente avec l'ordre d'interférence. Cet effet d'étalement croissant, induit un **recouvrement des spectres dès les ordres 2 et 3.**

Le pouvoir de résolution intrinsèque du réseau est alors défini à partir du critère de Rayleigh par :

$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$. **R augmente avec l'ordre du spectre et le nombre de traits du réseau.** Plus m et/ou N sont grands, et plus des radiations proches pourront être séparées.

5. Polarisation rectiligne de la lumière

La lumière naturelle est non polarisée.

La lumière est dite polarisée rectilignement si le champ $\vec{E}$ pointe dans une direction fixe au cours du temps.

Il existe moyens pour obtenir une lumière polarisée rectilignement : par absorption ou dichroïsme (filtres polariseurs), par réflexion vitreuse sous incidence de Brewster, par le phénomène de biréfringence ou le phénomène de diffusion

Lors d'une réflexion sous incidence de Brewster i_B , la composante de $\vec{E}$ contenue dans le plan d'incidence est totalement supprimée et la lumière réfléchie est polarisée rectilignement selon la direction normale au plan d'incidence. Rayons réfléchi et réfracté sont alors perpendiculaires : $i_B + i_t = \pi/2$

Loi de Brewster : $\tan(i_B) = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow i_B = 56^\circ$ pour une réflexion air $\rightarrow$ verre

Loi de Malus : $I = I_0 \cos^2 \alpha$ Elle relie l'intensité à l'entrée et à la sortie de l'analyseur à l'angle α entre les directions caractéristiques du polariseur et de l'analyseur