

Fiche de cours

Diffraction et interférences

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 LE PHÉNOMÈNE DE DIFFRACTION

Définition. La **diffraction** est l'étalement d'une onde qui rencontre une *ouverture* ou un *obstacle* : l'onde ne se propage plus seulement dans la direction incidente. Elle concerne toutes les ondes : lumière, son, ondes à la surface de l'eau.

Propriété — condition. Le phénomène est d'autant plus marqué que la dimension a de l'ouverture ou de l'obstacle est *petite* : il est net dès que a est de l'ordre de quelques longueurs d'onde λ , et devient négligeable si $a \gg \lambda$.

Remarque. La diffraction ne modifie ni la fréquence, ni la longueur d'onde, ni la célérité de l'onde : seule la répartition de l'énergie dans l'espace change. C'est parce que λ_{son} vaut quelques dizaines de centimètres qu'un son contourne un obstacle, alors que la lumière visible ($\lambda < 1 \mu\text{m}$) semble se propager en ligne droite.

2 ANGLE CARACTÉRISTIQUE ET TACHE CENTRALE

Propriété. Pour une fente (ou un fil) de largeur a éclairée par une onde de longueur d'onde λ , le demi-angle d'ouverture de la tache centrale de diffraction vaut

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad (\theta \text{ en radians, } \lambda \text{ et } a \text{ dans la même unité}).$$

Propriété — largeur de la tache centrale. Sur un écran placé à la distance D de la fente, avec $D \gg a$, l'approximation des petits angles $\tan \theta \approx \theta$ donne $\theta = \frac{L/2}{D}$, d'où

$$L = \frac{2\lambda D}{a}.$$

La figure de diffraction s'étale perpendiculairement à la fente : une tache centrale, deux fois plus large que les taches latérales qui l'encadrent.

Méthode — mesurer a ou λ . tracer L en fonction de $1/a$ (à λ et D fixés) : la modélisation par une droite passant par l'origine a pour coefficient directeur $2\lambda D$, ce qui donne λ . À a inconnu (cheveu, fil), mesurer L et utiliser $a = \frac{2\lambda D}{L}$.

3 INTERFÉRENCES DE DEUX ONDES

Définition. Deux sources sont **synchrones** (ou cohérentes) si elles émettent la même fréquence avec un déphasage constant. Les ondes qu'elles émettent se superposent : c'est le phénomène d'**interférences**, qui donne des zones où l'amplitude est renforcée et d'autres où elle est annulée.

Définition. En un point M, la **différence de marche** est $\delta = |S_2M - S_1M|$ (en m) : c'est la différence des distances parcourues par les deux ondes.

Propriété. Pour deux sources synchrones émettant *en phase* et k entier : les interférences sont **constructives** si $\delta = k\lambda$ (les ondes sont en phase : amplitude maximale, frange brillante, son fort) ; elles sont **destructives** si $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (ondes en opposition de phase : amplitude minimale, frange sombre, silence).

4 FENTES D'YOUNG ET INTERFRANGE

Propriété. Deux fentes fines parallèles distantes de b , éclairées par une même source monochromatique, se comportent en sources synchrones. Sur un écran à la distance $D \gg b$, en un point d'abscisse x comptée à partir du centre : $\delta = \frac{bx}{D}$. Les franges brillantes ($\delta = k\lambda$) sont donc régulièrement espacées de l'**interfrange**

$$i = \frac{\lambda D}{b}.$$

Remarque. i augmente si l'on écarte l'écran ou si l'on rapproche les fentes ; il est plus grand dans le rouge que dans le bleu.

Propriété — lumière blanche. Chaque radiation donne son propre système de franges : la frange centrale ($\delta = 0$) reste blanche, puis les franges se décalent et se recouvrent en donnant des **couleurs interférentielles** (irisations des bulles de savon, des films d'huile).

■ DONNÉES — Valeurs de référence

Domaine visible : 400 nm (violet) à 800 nm (rouge) • laser hélium-néon : $\lambda = 633 \text{ nm}$ • $v_{\text{son, air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $\lambda = \frac{v}{f}$ •
 $1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Reconnaître une situation de diffraction et prévoir si le phénomène sera marqué ou non.
- Exploiter $\theta = \lambda/a$ et $L = 2\lambda D/a$ pour déterminer λ ou la dimension a d'une fente, d'un fil, d'un cheveu.
- Traiter une série de mesures : tracé, modélisation affine, exploitation du coefficient directeur, incertitude.
- Calculer une différence de marche et conclure à des interférences constructives ou destructives.
- Exploiter $i = \lambda D/b$ pour déterminer une longueur d'onde, un écart entre fentes ou une distance.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — tache de diffraction

Un laser $\lambda = 633 \text{ nm}$ éclaire une fente de largeur $a = 0,10 \text{ mm}$; l'écran est à $D = 2,50 \text{ m}$. Alors $\theta = \frac{\lambda}{a} = 6,3 \times 10^{-3} \text{ rad}$ et $L = \frac{2\lambda D}{a} = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 2,50}{1,0 \times 10^{-4}} = 3,2 \times 10^{-2} \text{ m}$, soit 3,2 cm.

★ EXEMPLE — mesurer l'épaisseur d'un cheveu

Le même laser éclaire un cheveu placé à $D = 2,00 \text{ m}$ de l'écran ; on mesure $L = 4,8 \text{ cm}$. Le cheveu se comporte comme une fente de même largeur : $a = \frac{2\lambda D}{L} = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 2,00}{4,8 \times 10^{-2}} = 5,3 \times 10^{-5} \text{ m}$, soit 53 μm .

★ EXEMPLE — interfrange

Des fentes d'Young distantes de $b = 0,30 \text{ mm}$ sont éclairées par ce laser, l'écran étant à $D = 2,00 \text{ m}$: $i = \frac{\lambda D}{b} = \frac{633 \times 10^{-9} \times 2,00}{3,0 \times 10^{-4}} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ m} = 4,2 \text{ mm}$. Mesurer 10 interfranges puis diviser par 10 améliore la précision.

★ EXEMPLE — nature des interférences

En un point M, la différence de marche vaut $\delta = 1,90 \mu\text{m}$ pour $\lambda = 633 \text{ nm}$. On calcule $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{1,90 \times 10^{-6}}{633 \times 10^{-9}} = 3,00$: $\delta = 3\lambda$ est un multiple entier de λ , les interférences sont constructives (frange brillante).

✗ PIÈGES

- Travailler en degrés dans $\theta = \lambda/a$: l'angle est en radians, et λ et a doivent être dans la même unité.
- Confondre le demi-angle θ et la largeur totale L de la tache centrale : $L = 2\theta D$, d'où le facteur 2.
- Confondre a (largeur d'une fente, diffraction) et b (écart entre deux fentes, interférences) : $L = 2\lambda D/a$ mais $i = \lambda D/b$.
- Croire que la diffraction change la couleur de la lumière : λ et f sont inchangées.
- Conclure sans comparer δ à λ : c'est le rapport δ/λ , entier ou demi-entier, qui décide.