

Prérequis

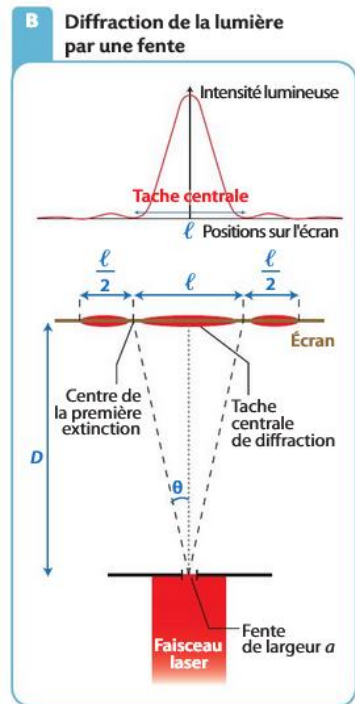
➤ Définitions de l'onde, de la période T, de la fréquence f et de la longueur d'onde λ

I. La diffraction

• Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=KLyGh3DHCO> (Stella) – 8'08''

1. Phénomène et conditions d'observation

- Expérience : Cuve à ondes
- Le phénomène de diffraction est une propriété des ondes. Quand l'onde traverse une ouverture (ou un fil), on observe un étalement des directions de propagation.
- Une onde progressive sinusoïdale conserve sa fréquence caractéristique f de la source, sa célérité v et donc sa longueur d'onde $\lambda = \frac{v}{f}$.
- Pour les ondes mécaniques, la taille de l'ouverture est même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde.
- Pour les ondes lumineuses, la taille de l'ouverture est jusqu'à 100 fois la longueur d'onde.



2. Angle caractéristique de diffraction

• Pour une ouverture rectangulaire de largeur a , $\sin(\theta) = \frac{\lambda}{a}$.

Si le rapport $\frac{\lambda}{a}$ est petit, alors $\sin(\theta) \approx \theta$ (en rad) et $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

• Dans le cas d'une ouverture circulaire de diamètre d et d'un rapport $\frac{\lambda}{d}$ petit : $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{d}$

3. Conséquences

- La diffraction permet de mesurer la taille d'objets (granulométrie)
- Par contre, la diffraction limite l'observation des astres.

4. Exercice d'application

- Un pointeur laser est utilisé dans le montage suivant : une fente verticale, de largeur a très petite, est placée sur le trajet du faisceau et un écran est situé à la distance D de la fente.
- Plusieurs expériences dont les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous sont réalisées.

Expérience	λ de la source	Largeur de la fente	Distance à l'écran	Largeur de la tache centrale
1	λ_1	a	D	$L_1 = 3,4 \text{ cm}$
2	$\lambda_2 = 405 \text{ nm}$	a	D	$L_2 = 2,1 \text{ cm}$
3	$\lambda_2 = 405 \text{ nm}$	$a_3 = \frac{a}{2}$	D	$L_3 = 2 L_2$
4	$\lambda_2 = 405 \text{ nm}$	a	$D_4 = \frac{D}{2}$	$L_4 = \frac{L_2}{2}$

• Trois expressions de la largeur L de la tache centrale sont proposées :

① $L = 2\lambda \times a \times D$; ② $L = \frac{2\lambda \times D}{a}$; ③ $L = \frac{2\lambda}{D \times a}$

4.1. A partir des expériences, éliminer deux des trois expressions.

.....

.....

.....

.....

4.2. Vérifier par une analyse dimensionnelle que celle retenue est pertinente.

.....

4.3. Etablir la relation entre $\lambda_1, \lambda_2, L_1$ et L_2 .

.....

4.4. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ_1 .

.....

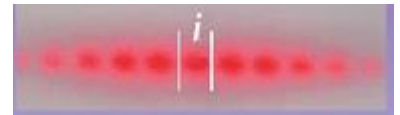
Q.C.M. 1 p.375 ; Ex. p.376 ; Ex. 8 p.378 ; Ex. 20 p.380 ; Ex. 27 p.383 ; Ex. 29 p.384 ; ECE p.385

II. Les interférences

- Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=QenZTqVq4OM>(Stella) – 11'25''

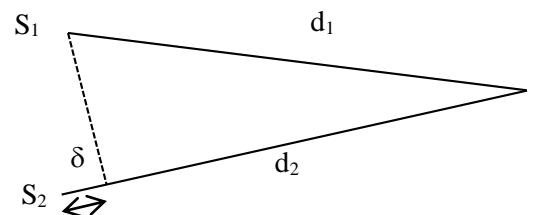
1. Phénomène et conditions d'observation

- Expérience : Cuve à ondes
- Les interférences à 2 ondes résultent de la superposition de même nature et de même fréquence. Les sources doivent être synchrones et cohérentes (déphasage constant entre les sources).
- On observe des petites taches de même largeur à l'intérieur de la tache centrale de diffraction.



2. Conditions d'interférences constructives et destructives

- Deux sources S_1 et S_2 ponctuelles synchrones en phase émettent des ondes sinusoïdales de même période T se propageant dans un milieu homogène.
- Les interférences sont constructives quand les 2 ondes sont en phase au point M . L'amplitude résultante est maximale.
La différence de chemin optique $\delta = d_2 - d_1 = k \times \lambda$ avec k entier relatif.
- Les interférences sont destructives quand les 2 ondes sont en opposition de phase au point M . L'amplitude résultante est minimale.

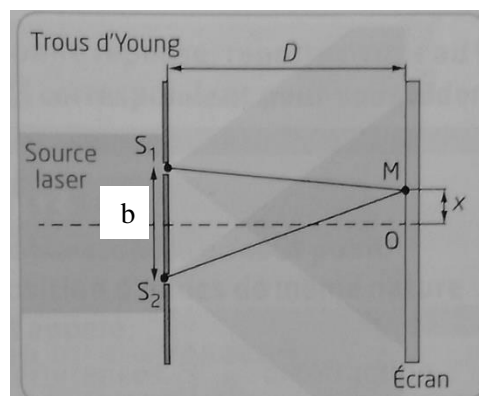


La différence de chemin optique $\delta = d_2 - d_1 = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ avec k entier relatif.

➤ La démonstration de ces conditions est à retenir.

3. Interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

- Les trous d'Young permettent d'obtenir deux sources lumineuses synchrones et cohérentes à partir d'une source lumineuse monochromatique.
- Dans la figure de diffraction, on observe alternativement des franges brillantes et des franges sombres
- La longueur d'onde λ est celle du milieu traversé. La longueur d'onde dans le vide est notée λ_0 .
- L'indice de réfraction du milieu est $n = \frac{c}{v}$ avec c la célérité de la lumière dans le vide et v celle dans le milieu. On montre que $\lambda = \lambda_0/n$



- La différence de chemin optique $\delta = n \times (S_1M - S_2M)$
 - Si $\delta = k \times \lambda_0$ avec k entier relatif, les interférences sont constructives. On observe des franges brillantes.
 - Si $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda_0$ avec k entier relatif, les interférences sont destructives. On observe des franges sombres.
- L'interfrange i est la distance entre les centres de 2 franges brillantes consécutives (ou deux franges sombres consécutives)
 - On démontre que $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$

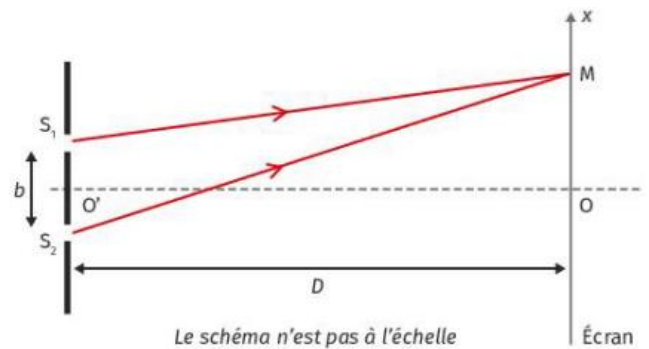
4. Conséquences

- Les interférences destructives sont utilisées dans les casques à réduction active de bruit.
- Les interférences sont utilisées en cristallographie par rayons X.
- Les interférences expliquent les couleurs interférentielles du paon ou les irisations d'une bulle de savon.

5. Etablir l'expression de l'interfrange (A savoir démontrer)

- Les fentes (ou trous) d'Young, distant(e)s de b , sont éclairé(e)s par un faisceau laser de longueur d'onde dans le vide λ_0 . Les deux sources sont en phase.
- Donnée : En un point M d'abscisse x , la différence de chemin optique dans un milieu d'indice de réfraction n est donnée par la relation $\delta_0 = \frac{n \times b \times x}{D}$ avec $D \gg b$, $D \gg x$.

5.1. Déterminer l'expression de l'interfrange $i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$.

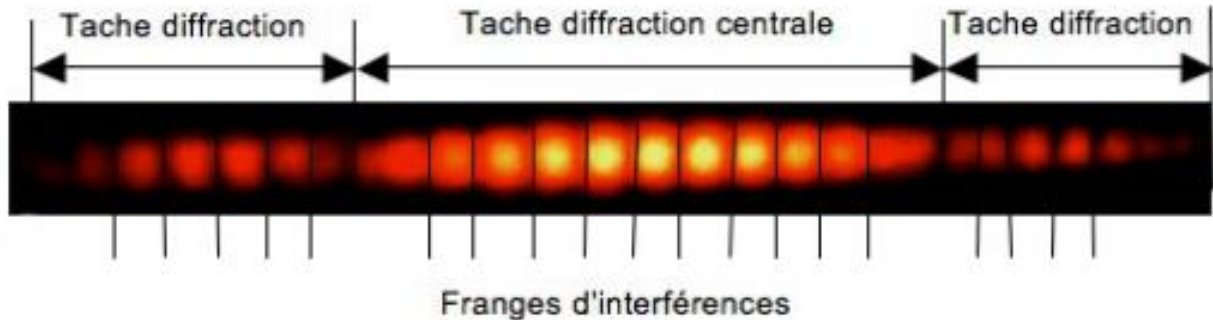


5.2. Données : $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$; $b = 0,20 \text{ mm}$; $D = 1,9 \text{ m}$.

Calculer l'interfrange i_0 pour l'air d'indice $n_0 = 1,0$ puis l'interfrange i_1 pour l'eau d'indice $n_1 = 1,5$.

6. Exercice : Interférences et diffraction

- Lorsque l'expérience des fentes d'Young est réalisée, les deux fentes étant très proches l'une de l'autre, leurs figures sont superposées sur l'écran. Les franges d'interférences sont visibles, en particulier dans la tache centrale de diffraction.
- Résultats de l'expérience : Pour une onde monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ dans l'air d'indice de réfraction $n = 1,00$ et des fentes de largeur $a = 70 \text{ }\mu\text{m}$ situées à une distance $D = 2,1 \text{ m}$, on observe la figure suivante sur l'écran à l'échelle 2.



➤ Donnée : La largeur de la tache centrale a pour expression : $L = \frac{2\lambda_0 \times D}{a}$

6.1. Calculer la largeur L de la tache centrale. La valeur est-elle cohérente avec la figure observée ?

.....

6.2. En déduire la valeur de l'interfrange i.

.....

6.3. Calculer la distance b entre les fentes.

.....

6.4. Le constructeur indique que la diapositive utilisée comporte 3 doubles fentes qui sont écartées soit de 0,20 mm, soit de 0,30 mm soit de 0,40 mm. La largeur de chaque fente est de 70 μm . Comparer le résultat précédent avec les données du constructeur.

.....

6.5. Le laser rouge est remplacé par un laser vert de longueur d'onde $\lambda' = 530 \text{ nm}$, sans toucher au reste du dispositif expérimental. Prévoir les modifications que doit subir la figure observée sur l'écran.

.....

- Q.C.M. 2-3 p.375 ; Ex. p.377 ; Ex. 12 p.37 ; Ex. 14 p.379 ; Ex. 16 p.379 ; Ex. 19 p.380 ;
 Ex. 23 p.381 ; Ex. 24 p.382 ; Ex. 25 p.382 ; Ex. 28 p.383 ; Ex. 30 p.385