

LP 4 : Aspects ondulatoire en optique

Éléments imposés : couleurs d'une bulle de savon, effet Doppler (vitesse radiale d'une étoile, décalage vers le bleu ou le rouge), mesure de la taille d'un cheveu

Matériel : 2 laser de longueur d'onde différente (de classe 1 de préférence)
1 fente réglable et fentes doubles
1 écran
1 banc optique
1 mètre

Niveau : TS

Pré-requis : - optique géométrique (1ere S)
- incertitudes (TS)
- ondes mécaniques (définition et propriétés) (TS)
- sources lumineuses mono et polychromatique (1ere S)
- effet Doppler (à voir selon l'élément imposé)

Biblio : - Hachette TS enseignement spécifique
- Nathan collection sirius TS enseignement spécifique (édition 2017)
- Hatier, microméga, TS enseignement spécifique

Intro péda : Leçon en TS dans le grand thème « observer ». En effet, on va comprendre la physique de phénomène que l'on peut observer et on va essayer de remonter à des formules grâce à des observations et choix de faire beaucoup de petites expériences, vidéos et animations pour illustrer le cours.

Ce cours suivra cours sur ondes mécaniques et on réutilisera un peu les ondes mécaniques dans cette leçon

Pré-requis

Obj : - Comprendre les phénomènes de diffraction et d'interférence et identifier les situations où ces phénomènes interviennent

Ils ont déjà vu en 1ere le caractère corpusculaire de la lumière et l'optique géométrique, on va leur montrer que ça ne suffit pas pour expliquer tous les phénomènes optiques et ainsi introduire le caractère ondulatoire.

Difficultés : - bien comprendre que la lumière a un caractère ondulatoire (alors que pour l'instant les élèves ont vu que partie corpusculaire) → analogie avec ondes mécaniques

- bien distinguer les 2 phénomènes → animations et schéma

Choix de passer plus de temps sur diffraction et moins sur interférence, il faudra revenir dessus soit en TP soit dans un cours qui suivra celui ci

TP : mettre en pratique par eux même ce qui a été montré (leur faire calculer taille d'un objet ou fente ou distance entre 2 objets/fentes)

TD : Prévoir quel phénomène pourrait être observable et si il l'est effectivement ou non (conditions d'observation) + utilisation des formules du cours

Intro :

Vous avez vu, l'année dernière, que la lumière avait un caractère corpusculaire → c'était la théorie au XVIIème siècle parce que c'était la théorie de Newton qui était plus reconnue, à cette époque, que Huygens qui lui défendait une théorie ondulatoire de la lumière.

Or au XIXème siècle : expérience des fentes de Young (et théorisée par Fresnel) qui fait passer de la lumière à travers des fentes → observation de diffraction et interférence comme pour ondes mécaniques → lumière a aussi caractère ondulatoire.

Rappel déf onde (+ lumière?) (cf diapo)

I) La diffraction

A) Mise en évidence expérimentale

Ou à la surface de l'eau quand mer passe par endroit plus étroit → vagues courbées (cf diapo)
On va essayer de comprendre ce phénomène qui s'appelle diffraction

Exp : fente + laser → observation de plusieurs tâches (optique géométrique prévoit une seule tâche)
Vous avez peut être déjà observer la lumière qui passe à travers un trou très fin dans un volet ou un rideau → taches sur le mur c'est pareil

Et si on bouge la fente → taille tâches change

Quels paramètres peuvent l'influencer et comment ?

Dans l'expérience on a D , λ et a (cf diapo ou faire schéma au tableau)

Construire petit à petit la formule au tableau

Exp : mesurer taille tâche centrale (L) pour 2 D différents (et en faire plus en préparation) → on voit qu'il y a une dépendance linéaire en D

Exp : mesurer taille tâche pour 2 a différents (et en faire plus en préparation) → taille tâche inversement proportionnelle à a

Exp : mesurer taille tâche pour 2 lasers différents (ou montrer animation :

<http://labosims.org/animations/diffraction/diffraction.html> il manque juste modification de D et si fente trop large) → dépendance linéaire en λ

En connaissant a et D → on remonte au facteur 2

→ $L = 2\lambda D/a$

B) Définition et conditions d'observation

Diffraction : modification de la propagation d'une onde sans changement de fréquence ou de longueur d'onde au passage d'un obstacle

Exp : si on ouvre trop la fente → plus de figure de diffraction

Conditions d'observation : obstacle ne doit pas être trop grand

Sur schéma (diapo) on a θ , par trigonométrie $\tan\theta = L/2D = \theta$ (approximation petits angles)

→ $\theta = \lambda/a$: si $a \gg \lambda$ alors $\theta \rightarrow 0$ (pas de diffraction)

si $a \ll \lambda$ alors θ très grand (lumière partout)

si $a = \lambda$ c'est bon

C) Application : mesure de l'épaisseur d'un cheveu

Exp : Cheveu à la place de la fente, on observe même figure → on peut utiliser même formule. On a fait droite d'étalonnage de a en fonction de $1/L$ → détermination épaisseur cheveu avec incertitudes

Tr : On a mis une fente mais si on met 2 fentes qu'est ce qu'il se passe ? On voit qu'il y a des tâches dans les tâches

II) Les interférences

A) Etude expérimentale

<https://www.youtube.com/embed/Iuv6hY6zsd0?start=285>" (à 4 min 45)

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/cuve_ondes/interference_ondes_circulaires.html

On observe que lorsque l'on a 2 sources d'onde mécanique à la surface de l'eau, la propagation des ondes est modifiée là où les 2 ondes se rencontrent et on observe une figure d'interférence. Et si on fait une coupe dans la zone où les 2 ondes interfèrent on aurait la même figure que sur l'écran.

Avec lumière, c'est pareil <http://labosims.org/animations/interference/interference.html>

si ondes en phase → max d'intensité (**interférence constructive**)

si en opposition de phase → min d'intensité (**interférence destructive**)

B) Définition et conditions d'observation

Interférence = phénomène par lequel la superposition de 2 ondes modifie l'intensité locale observée. Il faut 2 sources, dans video c'est les 2 balles

En optique, on a la **source primaire** = laser qui va être diffractée par les 2 fentes et chaque fente correspond à une **source secondaire** de lumière, on a alors 2 sources mais ne fonctionnent pas si on a n'importe quelles sources lumineuses.

Rq : ici on a une figure d'interférence uniquement en perpendiculaire des fentes et tâches plus intenses au centre qu'aux extrémités mais c'est dû à la diffraction, interférence = dans tout l'espace (comme on peut le voir sur l'animation)

Conditions d'observation : - les 2 sources doivent avoir même fréquence

- les 2 sources doivent être **cohérentes** (déphasage constant) (proviennent d'une même source primaire)

Tr : Peut-on utiliser ce phénomène pour remonter à une grandeur physique ?

C) Application : mesure d'une longueur d'onde

En fonction du temps faire plus ou moins la demo de la différence de marche et de l'interfrange + vérif expérimentale de la dépendance en les différents paramètres

Sirius p84

Dans l'air, on peut appeler **différence de marche δ** en un point M (**doc. 11**) la différence entre les deux distances d_1 et d_2 , distances entre chacune des sources et le point M :

$$\delta = d_2 - d_1 = S_2M - S_1M$$

δ peut prendre une valeur positive, négative ou nulle.

Si v est la célérité des ondes dans le milieu de propagation :

$$d_2 = v\tau_2 \text{ et } d_1 = v\tau_1 \Rightarrow \delta = d_2 - d_1 = v(\tau_2 - \tau_1)$$

Il y a interférences constructives si :

$$\tau_2 - \tau_1 = kT \Rightarrow \delta = d_2 - d_1 = kvT = k\lambda.$$

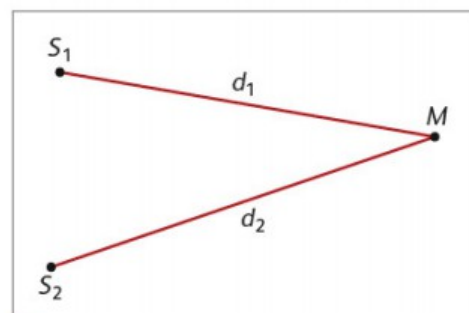
Il y a interférences destructives si :

$$\tau_2 - \tau_1 = (2k + 1)\frac{T}{2} \Rightarrow \delta = d_2 - d_1 = (2k + 1)\frac{vT}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

Les interférences sont :

- **constructives** si $\delta = k\lambda$, avec $k \in \mathbb{Z}$;

- **destructives** si $\delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$, avec $k \in \mathbb{Z}$.



11 Différence de marche $\delta = d_2 - d_1$.

On observe donc des petites tâches et la distance entre 2 parties sombres = 2 min d'intensité (ou 2 max d'intensité) = **interfrange**

On a $i = \lambda D/b$ (cf diapo)

(Exp : Hachette p74)

Détermination de la longueur d'onde d'un laser (mesurer plusieurs i pour être plus précis) avec incertitudes)

D) Irisation d'une bulle de savon

Sirius p 86 et Microméga p87

III) Effet Doppler : détermination de la vitesse angulaire d'une étoile

Microméga p88 et 89 et Hachette p70-71

<http://www.jf-noblet.fr/doppler/tp2-1.htm>

<http://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/effet-doppler.aspx>

(à partir de 2min30)

Conclusion : (cf diapo)

On a vu que lorsqu'une onde passe un obstacle de taille caractéristique du même ordre de grandeur que la longueur d'onde \rightarrow phéno de diffraction (modification de la propagation de l'onde)

Quand on a 2 sources cohérentes (déphasage constant) et de même fréquence \rightarrow modification de l'intensité locale.

Ouverture (en fonction de ce dont on a parlé avant) : Effet Doppler, détermination de la taille d'un objet (ex cheveu)

Rq : Revoir les notions de cohérences temporelles et spatiales