

LES ONDES

Terminale spécialité - Ondes et signaux

Objectifs du chapitre

- Relier période, fréquence, célérité et longueur d'onde.
- Expliquer et exploiter une figure de diffraction.
- Caractériser les interférences de deux ondes cohérentes.
- Mesurer une longueur d'onde avec les fentes de Young.
- Interpréter un décalage Doppler et déterminer une vitesse radiale.

1. Décrire une onde périodique

- Une onde est la propagation d'une perturbation qui transporte de l'énergie sans transport global de matière. Une onde mécanique nécessite un milieu matériel ; une onde électromagnétique peut se propager dans le vide.
- La période T est la durée d'un motif, en seconde. La fréquence f est le nombre de motifs par seconde, en hertz. La célérité v est la vitesse de propagation. La longueur d'onde λ est la distance parcourue pendant une période.

Relations fondamentales

$$f = 1 / T$$

$$\lambda = v T = v / f$$

$$\text{Dans le vide : } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

Point de vigilance

La fréquence est imposée par la source. Lors d'un changement de milieu, la fréquence reste constante tandis que la célérité et la longueur d'onde peuvent changer.

DIFFRACTION

Étalement d'une onde

2. Définition

La diffraction est l'étalement d'une onde lorsqu'elle traverse une ouverture ou contourne un obstacle. Elle devient importante lorsque la dimension a de l'ouverture ou de l'obstacle est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ .

Ecart angulaire

- Pour une ouverture de largeur a :

θ environ λ / a

θ s'exprime en radian ; λ et a doivent être dans la même unité.

Diffraction par une fente

- Un laser éclaire une fente de largeur a . Sur un écran situé à la distance D , on observe une large tache centrale entourée de taches secondaires moins lumineuses.

Si L est la largeur de la tache centrale : $\tan(\theta) = (L/2)/D$.

Pour les petits angles : L environ $2 \lambda D / a$.

Interprétation

- Plus la longueur d'onde est grande, plus la diffraction est marquée.
- Plus l'ouverture est petite, plus la tache centrale est large.
- La diffraction ne modifie pas la fréquence de l'onde.

Application

Pour $\lambda = 650 \text{ nm}$ et $a = 0,10 \text{ mm}$: θ environ $6,5 \times 10^{-3} \text{ rad}$.

INTERFERENCES

Superposition de deux ondes cohérentes

3. Principe de superposition

Lorsque deux ondes de même nature se rencontrent, leurs élongations s'ajoutent. Une figure stable apparaît si les sources sont cohérentes : elles ont la même fréquence et un déphasage constant.

Différence de marche

Au point M : $\Delta = S_2M - S_1M$.

- La différence de marche compare les distances parcourues par les deux ondes.

Interférences constructives

- Les ondes arrivent en phase et l'amplitude est maximale.

Condition : $\Delta = k \lambda$, avec k entier.

- Pour la lumière : on observe une frange brillante.

Interférences destructives

- Les ondes arrivent en opposition de phase et l'amplitude est minimale.

Condition : $\Delta = (k + 1/2) \lambda$.

- Pour la lumière : on observe une frange sombre.

Conditions expérimentales

Les deux sources secondaires sont généralement obtenues à partir d'une même source. Elles doivent émettre des ondes de même fréquence, de même polarisation pour la lumière, et conserver un déphasage constant.

FENTES DE YOUNG

Mesurer une longueur d'onde

4. Dispositif

Une source monochromatique éclaire deux fentes fines S1 et S2 séparées par une distance b . Les fentes se comportent comme deux sources cohérentes. Un écran est placé à une distance D très supérieure à b .

Interfrange

- L'interfrange i est la distance séparant deux franges brillantes consécutives ou deux franges sombres consécutives.

$$i = \lambda D / b$$

$$\text{donc } \lambda = i b / D$$

Méthode expérimentale

- 1. Mesurer une distance couvrant plusieurs interfranges.
- 2. Diviser par le nombre exact d'interfranges.
- 3. Convertir i , b et D en mètres.

4. Calculer λ et vérifier son ordre de grandeur.

Application

Dix interfranges occupent 4,8 cm, donc $i = 4,8$ mm. Avec $b = 0,20$ mm et $D = 1,50$ m :
 $\lambda = i b / D = 6,4 \times 10^{-7}$ m = 640 nm.

Incertitude

Mesurer plusieurs interfranges réduit l'incertitude relative. Une régression de i en fonction de D peut également améliorer la précision : la pente vaut λ / b .

EFFET DOPPLER

Une fréquence reçue dépend du mouvement

5. Définition

L'effet Doppler est le décalage entre la fréquence émise et la fréquence reçue lorsque la distance entre la source et le récepteur varie.

Rapprochement

Les fronts d'onde se resserrent. La longueur d'onde reçue diminue et la fréquence reçue augmente : le son paraît plus aigu.

Eloignement

Les fronts d'onde s'espacent. La longueur d'onde reçue augmente et la fréquence reçue diminue : le son paraît plus grave.

Source mobile, récepteur fixe

$$f_R = f_E \times v / (v - v_S) \text{ pour un rapprochement.}$$

$$f_R = f_E \times v / (v + v_S) \text{ pour un éloignement.}$$

- v est la célérité de l'onde et v_S la vitesse radiale de la source.

Faibles vitesses

- Si la vitesse radiale est très petite devant la célérité :

$$|\Delta f| / f_E \text{ environ } |v_{\text{rad}}| / v.$$

Attention

L'effet Doppler renseigne uniquement sur la composante de la vitesse selon l'axe source-récepteur.

APPLICATIONS DU DOPPLER

Mesurer des vitesses sans contact

6. Ultrasons et radar

Une onde est émise vers un objet mobile puis réfléchi. Le décalage entre la fréquence émise et celle de l'écho permet de déterminer la vitesse radiale. Ce principe est utilisé pour l'échographie Doppler, les radars routiers et les radars météorologiques.

Doppler-Fizeau

En astronomie, les raies d'un spectre servent de repères. Un décalage vers les grandes longueurs d'onde traduit un éloignement ; un décalage vers les petites longueurs d'onde traduit un rapprochement.

Relation approchée

- Pour $|v_{\text{rad}}|$ très inférieur à c :

$$\Delta \lambda / \lambda_0 \text{ environ } v_{\text{rad}} / c.$$

Un $\Delta \lambda$ positif correspond à un éloignement avec la convention usuelle.

Application

Une raie de référence à 656,3 nm est observée à 656,5 nm. Le décalage positif indique un éloignement. v_{rad} environ $c \times 0,2 / 656,3$, soit $9,1 \times 10^4 \text{ m.s}^{-1}$.

Limites

Aux vitesses proches de celle de la lumière, la relation approchée n'est plus valable : il faut utiliser l'expression relativiste.

METHODES BAC

Choisir la bonne relation

7. Identifier le phénomène

- Fente unique et tache centrale : diffraction ; utiliser θ environ λ/a ou L environ $2 \lambda D/a$.
- Deux sources et franges régulières : interférences ; utiliser $\Delta = k \lambda$ ou $i = \lambda D/b$.
- Fréquence reçue différente de la fréquence émise : effet Doppler.

Démarche de résolution

- 1. Relever les données et leurs unités.
- 2. Faire un schéma et nommer les grandeurs.
- 3. Ecrire la relation littérale adaptée.
- 4. Isoler la grandeur cherchée.
- 5. Convertir en unités SI puis calculer.
- 6. Vérifier l'ordre de grandeur et conclure par une phrase.

Erreurs fréquentes

- Confondre largeur et demi-largeur de la tache centrale.
- Compter les franges au lieu des interfranges.
- Mélanger nm, mm et m.

Oublier que θ doit être exprimé en radian.

- Interpréter un décalage Doppler sans préciser rapprochement ou éloignement.

Ordres de grandeur utiles

Lumière visible : environ 400 à 800 nm.

- Ultrasons : fréquence supérieure à 20 kHz.

Son dans l'air à 20 degrés Celsius : environ 340 m.s⁻¹.

SYNTHESE

Les relations à connaître

Onde périodique

$$f = 1/T ; \lambda = v/f.$$

Diffraction

Le phénomène est marqué si a est comparable à λ .

$$\theta \text{ environ } \lambda/a ; L \text{ environ } 2 \lambda D/a.$$

Interférences

Constructives : $\Delta = k \lambda$.

Destructives : $\Delta = (k + 1/2) \lambda$.

Fentes de Young : $i = \lambda D/b$.

Effet Doppler

- Rapprochement : f reçue augmente.
- Eloignement : f reçue diminue.

Pour les faibles vitesses : $|\Delta f|/f \text{ environ } |v_{\text{rad}}|/v$.

Doppler-Fizeau

Pour les faibles vitesses : $\Delta \lambda / \lambda_0 \text{ environ } v_{\text{rad}}/c$.

Réflexe final

Toujours écrire la relation littérale, convertir en unités SI, contrôler l'ordre de grandeur et interpréter physiquement le résultat.