

Les différentes parties du sujet, en physique comme en chimie, sont largement indépendantes les unes des autres.

PHYSIQUE : LES ONDES

Données :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Pour un gaz parfait diatomique, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$; C_p et C_v désignent respectivement les capacités thermiques de ce gaz à pression constante et à volume constant.

La loi d'Avogadro-Ampère permet de calculer la masse molaire M (en grammes) d'un gaz considéré comme parfait : $M = 29 d$, d étant la densité du gaz par rapport à l'air.

$T (\text{K}) = 273 + t (^\circ\text{C})$.

A/ Généralités sur les ondes :

En s'appuyant pour chaque question sur des exemples concrets en physique:

- A-1. Définir une onde.
- A-2. Qu'appelle t'on onde progressive ?
- A-3. Quand peut-on qualifier une onde de longitudinale ? de transversale ? Illustrer par des schémas.
- A-4. Définir les périodes spatiale et temporelle. Illustrer par des graphiques.
- A-5. Donner une relation entre ces deux périodes.
- A-6. Qu'est-ce qu'un milieu dispersif ?
- A-7. Pour cette question, on se placera dans le cas d'une onde unidimensionnelle dont la dépendance temporelle est sinusoïdale.
Dans quelles conditions peut-on observer des ondes stationnaires ? Qu'est-ce qu'un mode propre de vibration ? Par quelle grandeur caractérise t'on un mode propre ? Quelle est la valeur de cette grandeur pour le mode fondamental par rapport aux modes harmoniques ? Quelle relation existe t'il entre cette grandeur pour les modes harmoniques et celle du mode fondamental ?

B/ Applications :

B-1 / Les ondes sonores et ultrasonores :

- B-1-1. Décrire une onde sonore.
- B-1-2. Donner une condition pour que ces ondes puissent se propager en s'appuyant le cas échéant sur une description expérimentale.
- B-1-3. Est-ce une onde transversale ou longitudinale ? Justifier votre réponse.
- B-1-4. Donner un ordre de grandeur de la bande passante de l'oreille humaine.
- B-1-5. Placer par rapport à cette bande passante les domaines des infrasons et ultrasons.
- B-1-6. Donner, à température ambiante, des ordres de grandeur de célérité pour le son dans les gaz, les liquides et les solides.
- B-1-7. Les ondes sonores dans les gaz :

- B-1-7-1. La théorie cinétique de Maxwell exprime la valeur moyenne $\bar{v}$ de la vitesse des molécules d'un gaz de masse molaire M par la relation

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

suivante : Comparer, pour l'air à 20°C, cette valeur moyenne avec la célérité du son. Commenter ce résultat.

- B-1-7-2. Rappeler la relation du gaz parfait et les limites de ce modèle ; préciser les unités en SI.

- B-1-7-3. On établit que la célérité du son c dans un gaz supposé parfait est

donnée par la relation $c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$, γ étant le rapport des capacités thermiques à pression constante et à volume constant. Calculer les valeurs de c pour l'air et le dihydrogène ($M_H = 2 \text{ g.mol}^{-1}$) à 20°C. Commenter la différence entre ces deux valeurs.

- B-1-7-4. Comment varie la célérité avec la température du milieu ? Proposer une explication de cette variation.

- B-1-8. Le sonar est un système émetteur et récepteur d'ultrasons qui permet de mesurer la profondeur des océans. Un sonar est disposé sous la coque d'un navire et émet des ondes de fréquence $\nu = 40,0 \text{ kHz}$ verticalement vers le fond de l'océan. Le récepteur placé à côté de l'émetteur arrête l'émission de l'onde dès la réception de l'onde réfléchiée par le fond. Un compteur relié à l'émetteur permet de dénombrer le nombre n de périodes temporelles complètes émises.

- B-1-8-1. Le navire teste d'abord son sonar en étant à l'ancre dans un port. La profondeur de l'eau dans le port est $h = 20,0 \text{ m}$. On réalise une mesure qui indique $n = 1100$. Déterminer la célérité c des ultrasons.

- B-1-8-2. Combien de périodes spatiales complètes l'onde réalise-t-elle entre l'émetteur et le fond du port ?

- B-1-8-3. La précision du compteur étant d'une oscillation, déterminer l'incertitude de la mesure de la profondeur de l'eau dans le port.

- B-1-8-4. Une mesure en mer donne $n = 110\,000$. Quelle est la profondeur de l'océan à cet endroit ?

- B-1-8-5. L'amplitude de la pression P associée à l'onde ultrasonore diminue lors de sa progression et peut être modélisée par l'expression mathématique suivante :

$$P = P_0 \cdot \exp(-\mu \cdot L)$$

P est l'amplitude de la pression lorsque l'onde a parcouru une distance L ; $P_0 = 10,0 \text{ Pa}$ est l'amplitude de la pression au niveau de l'émetteur ; $\mu = 2,50 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ est le coefficient d'amortissement du milieu.

Le récepteur est capable de détecter une onde dont l'amplitude de la pression est supérieure à $P_{\min} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$.

- B-1-8-5-1. Déterminer l'amplitude de l'onde reçue lors de la mesure précédente (au B-1-8-4) en admettant que le coefficient de restitution par le fond de l'océan est égal à 1.

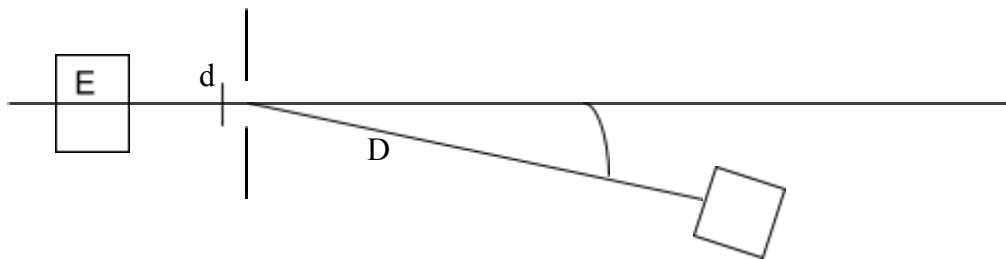
B-1-8-5-2. Quelle profondeur maximale le sonar peut-il en principe mesurer ? Commenter ce résultat.

B-1-9. On envisage maintenant la propagation d'ultrasons de fréquence $\nu = 40 \text{ kHz}$ dans l'air à $T = 293\text{K}$. L'onde supposée plane rencontre une ouverture ayant la forme d'une fente rectangulaire, de grande hauteur par rapport à la largeur, taillée dans une plaque métallique. La largeur de cette ouverture est notée « d » et vaut $d = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$.

On déplace un récepteur R sur un cercle de rayon D (distance entre l'ouverture et le récepteur) dans un plan contenant l'émetteur E et perpendiculaire au plan des plaques métalliques. On admet que l'intensité du son $I(\theta)$ recueillie par le récepteur dans la direction θ par rapport à l'axe médian « émetteur-fente » est de la forme:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)^2}$$

I_0 étant l'intensité sur l'axe médian à la distance D de la fente (voir schéma).



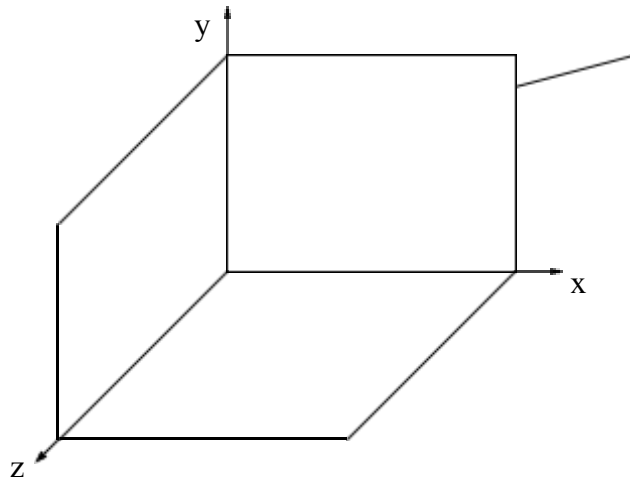
B-1-9-1. Tracer l'allure de la courbe représentant $\frac{I(\theta)}{I_0}$ en fonction de $\sin \theta$. On précisera les valeurs de $\frac{I(\theta)}{I_0}$ pour $\theta = 0$ et pour $\sin \theta = \frac{\lambda}{2d}$ ainsi que la valeur de $\sin \theta$, en fonction de λ et d , qui annule $\frac{I(\theta)}{I_0}$ pour la première fois.

B-1-9-2. Calculer la valeur en degrés de l'angle θ correspondant à $\frac{I(\theta)}{I_0} = 0,41$ pour les ultrasons utilisés.

Quelle devrait être la largeur « d' » de l'ouverture permettant d'obtenir le même rapport avec le même angle θ pour des sons de fréquence $\nu' = 400 \text{ Hz}$?
Commenter le résultat.

B-2 / Les ondes lumineuses :

- B-2-1. Décrire une onde lumineuse dans le vide.
- B-2-2. Dans le vide, est-ce une onde transversale ou longitudinale ? Justifier.
Qu'est ce qu'une lumière polarisée rectilignement? Décrire sommairement une expérience de mise en évidence de cette polarisation rectiligne.
- B-2-3. Comparer qualitativement les ondes lumineuses et sonores.
- B-2-4. Donner la place des ondes lumineuses dans le spectre des ondes électromagnétiques.
Décrire ce que l'on observe lorsqu'un pinceau de lumière blanche traverse un réseau ; expliquer brièvement le phénomène.
- B-2-5. Définir l'indice d'un milieu transparent, homogène et isotrope.
De quelle manière celui du verre dépend - il de la longueur d'onde ?
Comment qualifie t'on ce milieu ?
Qu'en résulte - t' - il pour un pinceau de lumière blanche qui traverse un prisme en verre ? Qu'observe t' - on ? Quelles sont les différences avec l'observation dans le cas du réseau ?
- B-2-6. Enoncer les lois de Snell-Descartes.
- B-2-7. Comment mesurer l'indice d'un solide ? d'un liquide ? On pourra décrire en quelques lignes une expérience réalisable par les élèves et/ou le principe d'un appareil de mesure.
- B-2-8. Télémétrie : mesure de la distance Terre-Lune.
Pour réaliser cette mesure, on utilise un laser sur Terre qui émet des impulsions de durée $\tau = 5 \times 10^{-10}$ s vers un réflecteur posé sur la Lune constitué d'un nombre important miroirs assemblés par 3 en occupant trois faces perpendiculaires entre elles d'un cube (formant un trièdre trirectangle).



- B-2-7-1. Pourquoi ne peut-on pas utiliser un simple miroir plan ?
- B-2-7-2. Montrer qu'un rayon lumineux arrivant sur un de ces miroirs est renvoyé vers la Terre après trois réflexions dans la même direction quelle que soit l'orientation du trièdre.
- B-2-8. A partir de quelle taille typique peut-on négliger la diffraction par un obstacle ? sur ses bords ? Justifier votre réponse.
En quoi les limites du modèle du rayon lumineux sont elles liées à la diffraction ?

B-2-9. Faire un schéma du dispositif permettant d'étudier la diffraction d'un faisceau laser par un cheveu. Sur ce schéma figureront toutes les notations utiles à cette étude. Donner l'allure de la figure de diffraction observée sur l'écran.

Qu'y aurait-il de changé si le cheveu était remplacé par une fente de même dimension que le cheveu ?

En vous tenant à vos notations, exprimer l'écart angulaire entre le milieu de la frange centrale et la première extinction du faisceau diffracté en fonction de l'épaisseur du cheveu et de la longueur d'onde du faisceau laser. Commenter cette relation.