Devoir Surveillé

Physique-chimie – DS 1

- **Calculatrices autorisées.**
- Toute A.N. sans **unité** ne comptera aucun point, et dégradera l'humeur du correcteur.
- Vérifiez l'**homogénéité** de vos relations.

I Questions courtes

Optique

1 - Quelle est la relation entre l'indice optique d'un milieu et la célérité de la lumière qui s'y propage ?

2 - Comment s'écrit la relation de Planck-Einstein qui donne l'énergie d'un photon en fonction de sa fréquence ?

Comment se nomme la constante qui y intervient, et quel est son ordre de grandeur et son unité ?

3 - Qu'est-ce qu'un dioptre ? Écrire la relation de Snell-Descartes. On fera un schéma dans le cas $n_1 > n_2$ en faisant figurer les angles.

Signaux et ondes

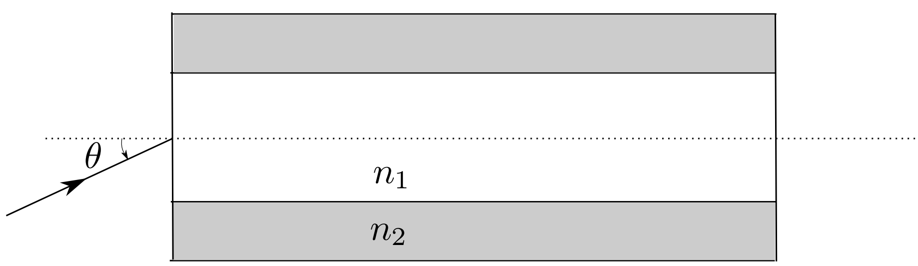
4 - On considère une onde progressive sinusoïdale. Quelle est la relation entre la période temporelle T et la pulsation de l'onde ?

Et celle entre la période spatiale λ et la norme du vecteur d'onde k ?

Quelle est la relation entre λ, T et c ?

II Fibre optique

On considère une fibre optique, constituée d'un cœur d'indice optique n_1 et d'une gaine d'indice optique n_2. Le tout est à géométrie cylindrique. L'objectif d'une fibre optique est de guider la lumière sur de longues distances.



On envoie en entrée un rayon lumineux avec une incidence θ comme sur le schéma ci-dessus. Le rayon est initalement dans l'air, d'indice optique 1.

5 - Quelle doit être la condition sur n_1 et n_2 pour que la fibre guide effectivement le rayon lumineux sur une longue distance ?

Faire un schéma représentant la suite du parcours du rayon.

6 - Déterminer l'angle θ maximal tel que le rayon reste guidé dans la fibre. Application numérique pour $n_2 = 1{,}48$ et $n_1 = 1{,}5$?

7 - On considère une fibre optique de longueur L, et un rayon arrivant en entrée sous une incidence θ. L'angle initial *dans* la fibre est noté θ_0.

Donner l'expression de la distance d parcourue par ce rayon entre son entrée et sa sortie de la fibre, en fonction de L et de θ_0.

En déduire l'expression du temps qu'il met à parcourir la fibre en fonction de L, θ_0, c et des indices.

8 - On envoie une impulsion lumineuse sous la forme d'un faisceau conique convergent vers l'entrée de la fibre. L'angle d'ouverture du cône est $\theta_m = 14°$. On a donc des rayons qui arrivent inclinés avec des angles compris entre 0 et θ_m.

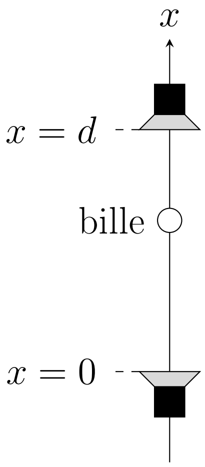
Donner la valeur de la différence de temps de parcours entre le rayon le plus rapide et le rayon le plus lent. On prendra $L = 1{,}0\,\text{km}$.

En déduire le temps Δt minimal qui doit séparer deux impulsions en entrée de la fibre.

En déduire la fréquence maximale à laquelle est transmise l'information.

III Lévitation acoustique

Les différentes parties de cet exercice sont assez indépendantes : ne vous découragez pas si vous bloquez à une question, tentez tout de même la partie suivante.



L'objectif de cette partie est d'étudier la faisabilité d'une expérience de lévitation acoustique schématisée ci-contre : une petite bille de polystyrène, placée entre deux hauts-parleurs, lévite sous le seul effet de l'onde acoustique qui permet de compenser son poids.
Les deux hauts-parleurs sont placés le long d'un axe x vertical, séparés d'une distance d. Le haut-parleur du bas se trouve en $x = 0$. Ils sont alimentés en parallèle par un même générateur délivrant une tension $e(t) = E_0 \cos(2\pi f t)$ de fréquence $f = 17{,}0\,\text{kHz}$. Chaque haut-parleur émet une onde acoustique d'amplitude (en pression) P_0, de même pulsation que celle de la tension d'alimentation. Au niveau de chaque haut-parleur, l'onde est en phase avec la tension d'alimentation.

Pour simplifier, on suppose que la présence d'un haut-parleur ne perturbe pas l'onde émise par l'autre haut-parleur, en particulier qu'elle n'engendre pas d'onde réfléchie. On néglige de plus toute atténuation des ondes sonores émises par les hauts-parleurs.

Données :

- vitesse du son dans l'air $c \simeq 340\,\mathrm{m\,s^{-1}}$
- accélération de la pesanteur $g \simeq 10\,\mathrm{m\,s^{-2}}$.

Étude générale

L'onde émise par le haut-parleur du bas est décrite par la surpression

$$P_{\text{bas}}(x,t) = P_0 \cos(\omega t \pm kx + \varphi_{\text{bas}})\,. \tag{1}$$

9 - Calculer numériquement la longueur d'onde des ondes sonores émises.

10 - Comment nomme-t-on une onde du type donné par l'équation (1) ?

Quel signe $\pm$ faut-il conserver devant le terme kx pour avoir propagation vers le haut ?

Exprimer sans démonstration les deux paramètres ω et k en fonction des données de l'énoncé (c et f).

11 - Justifier que $\varphi_{\text{bas}} = 0$.

De même, l'onde émise par le haut-parleur du haut s'écrit

$$P_{\text{haut}}(x,t) = P_0 \cos(\omega t \pm kx + \varphi_{\text{haut}})\,. \tag{2}$$

12 - Quel signe $\pm$ faut-il conserver dans cette expression ? Montrer que $\varphi_{\text{haut}} = -kd$.

13 - Écrire l'onde $P(x,t)$ résultant de la superposition des ondes émises par les deux hauts-parleurs. Écrire $P(x,t)$ sous forme d'un produit de cosinus [1].

On donne pour cela la formule $\cos a + \cos b = 2\cos\left(\dfrac{a+b}{2}\right)\,\cos\left(\dfrac{a-b}{2}\right)$.

Comment nomme-t-on une telle onde ? Qu'est-ce qui la distingue fondamentalement des ondes émises par chaque haut-parleur individuellement ?

14 - Définir un nœud et un ventre de vibration. Calculer la distance séparant deux nœuds de vibration consécutifs. Par analogie, en déduire sans calcul la distance séparant deux ventres consécutifs, puis la distance séparant un nœud et un ventre consécutifs.

1. Vous remplacerez évidemment φ_{haut} et φ_{bas} par leurs expressions.

Cas où il y a résonance

Pour que l'effet soit maximal, il faut que l'onde résultante soit résonante. On a alors une onde stationnaire entre les deux hauts-parleurs, avec (on l'admet ici) un nœud de pression au niveau de chaque haut-parleur. La longueur d'onde λ reste fixée par la fréquence.

15 - Dans le cas de la **corde de Melde** vu en cours, si on note d_n la longueur totale de la corde et que λ est fixée, quelle est l'expression de d_n en fonction de λ et d'un entier n ?

16 - Dans le cas présent, les calculs de la partie précédente montrent qu'on a un nœud sur chaque haut-parleur à condition que $\cos(\pi d/\lambda) = 0$. En déduire l'expression des distances d_n possibles.

Schématiser l'allure de $P(x,t)$ pour les deux entiers les plus faibles. Légender ce schéma en indiquant les nœuds et les ventres de surpression, ainsi que la longueur d'onde.

Pression nécessaire à la lévitation

Pour estimer un ordre de grandeur sans calcul complexe, on suppose que la bille de polystyrène est en fait un cylindre de rayon $R = 2\,\mathrm{mm}$, dont la base inférieure est au niveau d'un ventre, et la base supérieure au niveau d'un nœud. On note ρ la masse volumique du cylindre, et R sa hauteur.
On rappelle que la force de pression qui s'exerce sur une surface S est donnée par $F = S \times P$ avec P la pression. D'après la première partie, l'amplitude au niveau d'un ventre est de $2P_0$, et elle est évidemment nulle au niveau d'un nœud.

17 - Montrer par un bilan des forces qu'elle peut léviter si

$$P_0 \simeq \frac{1}{2}\rho g R. \tag{3}$$

18 - Supposons $R \simeq 2\,\mathrm{mm}$ et $\rho \simeq 10\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$. Calculer la valeur de P_0 nécessaire à la lévitation. Conclure avec le document ci-dessous : l'expérience est-elle raisonnablement faisable ?

Pression acoustique (Pa)	Niveau sonore (dB)	Exemples
200	140	avion au décollage
20	120	seuil de douleur
2	100	klaxon
0,2	80	voiture dans la rue
0,02	60	conversation
0,002	40	salle de DS
0,0002	20	vent léger

À regarder plus tard : une preuve en vidéo que cela fonctionne, https://www.youtube.com/watch?v=odJxJRAxdFU