Chapitre 6
Ondes stationnaires

Révision et Résumé

Dans le livre Le chapitre 6 correspond au paragraphe 2 de la partie 2 du livre, page 40 à 44. Aucune activité ne correspond à ce chapitre. Les exercices corrigés correspondants sont n° 13 et 18 pages 58 et 60.

Extrémités Lorsqu'une onde progressive arrive à l'extrémité d'une corde, elle peut être absorbée, ou se réfléchir en changeant de signe (extrémité fixe) ou sans changement de signe (extrémité libre).

Stationnaire En tenant compte des réflexions sur les extrémités, une onde progressive se recouvre elle-même pour former une onde stationnaire.
On peut ainsi interpréter une onde stationnaire comme la superposition d'une onde progressive incidente et d'une onde progressive réfléchie.

Condition La condition d'existence d'une onde stationnaire de longueur d'onde λ sur une corde de longueur L tendue entre deux points fixes, est :

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

Quantification De la formule précédente et de la relation :

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

où l'on a noté v la célérité des ondes sur la corde, on déduit la quantification des fréquences des ondes stationnaires :

$$f_n = nf_1 \quad \text{avec} \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

L'expression de f_1 n'a pas à être mémorisée, il faut savoir la retrouver.

Analogie Tous les résultats énoncés pour la corde se retrouvent de façon totalement analogue dans le cas d'une colonne d'air.

Mots clés

ventres	**quantification des fréquences**	**onde progressive incidente**
nœuds	**onde stationnaire**	**onde progressive réfléchie**

Questions

Q 1 Donner une définition pour chacun des mots clefs ci-dessus.

Q 2 Expliquer pourquoi les caisses de résonance sur lesquelles sont montés les diapasons sont d'autant plus grandes que la fréquence de la note émise par le diapason est basse.

Exercices

N'oubliez pas les exercices résolus n°13 p. 58 et 18 p. 60.

Ondes stationnaires

6.1 N°11 p. 58 : Ondes stationnaires

6.2 N°12 p. 58 : Onde progressive le long d'une corde

Influence de la célérité

6.3 Corde de banjo

a. Calculer la célérité d'une onde sur une corde de banjo de masse $m = 1,1$ g, de longueur 54 cm, tendue par une force de 71 N.

b. En déduire la fréquence du son fondamental.

Donnée : la célérité v d'une onde le long d'une corde de masse linéïque μ (rapport de la masse de la corde en kg sur la longueur de la corde en m) tendue entre deux points par une force de valeur F s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

6.4 N°24 p. 62 : Cordes de guitare en nylon

Aspect expérimental

6.5 Onde stationnaire dans un tuyau

Un tuyau sonore de longueur L est ouvert à ses deux extrémités. Devant l'une d'elles, on place un haut-parleur relié à un GBF délivrant une tension sinusoïdale de fréquence réglable.

On modifie la fréquence du GBF en partant d'une valeur très faible et on note les valeurs pour lesquelles le son est nettement audible dans le tuyau. Ces valeurs sont consignées dans le tableau suivant.

f (Hz)	142	283	425	567	708	850

On admet qu'à chacune de ses extrémités, la colonne d'air présente un ventre de vibration.

a. Quelle est la fréquence du fondamental pour ce tuyau ?

b. Représenter sur un schéma les positions des ventres et des nœuds de vibration pour $f = 425$ Hz.

c. Sachant que pour cette expérience, la célérité du son dans l'air vaut $v = 340$ m.s^{-1}, calculer la longueur du tuyau.

d. On chauffe le tube et l'air qu'il contient. La température de ce dernier passe de $T = 298$ K à $T' = 330$ K. Sachant que la célérité de l'onde dans l'air est proportionnelle à $\sqrt{T}$, comment varient les fréquences du tableau précédent ?

e. Calculer, à $T' = 330$ K, la fréquence du mode fondamental.

6.6 Tube de Kundt

Un tube de Kundt est composé d'un tube horizontal dans lequel repose une poudre fine et légère. Le tube est fermé à ses deux extrémités par des bouchons dont l'un est relié à une tige métallique. En frottant cette dernière, on créé une onde sonore dans l'air du tube et la poudre, agitée par l'onde, se répartit en petits tas régulièrement espacés.

a. Les tas correspondent-ils à des nœuds ou des ventres de vibration ? Expliquer.

b. Les tas sont séparés de 11,0 cm. La célérité du son dans l'air valant $v = 340$ m.s^{-1}, calculer la fréquence de l'onde.

⋆⋆⋆

Corrigé 6
Ondes stationnaires

Questions

Q 1 Définition des mots clefs :

Ventre & nœud Un ventre est une zone de vibration d'une onde stationnaire d'amplitude maximale (ou nulle pour un nœud).

Quantification Fait selon lequel les fréquences de vibration d'une onde stationnaire prennent uniquement des valeurs que l'on peut quantifier par un nombre entier n, qui représente aussi le nombre de fuseaux formés sur la corde.

Stationnaire Par opposition à une onde progressive qui se déplace, une onde stationnaire consiste en des vibrations de la corde qui ne se déplacent pas.

Q 2 La caisse de résonance a des dimensions qui permettent l'apparition du premier mode de vibration, un seul ventre, de taille $L = \lambda/2$. λ étant inversement proportionnel à la fréquence f, plus la fréquence est basse (note plus grave), plus la caisse de résonance du diapason doit être de grande taille.

Exercices

6.3 Corde de banjo

a. Masse linéïque de la corde :

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{1,1\cdot 10^{-3}}{54\cdot 10^{-2}} = 2,0\cdot 10^{-3}\ \text{kg.m}^{-1}$$

Célérité de l'onde :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{71}{2,0\cdot 10^{-3}}} = 187\ \text{m.s}^{-1}$$

b. Le son fondamental correspond à l'apparition d'un seul fuseau de longueur $\lambda_1/2$ sur la corde. Donc :

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \quad \text{et} \quad \lambda_1 = \frac{v}{f_1}$$

$$\Rightarrow \quad L = \frac{v}{2f_1} \quad \Leftrightarrow \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

Application numérique :

$$f_1 = \frac{187}{2 \times 0,54} = 173\ \text{Hz}$$

6.5 Onde stationnaire dans un tuyau

a. La fréquence du fondamental est la plus petite valeur de f pour laquelle le tuyau émet un son audible. Il s'agit donc de $f_1 = 142$ Hz.

b. La fréquence de 425 Hz correspond à $f_3 = 3f_1$. Sachant qu'à chaque extrémité du tuyau, il y a un ventre de vibration, et que la longueur du tuyau vaut $3\lambda_n/2$, il y a trois nœuds de vibration dans la colonne d'air (et aussi quatre ventres).

c. La longueur du tuyau et la longueur d'onde sont reliées par :

$$L = n\frac{\lambda_n}{2}$$

avec $n = 3$. La célérité v de l'onde étant connue, on en déduit :

$$L = 3\frac{\lambda_3}{2} \quad \text{et} \quad \lambda_3 = \frac{v}{f_3}$$

$$\Rightarrow \quad L = \frac{3v}{2f_3} = \frac{3v}{2 \times 3f_1} = \frac{v}{2f_1} = \frac{340}{2 \times 142} = 1,20\ \text{m}$$

d. En chauffant l'air, T augmente. La célérité étant une fonction croissante de la température T, elle augmente aussi. À la longueur L constante, on peut écrire d'après la question **c** :

$$L = \frac{v}{2f_1} \quad \text{donc} \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

f_1 est une fonction croissante de v donc de T. La fréquence f_1 et par conséquence toutes les fréquences $f_n = nf_1$ augmentent avec la température.

e. À $T' = 330$ K, la célérité v' de l'onde vérifie :

$$v = k\sqrt{T} \quad \text{et} \quad v' = k\sqrt{T'} \quad \Rightarrow \quad \frac{v'}{\sqrt{T'}} = \frac{v}{\sqrt{T}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{T'}{T}}$$

La longueur L reste inchangée donc :

$$L = \frac{v}{2f_1} = \frac{v'}{2f_1'}$$

et donc la fréquence f_1' du mode fondamental vérifie :

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{T'}{T}} \quad \Rightarrow \quad f_1' = f_1\sqrt{\frac{T'}{T}}$$

Application numérique :

$$f_1' = 142 \times \sqrt{\frac{330}{298}} = 149\ \text{Hz}$$

6.6 Tube de Kundt

a. Les tas correspondent à des nœuds de vibration, la poudre se regroupant là où les vibrations sont les plus faibles.

b. La distance entre tas donne la taille d'un fuseau :

$$\frac{\lambda}{2} = 11,0\ \text{cm} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 22,0\ \text{cm}$$

La fréquence est donnée par :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \Leftrightarrow \quad f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,22} = 1\,545\ \text{Hz}$$