Spécialité : La physique et le violon

Bac S 2004 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Le fuseau observé sur la corde pincée est-il dû à des ondes longitudinales ou transversales ? Justifier en définissant le terme choisi.

Chaque point de la corde se déplace perpendiculairement à la corde, alors que l'onde se propage le long de la corde.

Une onde est transversale quand la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation.

Le fuseau est dû à des ondes **transversales**.

PIÈGE
Répondre « transversale » sans la définition : la question demande de définir le terme, c'est la définition qui rapporte le point.

1.2 À partir des connaissances du cours, montrer que la longueur ℓ de la corde vibrante est liée à la longueur d'onde par $\ell = \dfrac{\lambda}{2}$.

Les ondes se réfléchissent aux deux extrémités fixes A et O et se superposent : il s'établit une onde stationnaire, avec un nœud de vibration à chaque extrémité.

Deux nœuds consécutifs sont distants de $\dfrac{\lambda}{2}$, donc la corde contient un nombre entier n de fuseaux : $\ell = n\,\dfrac{\lambda}{2}$.

L'élève observe un seul fuseau (mode fondamental) : $n = 1$.

$$\ell = \frac{\lambda}{2}$$

COMPRENDRE
Un fuseau est la portion de corde comprise entre deux nœuds voisins ; le ventre, où l'amplitude est maximale, se trouve au milieu. Avec deux fuseaux on aurait $\ell = \lambda$.

1.3 Les vibrations de la corde sont transmises à la caisse en bois du violon. Quel est le rôle de cette caisse ?

La corde seule, très fine, met peu d'air en mouvement : le son qu'elle produit est à peine audible.

La caisse, mise en vibration forcée par la corde, possède une grande surface en contact avec l'air et lui transmet efficacement les vibrations.

La caisse est une **caisse de résonance** : elle amplifie le son émis et le rayonne dans l'air.

2 La corde « la3 » est accordée sur le diapason (440 Hz). Calculer la tension de la corde après cette opération.

Données utiles $\ell = 55{,}0$ cm ; $f_3 = 440$ Hz ; $\mu = 0{,}95$ g · m^{-1} ; $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$

Dans le mode fondamental, $\lambda = 2\ell$ (1.2). Comme $\lambda = \dfrac{v}{f_3}$, la célérité vaut $v = 2\,\ell\,f_3$.

Or $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$, donc $F = \mu\,v^2$:

$$F = 4\,\mu\,\ell^2\,f_3^2$$

Avec $\mu = 0{,}95 \times 10^{-3}$ kg · m^{-1} et $\ell = 0{,}550$ m :

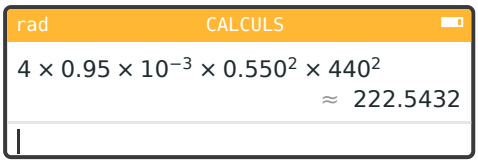
$$F = 4 \times 0{,}95 \times 10^{-3} \times 0{,}550^2 \times 440^2$$

$$F = 2{,}2 \times 10^{2}\ \text{N}$$

PIÈGE
Laisser μ en g · m^{-1} ou ℓ en cm : le résultat est alors faux d'un facteur 1000 ou 10 000. Le newton exige des kilogrammes et des mètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme μ, la donnée la moins précise. Tendre la corde augmente F, donc v, donc la fréquence : c'est ce que fait la cheville.

À LA CALCULATRICE



3.1 En appuyant en B sur la corde « ré3 » sans changer sa tension, quelle grandeur le violoniste modifie-t-il ?

La tension F et la masse linéique μ restent les mêmes : la célérité $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$ est inchangée.

Le doigt impose un nœud en B : seule la portion AB vibre.

Le violoniste modifie la **longueur** de la corde vibrante (elle diminue), donc la longueur d'onde $\lambda = 2\ell$ et la fréquence $f = \dfrac{v}{2\ell}$ du son émis.

3.2 À quelle distance du chevalet l'élève appuie-t-il sur la corde « ré3 » pour que la note émise ait pour fréquence fondamentale 440 Hz ?

Données utiles $\ell = 55{,}0$ cm ; $f_2 = 294$ Hz ; $f_3 = 440$ Hz

Corde entière (longueur ℓ) : $v = 2\,\ell\,f_2$.

Corde raccourcie (longueur $\ell' = AB$) : $v = 2\,\ell'\,f_3$.

La célérité est la même dans les deux cas (3.1), donc $\ell'\,f_3 = \ell\,f_2$:

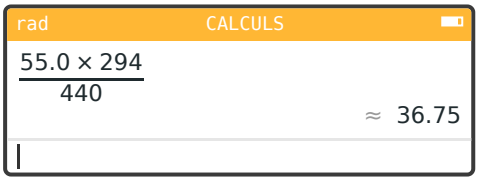
$$\ell' = \ell\,\frac{f_2}{f_3} = 55{,}0 \times \frac{294}{440}$$

$AB = \ell' = 36{,}8$ cm : l'élève appuie à 36,8 cm du chevalet.

PIÈGE
Donner la distance OB (18,2 cm, comptée depuis la cheville) : la partie qui vibre est située entre le chevalet A et le doigt B.

MÉTHODE
À célérité constante, le produit $\ell \times f$ est constant : longueur et fréquence sont inversement proportionnelles. Un rapport suffit, sans calculer v ni convertir les centimètres.

À LA CALCULATRICE



4.1 Identifier chacun des deux spectres (corde « la3 » du violon, diapason 440 Hz) en justifiant la réponse.

Le diapason émet un son de fréquence unique 440 Hz (son pur) : son spectre ne comporte qu'un seul pic, vers 440 Hz. C'est le spectre n°1.

Le spectre n°2 présente plusieurs pics : le fondamental à 440 Hz et d'autres pics à des fréquences multiples de 440 Hz. C'est un son complexe, celui du violon.

Spectre n°1 : diapason ; spectre n°2 : corde « la3 » du violon.

COMPRENDRE
Les deux sons ont le même fondamental, donc la même hauteur ; ils diffèrent par leurs harmoniques, donc par leur timbre. Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

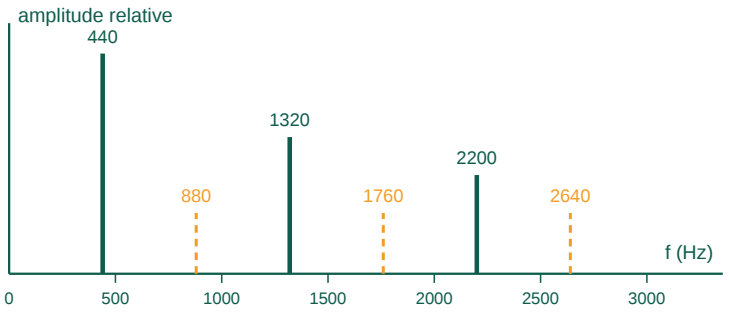
4.2 Pour le spectre du violon, entre 0 et 3000 Hz, quelles sont les fréquences des harmoniques manquants ?

Données utiles fondamental $f_3 = 440$ Hz ; pics lus sur le spectre n°2 : environ 440 Hz, 1300 Hz et 2200 Hz

Les harmoniques ont pour fréquences $n \times 440$ Hz, avec n entier.
Jusqu'à 3000 Hz : 440 ; 880 ; 1320 ; 1760 ; 2200 ; 2640 Hz.

Les pics du spectre n°2 correspondent à 440 Hz ($n = 1$), 1320 Hz ($n = 3$) et 2200 Hz ($n = 5$).

Il manque les harmoniques de rang pair : **880 Hz, 1760 Hz et 2640 Hz**.



rangs 1, 3, 5 présents ; rangs 2, 4, 6 absents

4.2 · Spectre n°2 : pics présents (vert) et harmoniques manquants (orange)

MÉTHODE
Dresser d'abord la liste complète des multiples du fondamental dans l'intervalle demandé, puis rayer ceux qui apparaissent sur le spectre. Le suivant, 3080 Hz, dépasse 3000 Hz.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
2×440 → 880
4×440 → 1 760
6×440 → 2 640

5 Un violon seul donne un niveau sonore de 70 dBA. Quel niveau sonore indiquera le sonomètre lorsque deux violons joueront ensemble la même note, au même niveau sonore et à la même distance ?

Données utiles $L_1 = 70$ dBA ; $L = 10 \log \dfrac{I}{I_0}$; les intensités sonores s'additionnent

Un violon seul : intensité I_1 et $L_1 = 10 \log \dfrac{I_1}{I_0} = 70$ dBA.

Les deux violons ont le même niveau sonore, donc la même intensité.
Les intensités s'ajoutent : $I = 2\,I_1$.

$$L_2 = 10 \log \frac{2\,I_1}{I_0} = 10 \log 2 + 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log 2 + L_1$$

$L_2 = 3{,}0 + 70$

$L_2 = 73$ dBA

PIÈGE
Additionner les niveaux : $70 + 70 = 140$ dBA est faux. Ce sont les intensités qui s'ajoutent, pas les niveaux sonores.

COMPRENDRE
Doubler l'intensité sonore ajoute toujours 3 dB, quel que soit le niveau de départ, car $\log(2I) = \log 2 + \log I$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$10 \times \log(2) + 70$ → ≈ 73.0103

6 Trouver la relation mathématique simple entre les fréquences fondamentales des cordes données dans le tableau et en déduire la valeur de f_4.

Données utiles $f_1 = 196$ Hz ; $f_2 = 294$ Hz ; $f_3 = 440$ Hz

On calcule les rapports de deux fréquences successives :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{294}{196} = 1{,}50 \qquad \frac{f_3}{f_2} = \frac{440}{294} = 1{,}50$$

On passe d'une corde à la suivante en multipliant la fréquence par 1,50 : $f_{n+1} = 1{,}50 \times f_n$ (suite géométrique de raison 1,50).

Donc $f_4 = 1{,}50 \times f_3 = 1{,}50 \times 440$

$$\boxed{f_4 = 660 \text{ Hz}}$$

PIÈGE

Chercher un écart constant : $294 - 196 = 98$ Hz mais $440 - 294 = 146$ Hz. C'est le rapport des fréquences qui est constant, pas leur différence.

COMPRENDRE

Le second rapport vaut 1,497, soit 1,50 à trois chiffres significatifs. Le rapport $\frac{3}{2}$ entre deux notes est l'intervalle que les musiciens appellent une quinte.

À LA CALCULATRICE

