

COMPOSITION DE PHYSIQUE II

Samedi 10 mai 1997 de 8 h à 10 h

La plus grande importance sera attachée à la présentation et à la rédaction.

Seuls seront corrigés les résultats encadrés répondant explicitement à la (les) question(s) posée(s), exprimé(s) avec les notations strictes de l'énoncé, sous leur forme la plus simple, en tenant compte de l'esprit de la question. Ceci se traduira par des points de minoration ne dépassant pas 10 % de la note.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet concerne la propagation d'une onde sonore dans un tuyau. Il est fondé sur une étude expérimentale qui permet la mesure de la vitesse du son dans le tuyau, le coefficient de réflexion d'un matériau et l'impédance acoustique correspondante.

Les parties A,B, C sont très largement indépendantes.

On considère un tuyau horizontal, cylindrique, d'axe Ox, de section S, rempli d'air assimilé à un gaz parfait de masse molaire M, de masse volumique dans les conditions de l'expérience, à la température et dans un état non perturbé. La longueur du tuyau est $L = 1,45$ m. A l'une des extrémités ($x=L$) est placé un haut-parleur associé à un générateur basse fréquence. L'ensemble délivre un signal sinusoïdal. A l'autre extrémité ($x=0$) on peut placer un matériau plus ou moins absorbant. Un microphone mobile, relié à un millivoltmètre, peut se déplacer à l'intérieur du tuyau et ne perturbe pas les phénomènes étudiés. Une règle graduée permet de déterminer sa position.

On suppose que les grandeurs vibratoires ne dépendent que de x et de t .

A. Éléments de théorie

Dans un plan (P) d'abscisse x , la pression totale P_T peut se mettre sous la forme

est la pression statique et $p(x,t)$ est la surpression acoustique, solution de l'équation :

avec

- A.1) a) Pourquoi dit-on que l'onde est plane ?
- A.1) b) Quelles sont les conditions de validité de l'équation précédente ?
- A.2) a) Que représente la grandeur c ?
- A.2) b) Pourquoi le coefficient γ intervient-il ?
- A.2) c) Déterminer l'expression de c en fonction de la température absolue T pour un gaz parfait de masse molaire M .
- A.3) Pour l'air assimilé à un gaz parfait, $M = 29 \text{ g}$,
- A.3) a) Comment obtient-on la valeur numérique de M ?
- A.3) b) Calculer numériquement c à 18° C . Comparer cette vitesse à celle du son dans un solide ou un liquide. On prendra pour R , constante des gaz parfaits, et pour γ , égal à $\frac{5}{3}$.

L'onde acoustique correspond à une vibration des molécules d'air autour de leurs positions moyennes. On appelle $u(x,t)$ la vitesse correspondante. Les grandeurs $p(x,t)$ et $u(x,t)$ sont liées par la relation :

- A.4) Quelle est l'origine (sans démonstration) de cette équation ?
- A.5) La solution de l'équation de propagation et le dispositif utilisé permettent d'écrire $p(x,t)$ sous la forme (en notation complexe) :
- A.5) a) Quelle est la signification de chacun des termes
- A.5) b) Comment s'écrit alors $u(x,t)$? (on ne tiendra pas compte des termes constants qui apparaissent lors de l'intégration).

B. Détermination expérimentale de γ et c

Dans cette partie, l'expérimentateur a placé en $x = 0$ une plaque métallique rigide en aluminium. Le microphone délivre une tension V proportionnelle à u où le symbole représente la valeur moyenne dans le temps, soit $V = K \cdot u$.

L'expérimentateur se dit qu'en tout point du tuyau il y a superposition d'une onde incidente

et d'une onde réfléchie et que la fonction $p(x,t)$ proposée en A.5°) lui convient.

B.1) Quelle condition sur u , l'obstacle, supposé parfaitement rigide, impose-t-il en $x = 0$?

B.2) Quelle est alors l'expression de u ? On exprimera le résultat en fonction de x et t .

B.3) L'expérimentateur se propose de vérifier sa théorie et réalise les trois expériences suivantes dont les résultats sont consignés dans le tableau 1. Il a pris soin de rechercher la position du premier minimum de tension rencontré à partir de $x = 0$ ainsi que celle du i ième. Il remarque au passage que les valeurs lues sur le voltmètre pour ces minima sont quasi-nulles.

f en Hz	x_1 en cm	x_i en cm	i
300	32,0	89,0	2
500	17,7	120,0	4
988	8,0	112,0	7

Tableau 1

B.3) a) Déterminer la relation qui permet de calculer λ (longueur d'onde) en fonction de f .

Attention la valeur de x_1 seule, ne permet pas de déterminer correctement λ .

B.3) b) Calculer, à partir des données expérimentales, les valeurs de λ , c et γ pour chaque fréquence (on donnera les résultats sous forme d'un tableau).

B.3) c) La valeur de λ obtenue correspond-elle à la valeur théorique ? (justifier).

B.3) d) Quelle hypothèse, émise lors de l'élaboration de l'équation de propagation, se trouve confortée par les résultats de cette expérience ?

B.4) Le microphone étant en $x = 0$, l'expérimentateur, très observateur, remarque, que les indications du voltmètre passent par des valeurs maximales beaucoup plus importantes pour certaines fréquences dont il relève quelques valeurs : 355 Hz, 472 Hz, 590 Hz.

Quelles explications physiques simples permettent de retrouver ces résultats ?
Y-a-t-il contradiction avec le fait que c'est le déplacement de la membrane qui génère les ondes ?

C. Etude d'un matériau

L'expérimentateur place maintenant en $x = 0$ un matériau de type "mousse". Il définit, pour le matériau, un coefficient de réflexion complexe. Le but de cette nouvelle expérience est de déterminer r et l'impédance acoustique en $x = 0$.

En utilisant l'expression de $p(x,t)$ donnée en A.5°) est défini par :

C.1) Quelle est l'expression générale de $p(x,t)$ en fonction de A (amplitude complexe de

C.2) Montrer que le microphone délivre une tension V de la forme :

C.3) L'expérimentateur réalise alors plusieurs expériences dont les résultats sont consignés dans le tableau 2. Il prend soin de rechercher la position x_1 du premier minimum de tension rencontré à partir de $x = 0$ ainsi que celle x_i du i ième minimum. Les valeurs lues sur le voltmètre $V_{\min}$ et $V_{\max}$ correspondent aux valeurs minimales et maximales de tension.

f en Hz	x_1 en cm	x_i en cm	i	$V_{\min}$ en mV	$V_{\max}$ en mV
460	26,6	101,5	3	1,50	6,80
750	13,2	58,8	3	1,10	5,40
845	10,6	51,1	3	1,25	6,30
1016	8,0	41,7	3	0,80	4,05
1042	7,3	40,1	3	1,60	8,35
1185	5,5	49,0	4	0,80	3,95
1400	3,7	28,1	3	1,00	5,05

Tableau 2

C.3) a) On pose $r = re^{j\phi}$ déterminer l'expression de r en fonction de A .

C.3) b) Déterminer l'expression de r en fonction de $V_{\min}$ et $V_{\max}$.

C.3) c) Calculer pour chaque fréquence, les valeurs de r et Z . (on donnera les résultats sous forme d'un tableau). Commentez les résultats obtenus.

On définit l'impédance acoustique .

C.4) En $x = 0$, l'impédance acoustique locale est fixée par le matériau.

C.4) a) Donner l'expression de en fonction de .

C.4) b) On appelle impédance réduite le rapport , déterminer en fonction de et les expressions des parties réelle et imaginaire de .

C.4) c) Calculer pour chaque fréquence et .
