Exercice 1

Montrer que la fonction : $y = e^{b(x-ct)}$ est une solution de l'équation d'onde :

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Exercice 2

Calculer la vitesse du son dans un gaz parfait en fonction :
- de la masse molaire M du gaz
- de la température thermodynamique T du gaz
- du rapport γ des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant (on suppose γ constant)
- de la constante des gaz parfaits R

AN : calculer la vitesse du son dans l'air (considéré comme un gaz parfait) à la température ambiante (20 ℃).

$M = 29$; $\gamma = 1,4$; $R = 8,32\ J.K^{-1}.mole^{-1}$

Exercice 3

Résonateur de Helmotz

Une cavité (sphérique sur le dessin) de volume V_0 est ouverte sur l'extérieur par un goulot (cylindrique sur le dessin) de section S et de longueur l avec $Sl << V_0$ La pression du gaz, supposé parfait, y est P_0.

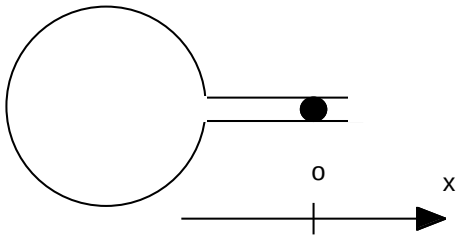


FIG. 1 – résonateur de helmotz

a) Une petite bille sphérique de masse m, de section droite S, glisse sans frottement dans le goulot horizontal ; sa position au repos correspond à $x = 0$ (pression P_0 des deux cotés). Montrer qu'après avoir déplacé la bille de x_0 et laché sans vitesse initiale à $t = 0$, elle effectue des petites oscillations sinusoïdales et calculer leur pulsation en supposant les transformations du gaz de la cavité adiabatiques.

b) Il s'agit en réalité d'étudier les petits déplacements harmoniques de la tranche d'air dans le goulot sous l'effet d'un différentiel de pression entre la cavité et l'exterieur. Comment adapter le modèle précédent de la bille et sous quelle hypothèse ? Donner la fréquence propre f_H du résonateur de Helmoltz ainsi constitué en fonction de c, S, V_0 et l.

AN : Estimer f_H pour une bouteille de type Bordeaux pour laquelle $V_0 = 75\ cl$, $l = 6,5cm$ et $S = 2,5\ cm^2$ on prendra $c = 340\ m.s_{-1}$.

Exercice 4

A la température $T = 15$ ℃ et sous pression atmosphérique normale, l'air a pour masse volumique $\rho = 1,266\ kg.m^{-3}$ et le son s'y propage avec la célérité $c = 340\ m.s^{-1}$

Pour les intensités sonores : $I_0 = 10^{-12}\ W.m^{-2}$ (seuil d'audibilité), $I_1 = 1\ W.m^{-2}$ (seuil de la douleur) et $I_2 = 1000\ W.m^{-2}$ (proximité d'un haut-parleur puissant), et pour les fréquences : $f_1 = 100\ Hz$, $f_2 = 1000\ Hz$ et $f_3 = 10000\ Hz$ calculer les amplitudes de déplacement s_0, de la vitesse particulaire v_0, de l'accélération γ_0 et de la pression acoustique p_0 de chacune de ces 9 ondes sonores.

Exercice 5

Une onde sonore plane sinusoïdale de longueur d'onde $\lambda = 10\ cm$ se déplace dans l'air ($\rho = 1,2\ kg.m^{-3}$) à la vitesse $c = 343\ m.s^{-1}$. Sachant que l'amplitude de pression de cette onde est : $p_0 = 0,2\ Pa$, donner l'expression de l'onde de pression $p(x,t)$. En déduire l'expression de l'onde de déplacement $s(x,t)$.

Exercice 6

Effet Doppler pour une source sonore

Une source fixe S émet un son de fréquence f_0. On notera f la fréquence de ce son perçu par un récepteur R qui se déplace à la vitesse $\vec{v} = v.\vec{u_x}$ ($\vec{u_x}$ = vecteur unitaire dans la direction ox), avec $v \ll c$ où c est la célérité du son dans le milieu.

On notera θ l'angle que fait la direction SR avec la vitesse $\vec{v}$ du récepteur.

1. Le signal sonore émis par la source S à l'instant t_0 est reçu par le récepteur R en position R_1 ($SR_1 = d_1$). Le signal émis par S à l'instant $t_0 + T_0$ (T_0 = période de la source S) est reçu par le récepteur en position R_2 ($SR_2 = d_2$). Exprimer la différence de marche $d_2 - d_1$

   a) en fonction de f, f_0 et c ;

   b) puis en fonction de v, θ et f

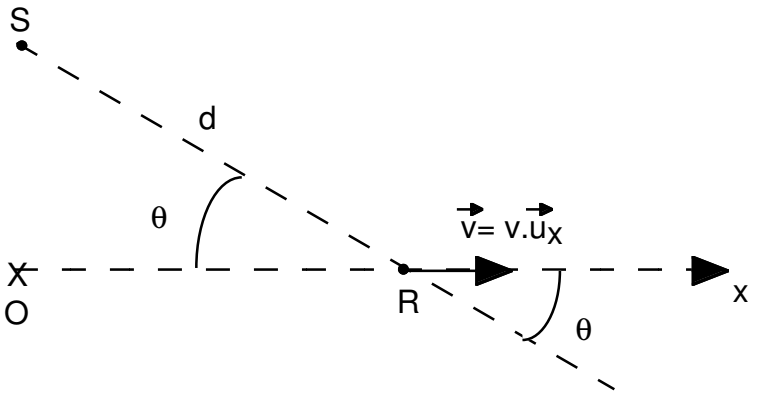


FIG. 2 –

2. En déduire la fréquence apparente f perçue par le récepteur en fonction de f_0, v, c et θ.
3. **a)** Dans le cas particulier où la source S est fixée sur l'axe ox, exprimer la fréquence f perçue par le récepteur R qui s'éloigne de la source.

   b) à quelle vitesse doit s'éloigner le récepteur R dans l'air pour que la note musicale « ré_3 » émise soit perçue par R comme la note « do_3 » ? On donne $f_{\text{ré}}/f_{\text{do}} = 9/8$ et $c = 342\ m.s^{-1}$ dans l'air.

Exercice 7

La fréquence f de la sirène d'un véhicule de police est de 2500 Hz. Ce véhicule se déplace à la vitesse de 40 $m.s^{-1}$, une voiture particulière roule sur la même route à la vitesse de 25 $m.s^{-1}$. Calculer la fréquence apparente de la sirène du véhicule de police dans les 4 cas suivants (on donne $c = 343\ m.s^{-1}$) :

1. Les deux véhicules roulent dans le même sens, le véhicule de police se dirigeant vers le véhicule particulier.

   a) avant dépassement

   b) après dépassement

2. Les véhicules roulent en sens contraires

   c) avant croisement

   d) après croisement

Exercice 8

Mesure de la vitesse d'une voiture par radar Doppler

Un radar Doppler utilisé par la gendarmerie est placé au bord d'une route rectiligne et son émetteur envoit un faisceau d'ondes hertziennes de fréquence f se propageant avec la célérité c pratiquement dans l'axe de la route.

Un véhicule roulant sur la route à la vitesse v perçoit cette onde avec une fréquence f' et la réfléchit avec la fréquence f''. On sait que $v \ll c$. L'écho radar est recueilli avec la fréquence f'' par le récepteur du radar et un détecteur de battements mesure la différence $F = f'' - f$. Calculer F en fonction de f, c et v et discuter le signe de F.

A.N. $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$; $f = 5\ GHz$; $F = 926\ Hz$ Calculer v.