TD 13 Phénomènes d'interférences

Lycée Louis Thuillier - Physique-Chimie - PCSIB

1 Interférences mécaniques

Exercice 1 - Trombone de Koenig et mesure de la vitesse du son :

> ***Analyse :*** *On applique la méthode des interférences d'ondes mécanique puis on lit la première question*
> 1. ***Schéma*** *: on ajoute le trajet des deux ondes !!!*
> 2. *Source synchrones : oui car c'est la même source*
> 3. ***Différence de phase*** *:* $\Delta\varphi = 0 - \frac{2\pi}{\lambda}\delta$ *car* $\Delta\Phi_0 = 0$ *(même source)*
> 4. ***Différence de marche*** *: l'onde a droite parcourt en plus une distance* $+d$ *lors de "l'aller" et* $+d$ *lors du "retour". Donc* $\delta = 2d$.
> 5. ***Condition d'interférence :***
>   - ▷ *Constructives :* $\delta = n\lambda$ *donc* $d = n\frac{\lambda}{2}$
>   - ▷ *Destructives :* $\delta = (n+1/2)\lambda$ *donc* $d = (n+1/2)\frac{\lambda}{2}$
>
> *Maintenant on peut lire les questions*

1. On augmente d donc on modifie δ : on crée successivement des interférences constructives et destructives. Notamment :
   - ▷ $\delta = 0$ pour $d = 0$: constructives $\Rightarrow$ max
   - ▷ $\delta = \lambda/2$ $d = d_1 = \lambda/4$: destructives $\Rightarrow$ min
   - ▷ $\delta = \lambda$ $d = d_3 = \lambda/2$: constructives $\Rightarrow$ max
   - ▷ $\delta = 3\lambda/2$ $d = d_4 = 3\lambda/4$: destructives $\Rightarrow$ min
2. Déjà fait
3. Avec d_3 on a $3\lambda/4 = 11.5\text{cm}$ donc $\lambda = 15,3\text{cm}$ et $c = \lambda f$ soit $c \simeq$ ...m/s
4. *un peu de calcul mental ...*

Exercice 2 - Acoustique d'une salle de concert :

> ***Analyse :*** *On applique la méthode des interférences d'ondes mécanique puis on lit la première question*
> 1. ***Schéma*** *: on ajoute le trajet des deux ondes !!!*
> 2. *Source synchrones : oui car c'est la même source*
> 3. ***Différence de phase*** *:* $\Delta\varphi = 0 - \frac{2\pi}{\lambda}\delta$ *car* $\Delta\Phi_0 = 0$ *(même source)*
> 4. ***Différence de marche*** *: l'onde qui rebondit parcourt en plus une distance* $2d$ *donc* $\delta = 2d$.
> 5. ***Condition d'interférence :***
>   - ▷ *Constructives :* $\delta = n\lambda$ *donc* $d = n\frac{\lambda}{2}$
>   - ▷ *Destructives :* $\delta = (n+1/2)\lambda$ *donc* $d = (n+1/2)\frac{\lambda}{2}$
>
> *Maintenant on peut lire les questions*

1. Deux ondes issues de la même source mais ayant eu des trajets différents se retrouvent au même point.

2. Déterminer le retard τ au niveau du spectateur entre l'onde (R)qui s'est réfléchie sur le mur et l'onde (D) qui arrive directement.
3. En déduire le déphasage $\Delta\varphi$ entre les deux ondes au niveau du spectateur.
4. Expliquer pourquoi alors certaines fréquences sonores sont fortement atténuées.
   Déterminer ses fréquences en fonction de c, d et un entier n.
5. Montrer que pour éviter que les fréquences atténuées soient dans le domaine audible, d ne doit pas dépasser une certaine valeur limite. Est-ce réalisable dans une salle de concert ?
6. Comment éviter qu'un tel phénomène se produise ?

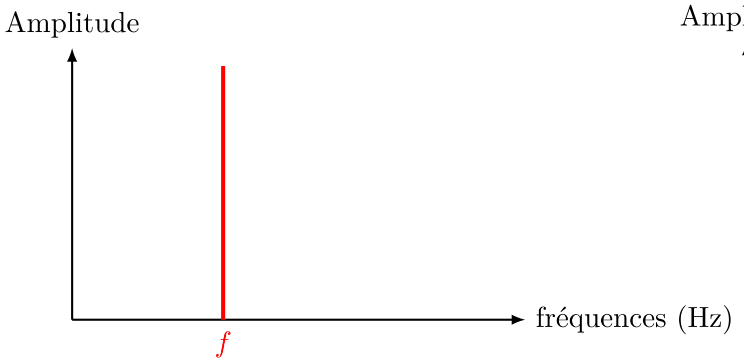
Exercice 3 - Filtrage actif du bruit :

> ***Analyse :*** *On applique la méthode des interférences d'ondes mécanique puis on lit la première question*
> 1. ***Schéma*** *: on ajoute le trajet des deux ondes !!!*
> 2. *Source synchrones : elles doivent avoir la même fréquence*
> 3. ***Différence de phase*** *:* $\Delta\varphi = \Delta\Phi_0 - \frac{2\pi}{\lambda}\delta$ *avec* $\Delta\Phi_0 = \Phi_m - \Phi_{hp}$
> 4. ***Différence de marche*** *: l'onde passant par le micro parcourt* d*, celle depuis le haut-parleur* L*, donc* $\delta = d - L$*.*
> 5. ***Condition d'interférence :***
>   ▷ *Constructives :* $\varphi = 2n\pi$
>   ▷ *Destructives :* $\varphi = \pi + 2n\pi \Rightarrow (\Phi_m - \Phi_{hp}) - \frac{2\pi}{\lambda}(d - L) = \pi + 2n\pi$
>
> *Maintenant on peut lire les questions*

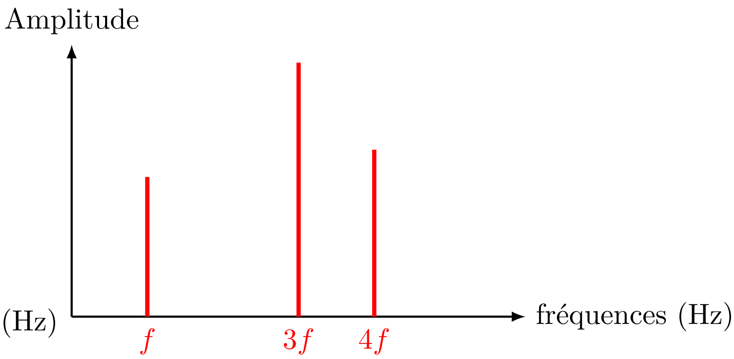
1. A cause de la différence entre d et L, les deux ondes n'ont pas le même temps de propagation depuis leur sources (micro et haut-parleur) jusqu'au point M. Il y a un décalage
$$\Delta t = \frac{d}{c} - \frac{L}{c}\text{, si } d > L \text{ qui permet au contrôleur de généré l'onde au niveau du haut parleur}$$
2. Sources synchrones donc même fréquence
3. En utilisant la condition d'interférences destructives :
$$(\Phi_m - \Phi_{hp}) - \frac{2\pi}{\lambda}(d - L) = \pi + 2n\pi \text{ donc} \Phi_m - \Phi_{hp} = \pi + \frac{2\pi}{\lambda}(d - L) + 2n\pi$$
   On prendra par la suite le plus simple $n = 0$: $\Phi_m - \Phi_{hp} = \pi + \frac{2\pi}{\lambda}(d - L)$
4. L'amplitude de l'onde résultante est :
   ▷ interférences constructives : somme des amplitudes
   ▷ interférences destructives : différences des amplitudes
   Ici on choisit la même amplitude A_0 au niveau du haut parleur : l'amplitude de l'onde résultante est nulle.

5. **Spectre**

Signal sinusoïdal : une seule harmonique



Signal périodique : plusieurs harmoniques de fréquences $f_n = n \times f$



6. Il faut donner à chaque harmonique le bon déphasage, obtenu précédemment.
Attention ! ce n'est pas le même car il dépend de la fréquence ! !

$$\Phi_m - \Phi_{hp} = \pi + \frac{2\pi}{\lambda}(d-L) = \pi + \frac{2\pi f}{c}(d-L)$$

Le signal $p_{hp}(x=0,t)$ est donc :

$$A_0 \cos(2\pi f t + \pi + \frac{2\pi f}{c}(d-L)) + \frac{A_0}{2}\cos(8\pi f t - \pi/2 + \frac{8\pi f}{c}(d-L)) + 2A_0\cos(100\pi f t + 5\pi/4 + \frac{100\pi f}{c}(d-L))$$

(on a écrit les angles modulo π)

Interférences lumineuses

Exercice 4 - Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre par interférence :

1. *Cf cours ...* **Attention !** *ce n'est pas facile mais il faut le maîtriser ! !*

> ***Analyse :*** *On applique la méthode des interférences d'ondes mécanique puis on lit la première question*
> (a) ***Schéma*** *: on ajoute le trajet des deux ondes ! ! !*
> (b) *mêmes sources*
> (c) ***Formule de Fresnel*** *: $I = 2I_0\left(1 + \cos\frac{2\pi}{lambda}\delta\right)$ avec δ la différence de chemin optique.*
> (d) ***Différence de chemin optique*** *: comme les trous d'Young "classique", $\delta = ax/D$ sauf que l'onde passant par T_1 traverse une lame de verre d'épaisseur e ajoutant $(n_v - n_a)e$ à son chemin optique.*
>
> $$\delta = \frac{ax}{D} - (n_v - n_e)e$$
>
> (e) ***Condition d'interférence :***
> - *Constructives : $\cos\frac{2\pi}{lambda} = 1$ donc $\delta = n\pi$*
> - *Destructives : $\cos\frac{2\pi}{lambda} = -1$ donc $\delta = (n+1/2)\pi$*
>
> *Maintenant on peut lire les questions*

2. déjà fait

3. Frange centrale est la frange brillante avec le plus petit δ, donc $\delta = 0$. Dans les trous d'Young "classique" elle se trouve en $x = 0$. Or à cause de la lame de verre, elle dévie.

$$\delta = 0 \Rightarrow \frac{ax_0}{D} - (n_v - 1)e = 0 \Rightarrow x_0 = (n_v - 1)\frac{eD}{a}$$

4. Cela permet de mesurer des centimètre (sur l'écran) pour avoir des information sur de nanomètre (épaisseur de e). Nous n'aurions pas pu mesurer e avec notre règle.

2 Phénomènes de battements

Exercice 5 - Signal enregistré :

On mesure la période des oscillations $T = 3\text{ms}$ et celle des battements $\Delta T = 100\text{ms}$. On en déduit alors la moyenne et la différences des deux fréquences

$$\frac{1}{T} = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\Delta T} = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

donc

$$f_1 = \frac{1}{T} + \frac{1}{\Delta T} \quad \text{et} \quad f_2 = \frac{1}{T} - \frac{1}{\Delta T}$$

Exercice 6 - Signal et intensité :

1. $\mathcal{S}(t) = 2A\cos(\pi\Delta\nu t) \times \cos(2\pi\nu t)$ avec $\nu = c/\lambda$.
2. On calcule $I(t) = \alpha\mathcal{S}^2(t)$:

$$I(t) = \alpha\left(2A\cos(\pi\Delta\nu t) \times \cos(2\pi\nu t)\right)^2 = 4A^2\cos^2\pi\Delta\nu t\cos^2 2\pi\nu t$$

or $\cos^2 x = \dfrac{1+\cos 2x}{2}$ donc :

$$I(t) = 4A^2\frac{1+\cos 2\pi\Delta\nu t}{2}\frac{1+\cos 4\pi\nu t}{2} = A^2\left(1+\cos 2\pi\Delta\nu t\right)\left(1+\cos 4\pi\nu t\right)$$