

I Interférences

Élève de Terminale S au lycée Robert-Charlebois de Saint-Hilaire Cusson la Valmitte (Loire), Népomucène a fait un TP sur les interférences à deux ondes, avec des ultrasons de $f = 40$ kHz émis par deux émetteurs dont les centres sont situés à $a = 5,0$ cm l'un de l'autre. Ils sont positionnés à l'extrémité d'une feuille de papier de format A2. Un récepteur est déplacé sur la feuille et, en visualisant l'onde reçue, on peut repérer les zones d'interférences constructives.

Népomucène, trouvant ce TP un peu crado, décide d'examiner un peu la théorie. Il partira du principe que les deux émetteurs sont des sources ponctuelles S_1 et S_2 émettant dans toutes les directions. Il considérera que la célérité des ultrasons dans l'air est $v = 340$ m.s⁻¹.

Népomucène munit sa feuille d'un système d'axes (Oxy) , où O est le milieu de $[S_1S_2]$, l'axe (Oy) est parallèle à (S_1S_2) et l'axe (Ox) lui est perpendiculaire. Les sources ont donc pour coordonnées $(0, a/2)$ pour S_1 et $(0, -a/2)$ pour S_2 .

1. Déterminer, sur la ligne (S_1S_2) , toutes les positions d'interférences constructive en fonction de l'ordre d'interférence n (entier relatif qui apparaît dans la relation $\delta = n\lambda$, où δ est la différence de marche en un point et λ la longueur d'onde de l'onde). En déduire l'interfrange i sur cette ligne et l'ordre maximal d'interférence n_{\max} pour lequel la position est entre S_1 et S_2 .

2. On supposera dorénavant que $|n| < n_{\max}$. On note y_n l'ordonnée d'un point d'abscisse x situé sur la ligne d'interférences d'ordre n . Népomucène cherche l'équation de ces lignes.

a. Chaque ligne a pour équation $\delta = n\lambda$. Exprimer la différence de marche $\delta = S_2M - S_1M$ en fonction de x , y_n et a .

b. Montrer que chaque ligne a pour équation

$$y_n = \frac{n\lambda}{2} \sqrt{1 + \frac{4x^2}{a^2 - n^2\lambda^2}}$$

c. Montrer que cette expression est compatible avec le résultat de la question 1.

d. Dans le cours, Népomucène a montré qu'une expression approchée de l'interfrange sur une ligne d'équation $x = D$ avec D très grande est $i = \lambda D/a$. Pour $x = 60$ cm (extrémité de la feuille A2), déterminer les positions y_n pour $|n| < n_{\max}$ et en déduire l'interfrange. L'expression approchée du cours est-elle valable?

e. Tracer, à une échelle réduite de votre choix, sur un repère orthonormé, les lignes d'interférences constructives pour $|n| < n_{\max}$. On supposera que O est à l'extrémité de la feuille, au milieu du petit côté, donc x varie de 0 à 60 cm et y de -20 cm à 20 cm.

f. Comme le récepteur, en réalité, n'est pas ponctuel, mais a un diamètre de 1 cm, évaluer à partir de quelle abscisse x une mesure est réalisable.

g. D'après vous, comment se manifeste dans la réalité le fait que les émetteurs ne soient pas non plus ponctuels?

3. La même expression que celle donnée à la question 2.b est valable dans l'autre partie du TP, sur les interférences par des fentes d'Young. Cette fois-ci avec $\lambda = 650$ nm, $a = 100$ μ m, déterminer, à la distance $D = 180$ cm de la source, les positions d'interférence constructive y_n , en déduire l'interfrange et le comparer à la valeur obtenue avec l'expression démontrée en cours.

4. Discuter de la validité de l'expression donnée en 2.b dans le cas où $|n| > n_{\max}$. Montrer en particulier que pour $|n| \lambda \gg a$, les lignes recherchées sont des cercles de centre O et de rayon $n\lambda/2$.