Sujet 1

I Corde de Melde : superposition d'ondes

On considère une corde de Melde de longueur L. On interprète la vibration de la corde de la manière suivante : le vibreur émet une onde qui se propage en direction de la poulie où elle est réfléchie ; cette onde réfléchie se propage en direction du vibreur où elle est elle-même réfléchie ; l'onde réfléchie se propage en direction de la poulie où elle se réfléchit, et ainsi de suite. L'axe (Ox) est parallèle à la corde au repos ; le vibreur est en $x = 0$ et la poulie en $x = L$. Le vibreur émet une onde $s_0(x,t)$ telle que

$$s_0(0,t) = a_0 cos(\omega t)$$

La célérité des ondes sur la corde est c et on note $k = \omega/c$. On fait les hypothèses simplificatrices suivantes :

- lorsqu'une onde incidente s_i arrive sur la poulie en $x = L$, l'onde réfléchie s_r vérifie :

  $$s_r(L,t) = -r\, s_i(L,t)$$

  où r est un coefficient compris entre 0 et 1 ;

- lorsqu'une onde incidente s_i arrive sur le vibreur en $x = 0$, l'onde réfléchie s'_r vérifie :

  $$s'_r(0,t) = -r' s'_i(0,t)$$

  où r' est un coefficient compris entre 0 et 1.

1) Exprimer l'onde $s_0(x,t)$.

2) Exprimer l'onde $s_1(x,t)$ qui apparaît par réflexion de l'onde s_0 sur la poulie, puis l'onde $s_2(x,t)$ qui apparaît par réflexion de s_1 sur le vibreur, puis l'onde $s_3(x,t)$ qui apparaît par réflexion de s_2 sur la poulie.

3) À quelle condition les ondes s_0 et s_2 sont-elles en phase en tout point ? Que constate-t-on alors pour les ondes s_1 et s_2 ? La condition précédente est supposée réalisée dans la suite.

4) Justifier l'expression suivante de l'onde totale existant sur la corde :

$$s(x,t) = a_0 \left\{1 + rr' + (rr')^2 + \ldots + (rr')^n + \ldots\right\} \cos(\omega t - kx) - r\, a_0 \left\{1 + rr' + (rr')^2 + \ldots + (rr')^n + \ldots\right\} \cos(\omega t + kx)$$

5) En quels points de la corde l'amplitude de la vibration est-elle maximale ? Exprimer l'amplitude maximale $A_{\max}$ en fonction de a, r et r'. On rappelle la formule :

$$\sum_{n=0}^{\infty} (rr')^n = \frac{1}{1 - rr'}$$

6) En quels points l'amplitude est-elle minimale ? Exprimer l'amplitude minimale $A_{\min}$.

7) Expérimentalement on trouve $\qquad \dfrac{A_{\min}}{a_0} \approx 1 \quad \text{et} \quad \dfrac{A_{\max}}{a_0} \approx 10$

Déterminer r et r'.

Sujet 2

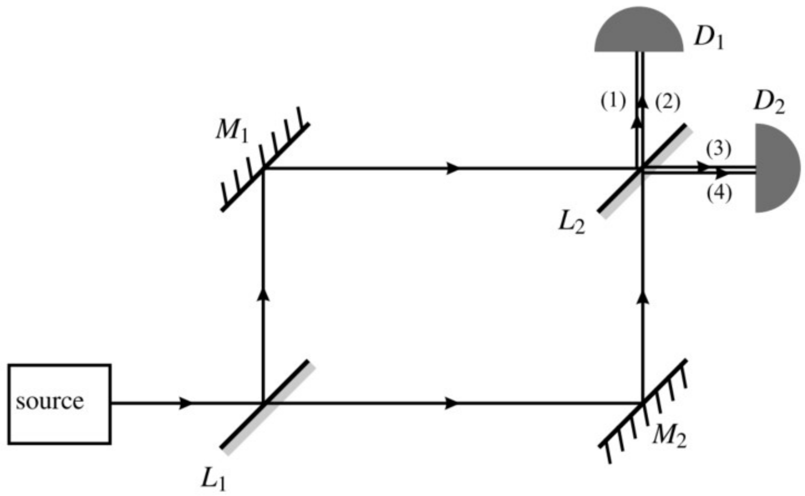
I Interféromètre de Mach-Zender

On considère une lame semi-réfléchissante non équilibrée qui divise un faisceau incident de puissance $\mathcal{P}$ en un faisceau réfléchi de puissance $\mathcal{P}_r = R\mathcal{P}$ et un faisceau transmis de puissance

$$\mathcal{P}_t = T\mathcal{P} \quad \text{avec} \quad R + T = 1$$

1) Traduire ces renseignements en termes de probabilité de réflexion et de transmission du photon.

On réalise un interféromètre de Mach-Zender avec deux lames semi-réfléchissantes de ce type. La puissance du faisceau entrant dans l'interféromètre est $\mathcal{P}_0$.



2) Quelles sont les puissances des quatre faisceaux sortant de l'interféromètre ? Vérifier que la puissance totale est conservée.

3) Quelle serait, dans une image corpusculaire, les puissances reçues par les détecteurs D_1 et D_2 ? Expérimentalement la puissance reçue par D_2 est nulle. Expliquer l'échec du modèle corspusculaire à prévoir cette observation.

4) Dans l'image ondulatoire, en appelant A_0 l'amplitude de l'onde entrant dans l'appareil, écrire les amplitudes des quatre ondes sortant de l'interféromètre.

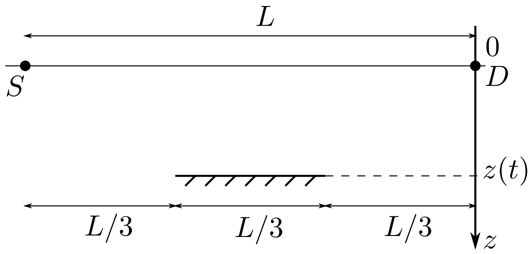
5) L'appareil est réglé de manière à ce que les deux trajets de la lumière soient géométriquement rigoureusement identiques. On admet que le faisceau qui se réfléchit sur l'arrière de L_2 subit un déphasage de π, ce qui n'arrive pas au faisceau se réfléchissant sur l'avant de cette lame. Quelles sont les amplitudes des ondes reçues par chacun des détecteurs ? En déduire les puissances qu'ils reçoivent en fonction de la puissance $\mathcal{P}_0$ entrant dans l'appareil. Conclure.

6) On fait varier le déphasage φ (déphasage du seulement à la propagation) entre les deux ondes arrivant sur le détecteur D_1. Exprimer les puissances reçues par chacun des détecteurs en fonction de $\mathcal{P}_0$, R, T, φ. Comparer le cas où les lames sont parfaitement équilibrées ($R = T = 1/2$) et le cas où elles ne le sont pas.

Sujet 3

I Miroir de Lloyd

On dispose une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 650\,\text{nm}$ à une distance horizontale $L = 45\,\text{cm}$ d'un détecteur D. Initialement, un miroir de longueur $L/3$ positionné à égale distance de S et D se trouve en $z = 0$ (même côte que S et D). On lâche le miroir à $t = 0$ sans vitesse initiale. Il ne subit que les effets de la pesanteur.
La réflexion sur le miroir métallique s'accompagne d'un retard de phase égale à π.
L'indice optique de l'air est supposé égal à 1.



On donne dans le tableau ci-dessous l'instant t_k auquel est mesuré le $k^{\text{ième}}$ maximum d'intensité par le détecteur D.

indice k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_k (ms)	7,42	9,77	11,11	12,08	12,86	13,53	14,10	14,62	15,00

1) Pour une position $z(t)$ du miroir, représenter les deux rayons qui interfèrent au niveau du détecteur D.

2) Déterminer l'expression de la différence de marche δ_D entre ces deux ondes au point D. Pour cela, il pourra être utile de faire apparaitre une source fictive S' image de S par le miroir. Simplifier cette expression dans le cas où $L \gg z(t)$. On rappelle qu'au premier ordre en $\epsilon \ll 1$, $\sqrt{1+\epsilon} \approx 1 + \epsilon/2$.

3) En déduire l'expression de l'intensité en D en fonction du temps. On rappelle la formule de Fresnel

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\Delta\phi)$$

4) Quelle est l'intensité reçue en D à $t = 0$?

5) Déterminer l'expression de l'instant t_k auquel est observé le $k^{\text{ième}}$ maximum d'intensité en D.

6) Á l'aide d'une régression linéaire, déterminer la valeur de g.