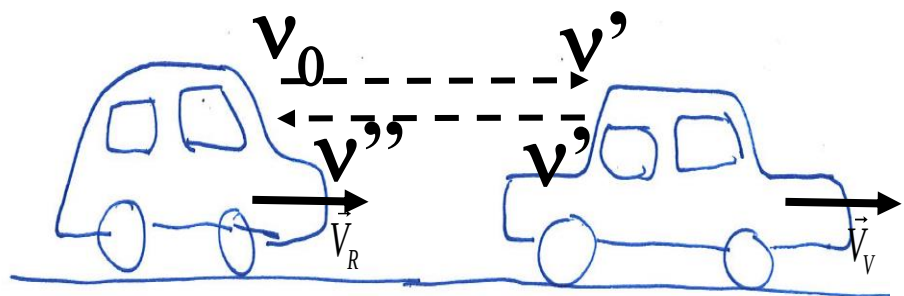


+

Examen de Physique des ondes

I Effet Doppler

Un nouveau radar de contrôle de la vitesse des véhicules est mis en œuvre depuis quelques mois. Ce système est basé sur le dispositif suivant : Un véhicule équipé du radar suit la voiture dont on souhaite mesurer la vitesse. Le radar émet une onde électromagnétique de fréquence ν_0 qui est reçue par la voiture à une fréquence ν' . Cette dernière réémet la fréquence ν' qui est reçue par le radar à la fréquence ν'' . On notera $\vec{C}$ la célérité de l'onde dans l'air, $\vec{V}_R$ la vitesse de déplacement du radar et $\vec{V}_V$ celle de la voiture. On supposera dans la suite du problème que les deux véhicules se déplacent dans la même direction.



- 1) Exprimer la relation Doppler entre v_0 et v' en explicitant les vitesses de la source, du récepteur et en justifiant les angles γ intervenant.

- 2) Exprimer la relation Doppler entre v' et v'' en explicitant les vitesses de la source, du récepteur et en justifiant les angles γ intervenant.

- 3) En déduire la relation entre v'' et v_0 .

- 4) En déduire une relation approchée au premier ordre entre ν'' et ν_0 sachant que l'on a : $\vec{V}_V \ll \vec{C}$ et $\vec{V}_R \ll \vec{C}$.

- 5) En déduire le décalage en fréquence $\Delta\nu = \nu'' - \nu_0$ (on négligera les termes du second ordre en $\frac{V_i \cdot V_j}{C^2}$).

- 6) $\nu_0 = 25.10^9 \text{ Hz}$, $\Delta\nu = 1 \text{ kHz}$, $|\vec{V}_R| = 120 \text{ km/h}$, $|\vec{C}| = 3.10^8 \text{ m/s}$, calculer $|\vec{V}_V|$ et indiquer si le radar s'éloigne ou se rapproche de la voiture.

II) Combinaison d'ondes

Calculer l'équation de $\xi_t(x, t)$, onde résultante de la superposition des trois ondes.

$$\xi_1(x, t) = \xi_0 e^{i(\omega t - kx)}, \quad \xi_2(x, t) = \frac{\xi_0}{2} e^{i\left(\omega t - kx + \frac{\pi}{2}\right)}, \quad \xi_3(x, t) = \frac{\xi_0}{2} e^{i(\omega t - kx - \pi)}$$

III)

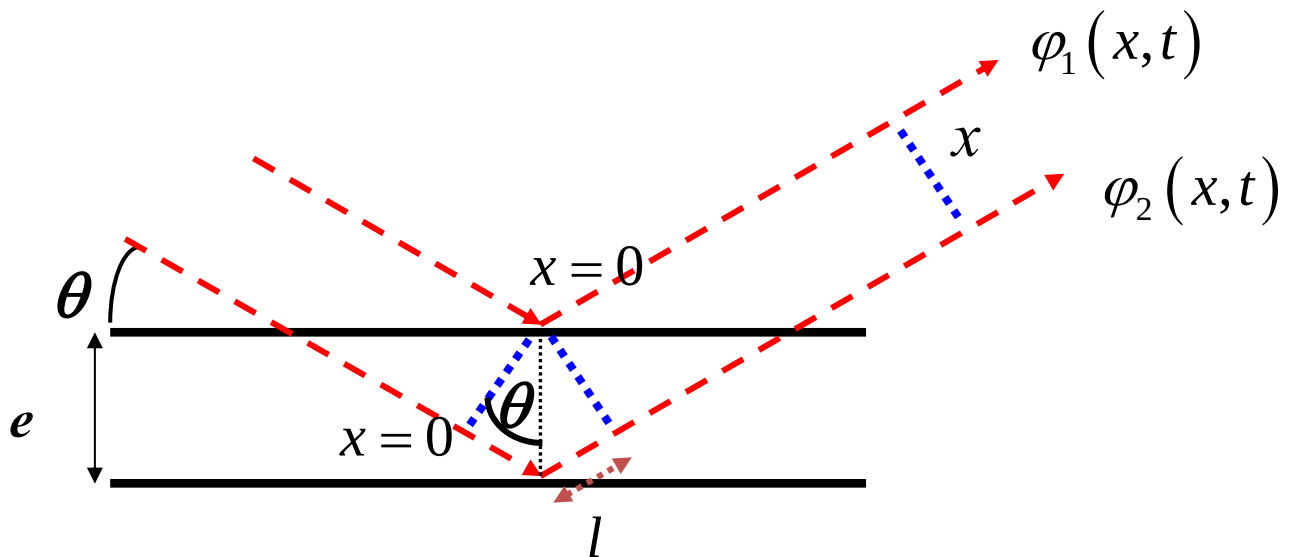
On pourra utiliser soit la méthode géométrique, soit celle de Fresnel. On rappelle les relations :

$$z = \rho e^{i\theta} \Rightarrow \begin{cases} \rho = \sqrt{\rho^2} = \sqrt{z \cdot z^*} = \sqrt{\left(\operatorname{Re}(e^{i\theta})\right)^2 + \left(\operatorname{Im}(e^{i\theta})\right)^2} \\ \tan(\theta) = \frac{\operatorname{Im}(e^{i\theta})}{\operatorname{Re}(e^{i\theta})} \end{cases}$$



III) Interférences

On considère un rayon lumineux qui est intercepté par une flaque d'huile d'épaisseur e avec un angle d'incidence θ . Une partie de l'intensité lumineuse est réfléchiée de façon spéculaire par la première interface (air/huile), l'autre partie est transmise à travers la flaque puis réfléchiée à la seconde interface (huile/sol) avec le même angle (voir schéma ci-dessous). On négligera dans toute la suite du problème la variation angulaire liée à la réfraction. On note $\varphi_1(x,t)$ l'onde réfléchiée par la première interface et $\varphi_2(x,t)$ celle réfléchiée par la seconde. La coordonnée x représente la distance à l'origine le long du trajet de l'onde. On fixe son origine au point de réflexion sur la première interface pour $\varphi_1(x,t)$ et donc à l'intersection avec le plan perpendiculaire à l'onde pour $\varphi_2(x,t)$. Les deux ondes sont donc en phase au point $x = 0$.



- 1) Calculer $\delta (= 2.l)$ la différence de marche géométrique entre les deux ondes en fonction de e et θ .

2) On néglige dans un premier temps la variation d'indice entre l'air et l'huile. Exprimer l'équation décrivant la propagation de chaque onde en fonction x, t, δ et φ_0 l'amplitude qui est identique pour $\varphi_1(x, t)$ et $\varphi_2(x, t)$.

3) On considère maintenant la variation d'indice entre l'air d'indice $n_0 = 1$ et l'huile d'indice n . On néglige le changement d'angle de la direction de propagation dans le milieu « huile » (changement d'angle résultant de la loi de la réfraction). On rappelle que $n = \frac{c}{v}$ où c est la vitesse de propagation de l'onde dans le vide et v celle dans le milieu d'indice n . montrer que la différence de temps que met une onde à parcourir une distance d dans le vide (ou l'air) et la même distance d dans un milieu d'indice n s'exprime comme $\Delta t = (n - 1) \frac{d}{c}$.

4) En déduire le déphasage temporel $\Delta(n, \delta, k)$, nouveau déphasage entre $\varphi_1(x, t)$ et $\varphi_2(x, t)$.

- 5) Réécrire l'équation de $\varphi_2(x, t)$ et en déduire l'expression de $\varphi(x, t) = \varphi_1(x, t) + \varphi_2(x, t)$

- 6) Calculer l'intensité réfléchie $I(n, \delta) = |\varphi(x, t)|^2 = \varphi(x, t) \cdot \varphi^*(x, t)$ et expliquer pourquoi elle varie en fonction de la longueur d'onde. Calculer la plus grande longueur d'onde d'intensité maximale $\lambda_{\max}(e, n)$ pour un angle θ fixé.

7) Application numérique : $n = 1,5$ $\theta = 30^\circ$ $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$ (vert) , calculer l'épaisseur de la flaque :