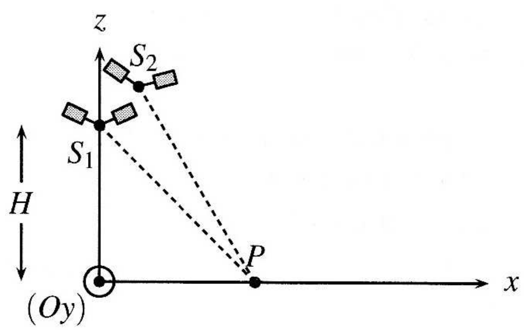
Exercice 1 : (∗) La loupe
Un observateur emmétrope, c'est-à-dire ayant un œil normal, peut voir distinctement de l'infini à une distance minimale d_m. On dit que l'observateur accommode si l'objet qu'il observe n'est pas à l'infini. Cet observateur regarde à l'œil nu un tout petit objet plan que l'on assimilera à un segment AB de longueur ℓ, perpendiculaire à l'axe optique.

1. Déterminer α_m, angle maximal sous lequel l'objet peut être vu.
2. L'observateur regarde AB à travers une lentille mince convergente de distance focale f' et de centre O (loupe). Son œil est situé à une distance a de la loupe ($a < d_m$).
   (a) Déterminer les positions de l'objet rendant possible l'observation d'une image nette par l'observateur emmétrope. Faire une construction géométrique de l'image. L'image est-elle droite ou renversée ?
   (b) Pour quelle position de l'objet l'observation se fait-elle sans accommodation ? Exprimer l'angle α sous lequel l'œil voit l'image. Application numérique : que vaut le grossissement commercial de la loupe $G = \alpha/\alpha_m$? On donne $d_m = 0,25$ m et $f' = 50$ mm.

Exercice 2 : Largeur naturelle et largeur Doppler
Dans cet exercice on étudie l'influence de l'effet Doppler sur la largeur spectrale d'une raie.

1. Quelle est la fréquence centrale ν_0 d'une raie correspondant à la longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 0,5$ μm ? Quelle est sa couleur ? La longueur de cohérence d'une telle raie de lampe spectrale liée à la seule largeur naturelle serait de $L_c \approx$ 3m. Expliquer cette notion et en déduire la durée τ_0 des trains d'onde émis ainsi que la largeur spectrale naturelle $\Delta\nu$ de la raie à l'aide de la relation $\tau_0.\Delta v \approx 1$. Quel est son facteur de qualité (défini par le rapport $\nu_0/\Delta\nu$) ? Quelle est la largeur spectrale naturelle en $\Delta\lambda$ de la raie ?
2. En réalité, en raison de l'agitation thermique des molécules émettrices, la fréquence perçue est $\nu = \nu_0\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$ où v est leur vitesse radiale et le signe $\pm$ lié au sens de leur mouvement vis-à-vis de l'observateur (c'est l'effet Doppler). Quelle est la largeur Doppler $\Delta\nu'$ de la raie si on assimile la vitesse v à la vitesse quadratique moyenne lorsque la température est $T = 320$ K pour un gaz de masse molaire $M = 44$ g $\cdot$ mol^{-1} (CO_2) ? Quels sont alors le temps τ' ainsi que la longueur de cohérence L'_c réelle ? Quelle est la largeur spectrale Doppler $\Delta\lambda'$ de la raie ?

Exercice 3 : Principe de l'interférométrie radar à synthèse d'ouverture
L'observation de la Terre et de sa topographie peut être réalisée grâce à des techniques interférométriques. Un satellite survole la même région de la Terre à deux instants différents. À l'instant t_1, le satellite occupe la position S_1 (voir figure ci-dessous). Il émet alors des ondes électromagnétiques, de longueur d'onde λ_0, vers un point P de la surface terrestre, où ces ondes sont réfléchies. Le satellite enregistre la durée de l'aller-retour entre S_1 et P, proportionnelle au double du chemin optique (S_1P). La même mesure est effectuée à l'instant $t_2 > t_1$ où le satellite occupe la position S_2.

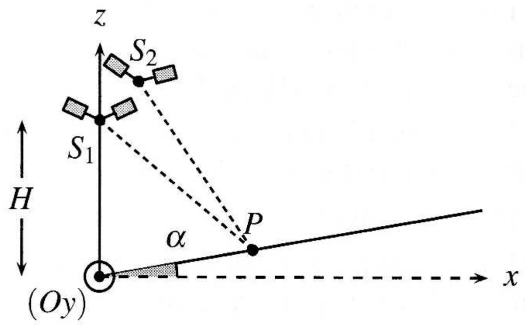


Le point P a une altitude de référence, choisie nulle par convention, et se trouve sur l'axe (Ox). On pose $\overrightarrow{S_1S_2} = a\overrightarrow{u_x} + b\overrightarrow{u_y} + d\overrightarrow{u_z}$. On se place dans des conditions telles que $\|\overrightarrow{S_1S_2}\| \ll \|\overrightarrow{S_1P}\|$. On pose $R = \|\overrightarrow{S_1P}\|$. On note n l'indice de l'air.

1. Montrer que la différence de marche entre les deux signaux réfléchis en P et reçus par le satellite aux instants t_1 et t_2 s'écrit (au signe près) :

$$\delta \simeq \frac{2n}{R}\overrightarrow{S_1S_2} \cdot \overrightarrow{S_1P}.$$

2. À partir des signaux reçus, on réalise une figure d'interférences à deux ondes dont l'éclairement est donné par la formule de Fresnel. Exprimer cet éclairement. Quelle est la forme géométrique des franges observées ? Exprimer l'interfrange i en fonction de n, a, λ_0 et R. Application numérique : calculer l'interfrange pour $\lambda_0 = 28,0$ mm, $n = 1,00$, $R = 832$ km et $a = 250$ m.
3. Cette technique est utilisée pour mesurer la topographie du sol. Considérons la situation où le sol est incliné d'un angle α par rapport à un plan horizontal de référence (voir figure ci-dessous). Par souci de simplicité, on suppose que $\alpha \ll 1$.
   (a) Exprimer la différence de marche définie comme précédemment.
   (b) Montrer que la variation relative de l'interfrange par rapport au sol plan permet d'accéder à l'angle α.



Exercice 4 : Mesure d'une longueur d'onde
Un interféromètre de Michelson est réglé pour donner des anneaux ; il est éclairé avec une lampe à vapeur de mercure et un filtre pour ne sélectionner que la raie verte. Le miroir M_1 est mobile et la vitesse de son chariot est $v = 0,80$ mm.s^{-1} (ce qui est très rapide à l'échelle de la longueur d'onde) ; dans sa position initiale ($t = 0$, $x = 0$), l'ordre d'interférence au foyer image F_2' de la lentille L_2 est nul.

1. Qu'observe-t-on en F_2' ? Y donner, lorsque le miroir M_1 a été translaté de $x(t)$, l'expression de l'intensité vibratoire $I(t)$ en fonction du temps.
2. La période T_0 du signal (à exprimer en fonction de λ et v) vaut $T_0 = 0,341$ ms. Est-ce observable ? Est-ce mesurable ? En déduire la valeur de λ.

Exercice 5 : (∗) Diffraction d'une onde lumineuse par un réseau acoustique
Une onde lumineuse plane (de longueur d'onde $\lambda_0 = 0,55$ μm dans le vide) arrive sous incidence nulle sur une fine cuve à eau, siège dans la direction perpendiculaire d'une onde ultrasonore stationnaire de fréquence $f_a = 6,8$ MHz. Les variations infimes de masse volumique de l'eau dues à l'onde acoustique se traduisent par des variations semblables de son indice de réfraction autour de $n = 1,33$. Dans ces conditions, la variation sinusoïdale de l'indice a un effet analogue à celui d'un réseau de phase.
Sur l'écran placé dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale $f' = 60$ cm, la distance des maxima voisins est $\Delta x = 1,2$ mm. En déduire la célérité c_a des ondes ultrasonores dans l'eau.