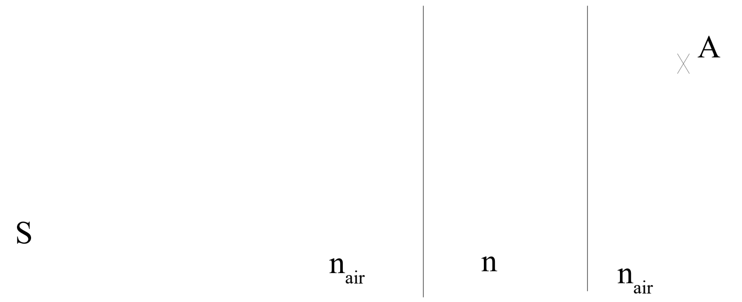
Exercices interférences à division du front d'onde .

Exercice 1 : Différence de marche introduite par une lame à faces parallèles .
Une lame de verre à face parallèles, d'épaisseur e et d'indice n est interposée entre une source S située à l'infini dans l'air, d'indice n, et un point A situé aussi dans l'air.



1. Tracer soigneusement sur la figure précédente le rayon lumineux, issu de S, qui arriverait en A en l'absence de la lame, ainsi que le rayon qui arrive en A en présence de celle-ci.
2. On s'intéresse à la grandeur $\delta_{lame}=(SA)_{avec\,lame}-(SA)_{air}$, différence des chemins optiques entre S et A en présence et en l'absence de la lame (ces chemins optiques sont infinis).
Montrer que: $\delta_{lame} = e(n\cos(r) - n_{air}\cos(i))$ où i est l'angle d'incidence des rayons lumineux sur la lame et r l'angle de réfraction. Vérifier le résultat dans le cas où i = 0. Donner une expression de δ_{lame} approchée au deuxième ordre lorsque l'angle i est très petit.

Exercice 2: raie quasi-monochromatique .
Une raie spectrale d'une lampe au cadmium a pour caractéristiques : longueur d'onde moyenne $\lambda_{0m}=643{,}8\,nm$ et largeur en longueur d'onde $\Delta\lambda = 1{,}3$ pm .
1- Quelle est sa couleur ?
2- Calculer la largeur en fréquence $\Delta\nu$, la longueur de cohérence lc , le temps de cohérence τc ainsi que le nombre moyen d'oscillations par train d'onde .

Exercice 3 : Teinte d'une lame mince
Une goutte d'huile est déposée sur une flaque d'eau. Elle s'étale en surface et forme une mince couche dont on supposera l'épaisseur e constante. L'indice de réfraction de l'huile est n = 1,5, supérieur à celui de l'eau (1,33). Un observateur regarde un reflet du Soleil, en se plaçant quasiment à la verticale de cette flaque. Il observe une teinte magenta.
1. En considérant uniquement les interférences entre une onde réfléchie sur l'interface air/huile et l'autre sur l'interface huile/eau, écrire la condition d'interférences destructives, en fonction de la longueur d'onde λ_0 de la lumière dans le vide (ou dans l'air, d'indice $n\approx 1$).
2. Expliquer alors pourquoi le reflet est coloré. On admettra que l'oeil perçoit une teinte blanche si les couleurs rouge, vert et bleu de la vision trichromique sont représentées de façon équilibrée dans le spectre de la lumière.
3. Sachant que le magenta est la teinte complémentaire du vert ($\lambda_0=550\text{nm}$), estimer l'épaisseur e minimale de la couche d'huile donnant cette teinte.

Exercice 4 : déplacement d'un système de franges
Une source S monochromatique éclaire deux fentes fines F1 et F2 parallèles distantes de a = 3mm situées à une distance d = 50 cm de S .

La source est située sur la médiatrice de F1 et F2 et on compte 6 franges brillantes de chaque côté de la frange centrale située en O occupant dans leur ensemble une longueur L = 7,2 mm sur un écran situé à une distance D = 3 m .

1- Faire une figure représentant le système . Etablir la différence de marche entre deux rayons venant interférer en un point M de l'écran de coordonnées (x , y , 0) .

Décrire précisément le système de franges observable sur l'écran . Le système de franges est-il observable uniquement pour D = 3m, comment sont qualifiées les interférences ?

2- Calculer la longueur d'onde λ de la radiation émise par S .

2- Avec quelle approximation connaît-on λ sachant que l'on a mesuré L au 1/10 mm , a au 1/10 mm et D à 1 cm près .

3-On déplace S de 2,5 mm vers le haut de la figure , de combien et dans quel sens se déplace la frange centrale ?

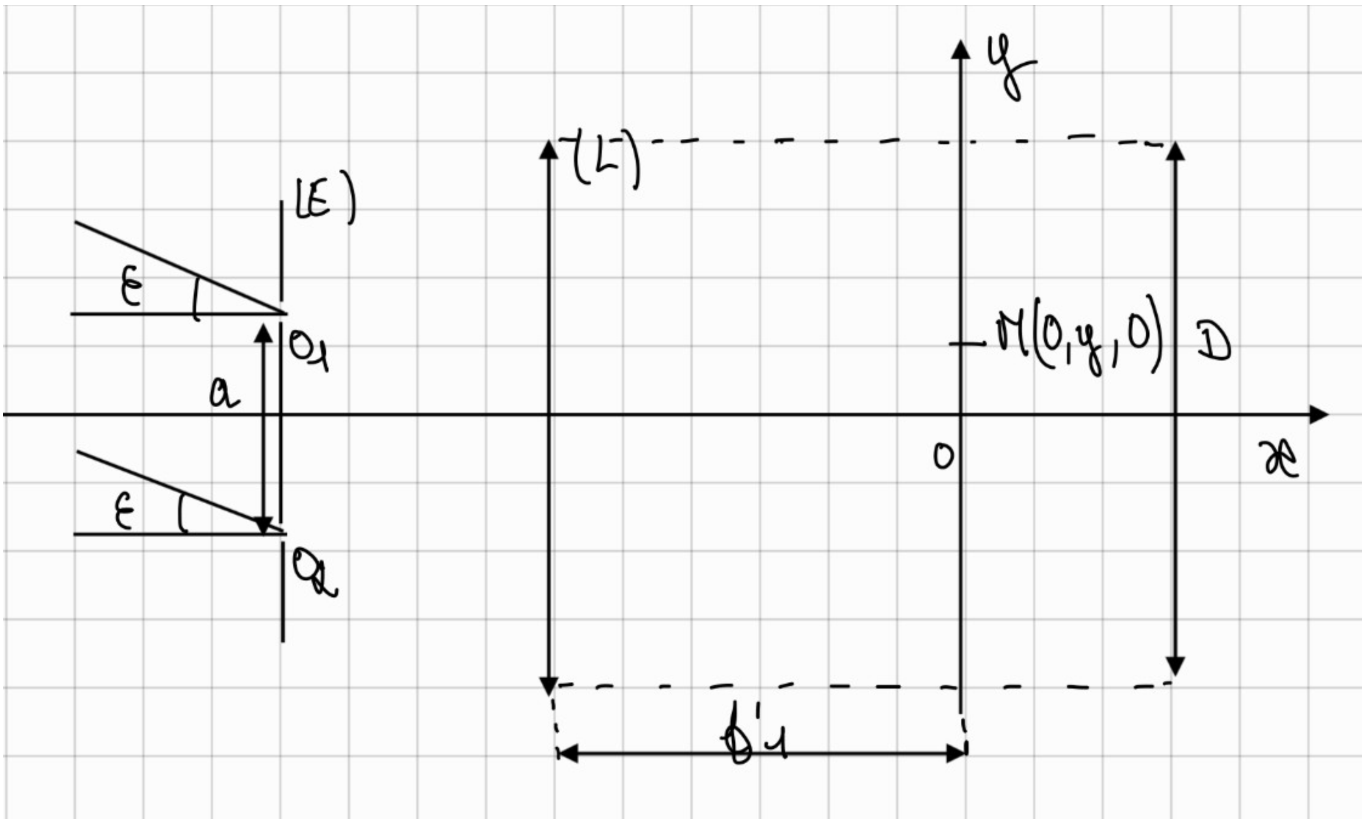
4-On ramène celle-ci dans sa position primitive O en plaçant devant une des 2 fentes une lame à faces parallèles d'indice 1,5 , où doit-on la mettre ? Quelle épaisseur convient-il de lui donner ?

Exercice 5 :résolution angulaire d'une étoile double .

Pour mesurer la distance angulaire ε séparant deux étoiles proches S_1 et S_2 , on utilise le dispositif ci-dessous .

Deux fentes infiniment fines O_1 et O_2 , distantes de a, transparentes , identiques et percées dans un écran (E) opaque , sont placées devant une lentille convergente (L) de focale f'_1 et de diamètre D . L'observation est faite dans le plan focal image de (L) .

On considère que S_1 est sur l'axe optique et on note ε l'écart angulaire entre les deux sources S_1 et S_2 distinctes .



1- Montrer que l'intensité lumineuse due aux deux sources S_1 et S_2 observées simultanément peut se mettre sous la forme : $I(y)=K[1+\cos(\frac{\pi\delta'}{\lambda})\cos(2\pi\frac{\delta}{\lambda}+\pi\frac{\delta'}{\lambda})]$ avec $\delta'=a\epsilon$, $\delta=\frac{y}{f'_1}$

et K est une constante .

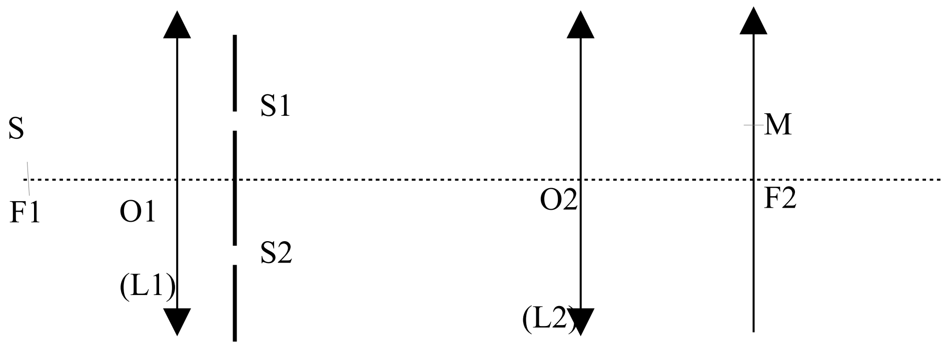
2- Déterminer l'expression du facteur de visibilité .

3- Afin de déterminer ε , on modifie l'écartement entre les deux fentes afin d'annuler le contraste , montrer que cette méthode permet de déterminer ε .

Avec la lunette étudiée (D = 60 mm , λ = 550 nm) , peut-on séparer les systèmes doubles suivants : Hercule (ε = 1,37 secondes d'angle) , 85 Pégase (ε = 0,83 seconde d'angle) ?

Exercice 6 :

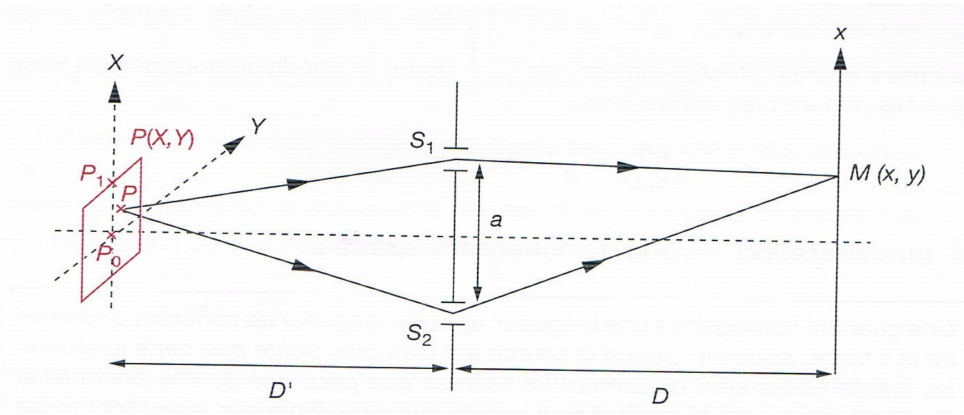
On considère , dans l'air d'indice n = 1 , le dispositif ci-dessous , où S1 et S2 sont deux fentes très fines distantes de e = 1 mm , et L1 et L2 deux lentilles convergentes de distance focale f = 1 m . F1 et F2 sont respectivement les foyers objet et image de L1 et L2 .

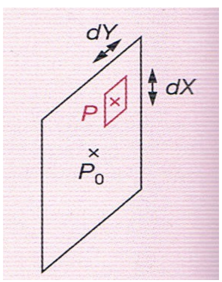


1- La source F émet deux radiations de longueurs d'onde λ1 = 0,577 µm et λ2 = 0,579 µm . Déterminer l'éclairement en un point M de l'écran . Identifier le terme d'interférence et le facteur de visibilité .
2- Déterminer le nombres de franges brillantes entre deux zones de brouillage consécutives .

Exercice 7 : Trous d'Young éclairés par une source étendue: calcul de l'intensité

On se propose d'effectuer le calcul précis de l'intensité observée sur l'écran pour une source étendue (monochromatique) de dimensions h selon les directions x et y . . On découpe par la pensée la source carrée en petites sources quasi ponctuelles de taille dX x dY .





1- Les différentes sources ainsi considérées sont incohérentes , qu'en déduire pour le calcul de l'intensité?

2- Soit P(X, Y) un point de la source. Quelle est la différence de marche en un point M(x, y) de l'écran pour un rayon issu de P ?

3- Montrer que l'intensité élémentaire dl(M) créée au point M par le morceau situé entre [X, X + dX] et [Y, Y + dY] est de la forme: $dI(M) = 2A\, dX\, dY\,[1+\cos(\frac{2\pi}{\lambda_0}(\frac{aX}{D'}+\frac{ax}{D}))]$

où A est une constante. On supposera que l'intensité d'un rayon issu d'un morceau d'une source lumineuse est proportionnelle à la surface de source considérée.

4- En intégrant sur toute la source, en déduire l'expression de l'intensité I(x) sur l'écran.

On rappelle la formule de factorisation de fonctions sinusoïdales: $sinp - \sin q = 2\sin\frac{p-q}{2}\cos\frac{p+q}{2}$.

On posera Ah² = Io et on définit la fonction sinus cardinal $sinx(x) = \frac{sinx}{x}$.

5- Interpréter le résultat obtenu : identifier la visibilité et le terme d'interférences.

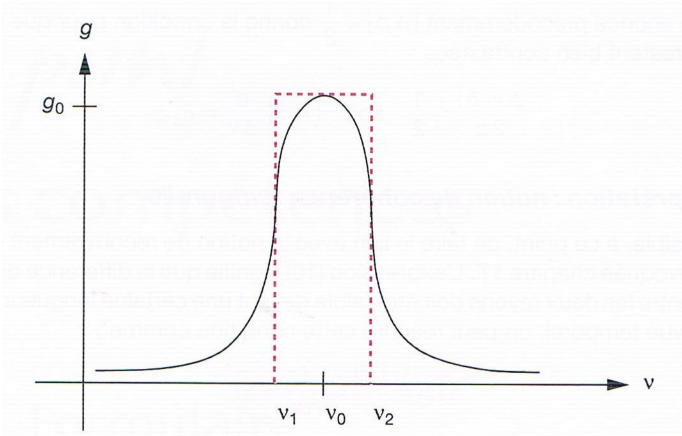
6- Tracer les variations du contraste en fonction de la taille h de la source.

7-Pour quelle valeur ho de la taille de la source le contraste s'annule-t-il? Retrouver un résultat établi dans le cours .

Plus généralement, dans quel domaine de tailles de la source le contraste reste-t-il correct?

<u>Exercice 8 :</u>Source à profil rectangulaire

On désire mener exactement le calcul de l'intensité pour une source (ponctuelle) à spectre étendu éclairant des trous d'Young . Pour simplifier, nous modéliserons son spectre par un profil rectangulaire entre ν_1 et ν_2 , fréquences à mi-hauteur . La fréquence centrale est $\nu_0 = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$, on pose $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$.



1- Que dire des intensités résultant des différentes fréquences de la source?

2- On note δ(M) la différence de marche des deux rayons interférant en M.Que vaut l'intensité dIs(M) d'un rayon émis par la source entre les fréquences ν et ν + dν (on admettra, qu'au niveau de la source, l'intensité est proportionnelle à d ν ?

3- En déduire l'intensité sur l'écran correspondant aux fréquences entre ν et ν + dν.

4- En déduire l'expression de l'intensité totale: $I(M) = 2I_0(1 + sinc(\frac{\pi\delta\Delta\nu}{2})\cos(\frac{2\pi\nu_0\delta}{c}))$

où I_0 est une constante.

5- Identifier les termes variant rapidement et lentement avec la différence de marche et leur attribuer un sens physique.

6-En déduire l'allure de $I(\delta)$.

7- Quelle est la condition pour que le contraste reste bon?

8- Critiquer la modélisation lorsqu'on part d'une source monochromatique et que $\Delta\nu$ augmente.

Exercice 9 :miroir de Lloyd

Un miroir plan , de largeur L = 20 cm , est placé perpendiculairement à un écran E ; celui-ci est en contact avec le bord O du miroir situé à droite . On éclaire le miroir par une source lumineuse S parallèle au miroir , située à faible distance y = 1,5 mm du plan du miroir et à une distance

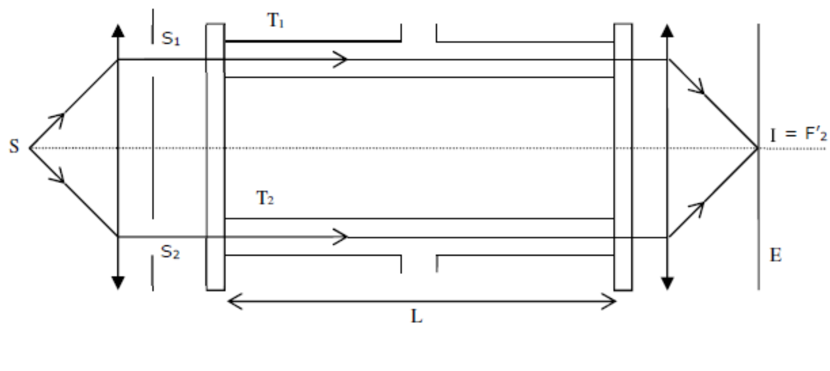
D = 70 cm de l'écran .

1- La source émet une lumière monochromatique de longueur d'onde λ = 0,6 µm . Ecrire la loi I (x) donnant l'intensité vibratoire sur l'écran E en un point M du champ d'interférence (OM = x) . Quelle est la forme des franges observées ?
2- a- A quelle distance de O se trouve la troisième frange brillante ?
b- Quel est le nombre de franges brillantes visibles sur l'écran .
3- La source émet de la lumière blanche dont les limites sont λb = 0,4 µm et λr = 0,75 µm . On dispose la fente d'un spectroscope dans le plan d'observation , parallèlement à la frange centrale et à la distance
x' = 0,5 mm du centre du système de franges . Décrire l'aspect du spectre observé .
4- Calculer le nombre de cannelures sombres et les longueurs d'onde des radiations manquantes .

Exercice 10: interféromètre de Rayleigh

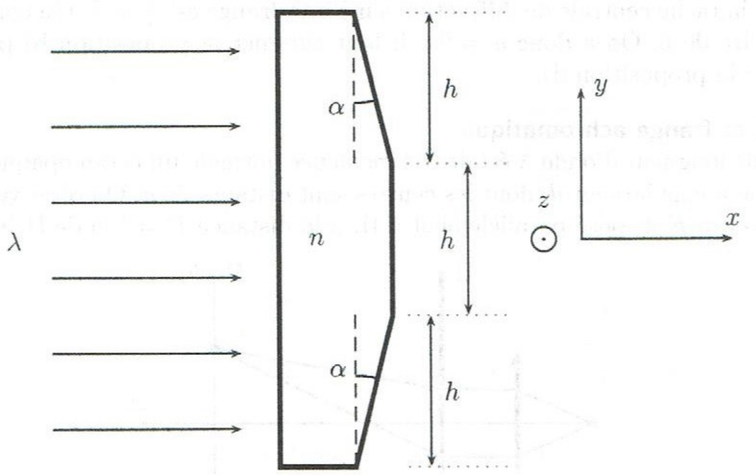
L'interféromètre de Rayleigh (dérive du dispositif d'Young) est représenté sur la figure ci-dessous. Lorsque les tubes T1 et T2 sont remplis d'air dans les conditions normales, le montage est symétrique, et on observe une frange brillante au centre I de l'écran. La source S émet la radiation λ=0,577 µm, la longueur commune des tubes est L=0,20 m. T2 étant toujours rempli d'air dans les conditions normales, on fait progressivement le vide dans T1. On pose a = 8mm la distance entre les deux sources secondaires S1 et S2 et f'2 = 1 m la distance focale de la lentille de projection.
1- Dans quel sens défilent les franges ?
2- Pendant le pompage, 101 franges brillantes défilent en I et lorsque la pression dans T1 est quasi nulle on observe en I une frange sombre. En déduire l'indice absolu n de l'air dans les conditions normales.
3- Déterminer la distance entre la frange d'ordre 0 et le foyer image F'2 de la lentille de projection.
4- L'indice n de l'air de masse volumique µ obéit a la loi de Gladstone : $\frac{n-1}{\mu}=cte$.

Quelle doit être l'élévation de température de l'air du tube T2 initialement a 0°C et maintenu a la pression atmosphérique pour observer un déplacement des franges d'un interfrange .



Exercice 11:interférences à trois ondes .

Un faisceau parallèle de lumière cohérente, de longueur d'onde λ, éclaire sous incidence normale la face arrière d'un prisme . Celui-ci, formé de verre d'indice n, est invariant par translation le long de l'axe Oz ; il a dans le plan Oxy la forme représentée ci-dessous : sa partie centrale forme une lame à faces parallèles et ses parties supérieure et inférieure un prisme d'angle α avec α << 1 rad . Les trois parties du prisme ont la même hauteur h = 2 mm .



1- Montrer qu'après la traversée du prisme, on obtient trois faisceaux de lumière parallèle dont on exprimera les vecteurs unitaires des directions de propagation $\vec{u}_{0,}\vec{u}_{-1}, \vec{u}_1$ sur la base $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$, en fonction de $\theta=(n-1)\alpha$.

2- On dispose un écran E perpendiculairement à l'axe Ox , à une certaine distance D du prisme . Montrer que, selon les valeurs de D , on peut observer des zones d'interférences correspondant à des interférences entre deux ou trois ondes .

3- On se place dans la zone où trois ondes issues des trois faisceaux obtenus en sortie du prisme interfèrent . On néglige les différences de marches liées aux différences d'épaisseurs de la lame .Donner les vecteurs d'onde $\vec{k}_1, \vec{k}_0\, et\, \vec{k}_{-1}$ des ondes appartenant aux trois faisceaux obtenus en sortie du prisme . Exprimer, en un point M les vibrations complexes $\underline{s_1}(M,t), \underline{s_0}(M,t), \underline{s_{-1}}(M,t)$ issues des trois faisceaux . En déduire l'éclairement E (y) en M . Décrire et représenter E(y) .