E80. Laser et couleurs

1) Quelles sont les longueurs d'onde (approximativement) et les couleurs respectives qui correspondent aux limites du spectre de la lumière visible ?

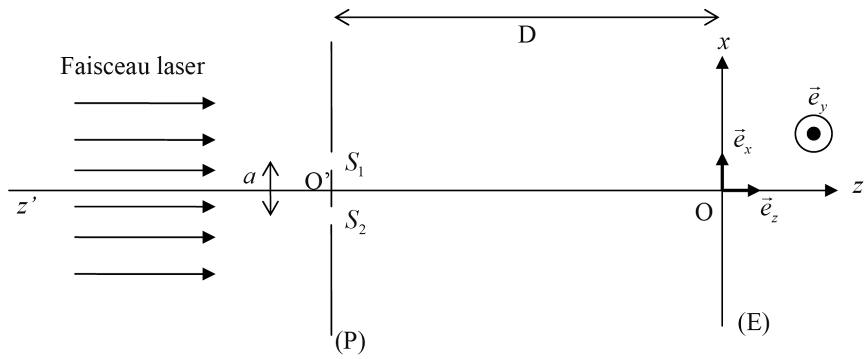
2) Quelle est la couleur émise par le laser dans le cas d'un laser He-Ne de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 632{,}8$ nm ?

E 81. Expérience de Young : description qualitative des interférences

On réalise, dans l'air, l'expérience des trous d'Young à l'aide du dispositif décrit et schématisé ci-dessous.
Un laser, de longueur d'onde dans le vide λ, émet un faisceau lumineux cylindrique d'axe $z'z$. Une plaque opaque (P), percée de deux trous circulaires S_1 et S_2 de même taille et de faibles dimensions, est placée perpendiculairement à l'axe $z'z$. On note O' le milieu du segment $[S_1S_2]$. Le point O' appartient à l'axe $z'z$. La distance entre les centres des deux trous S_1 et S_2 est notée a. Le phénomène d'interférences est observé sur un écran (E) placé perpendiculairement à l'axe $z'z$. Soit O le point de l'écran (E) appartenant à l'axe $z'z$. La distance entre la plaque (P) et l'écran (E) est égale à D. On a ainsi $D = OO'$.
L'espace est rapporté au repère cartésien $\left(O,\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{e_y},\overrightarrow{e_z}\right)$ défini comme suit :

- $\overrightarrow{e_z}$: vecteur unitaire de l'axe Oz, orienté de la plaque (P) vers l'écran (E).
- $\overrightarrow{e_x}$: vecteur unitaire de l'axe Ox, parallèle à $[S_1S_2]$ et orienté de S_2 vers S_1.
- $\overrightarrow{e_y}$: vecteur unitaire de l'axe Oy tel que la base $\left(\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{e_y},\overrightarrow{e_z}\right)$ soit orthonormée directe.

Dans tout le problème, l'indice de réfraction de l'air sera pris égal à 1.



1) Un faisceau lumineux de large section peut être, à l'aide de diaphragmes, ramené à un pinceau étroit. On peut mathématiquement idéaliser ce pinceau par une trajectoire orientée de la source vers le détecteur et appelée rayon lumineux. Cette idéalisation, de nature géométrique, est à la base de l'optique géométrique, science dont le but essentiel est de déterminer la "marche des rayons lumineux", c'est-à-dire le trajet suivi par la lumière lorsqu'elle traverse différents milieux.
En se référant uniquement aux lois de l'optique géométrique, quelle devrait être l'allure de la figure observée sur l'écran (E) ?

2) Pour quelle raison l'optique géométrique ne permet-elle pas de prévoir l'existence d'un champ d'interférences dans le cas du dispositif des trous d'Young ?
À quel phénomène physique doit-on faire appel pour en comprendre l'existence ?

3) Réaliser un schéma représentant le champ d'interférences.

Les réponses aux questions suivantes seront justifiées. Une démonstration quantitative ne sera toutefois pas exigée.

4) Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ? Décrire précisément la figure d'interférences obtenue.

5) Comment est modifiée la figure d'interférences si on translate la plaque (P) suivant l'axe Ox ? suivant l'axe Oy ?

6) Comment est modifiée la figure d'interférences si on translate l'écran (E) suivant l'axe $z'z$?

E 82. Expérience de Young : différence de marche

On se réfère au dispositif de l'exercice E81.
Soit un point M de l'écran (E), de coordonnées $(x,y,0)$ dans le repère $\left(O,\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{e_y},\overrightarrow{e_z}\right)$.

1) Exprimer les coordonnées des trous S_1 et S_2 dans le repère $\left(O,\overrightarrow{e_x},\overrightarrow{e_y},\overrightarrow{e_z}\right)$

   Exprimer les distances S_1M et S_2M, respectivement entre les trous S_1 et S_2 et le point M. On exprimera S_1M et S_2M en fonction de a, D, x et y.
   En déduire, sans aucune approximation, l'expression de la différence de marche au point M entre les rayons issus de S_1 et S_2 : $\delta(M)=S_2M-S_1M$. On exprimera $\delta(M)$ en fonction de a, D, x et y.

2) La distance a entre les deux trous étant petite par rapport à la distance d'observation D, et le point M étant proche du point O, on peut considérer que a, x et y sont très petits devant D. En faisant un développement limité au premier ordre de l'expression de $\delta(M)$ obtenue précédemment, en déduire l'expression simplifiée de $\delta(M)$ en fonction de a, D et x.

3) En prenant en compte l'expression de $\delta(M)$ calculée à la question précédente, expliquer comment serait modifiée la figure d'interférences si on remplaçait les deux trous par deux fentes très fines appartenant à la plaque (P), parallèles à l'axe Oy et distantes de a ?

E 83. Expérience de Young : éclairement lumineux de l'onde résultante

On se réfère au dispositif de l'exercice E81.
On représente par $s_1(S_1,t)=s_2(S_2,t)=s_m\cos\left(\dfrac{2\pi c}{\lambda}t\right)$ l'expression des ondes respectivement aux points S_1 et S_2.

s_m représente l'amplitude de l'onde considérée, c représente la célérité de la lumière dans le vide et t le temps.
On néglige l'atténuation de l'onde entre les trous et le point M.

1) Déterminer en fonction de s_m, S_1M, c, λ et t, l'expression $s_1(M,t)$ de l'onde issue du trou S_1 lorsqu'elle arrive au point M.
   Déterminer de même, en fonction de s_m, S_2M, c, λ et t, l'expression $s_2(M,t)$ de l'onde issue du trou S_2 lorsqu'elle arrive au point M.

2) En déduire l'expression $s(M,t)$ de l'onde qui résulte de la superposition des deux ondes $s_1(M,t)$ et $s_2(M,t)$ au point M. On exprimera $s(M,t)$ en fonction de s_m, S_1M, S_2M, c, λ et t.
   Mettre l'expression de $s(M,t)$ sous la forme du produit d'un terme indépendant du temps (amplitude de l'onde) et d'un terme dépendant du temps.

3) Sachant que l'éclairement lumineux $\varepsilon(M)$ (appelée aussi intensité) qui résulte, au point M, de l'onde $s(M,t)$ est proportionnelle à la valeur moyenne du carré de $s(M,t)$, avec K constante de proportionnalité, exprimer l'intensité lumineuse $\varepsilon(M)$ en fonction de s_m, K, δ et λ puis en fonction de s_m, K, a, x, λ et D.

4) Calculer, en détaillant clairement le raisonnement effectué, l'expression de l'interfrange i de la figure d'interférences. Exprimer i en fonction de a, λ et D.

5) Tracer l'allure du graphe de $\varepsilon(M)$ en fonction de x.

On rappelle l'expression de l'ordre d'interférence au point M : $p(M)=\dfrac{\delta(M)}{\lambda_0}$

6) Montrer que lorsque $p(M)$ est entier, la frange observée en M est brillante.

7) Montrer que lorsque $p(M)$ est demi-entier, c'est-à-dire lorsque $p=k+\dfrac{1}{2}$ avec $k\in\mathbb{Z}$, la frange observée en M est sombre.

8) Quelle est la position de la frange d'ordre 0 ?