

Exercice 1 Longueur d'onde = couleur ?

1) $f = \frac{v}{\lambda}$

2) Ici $f = \frac{c}{n_1 \lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,5 \cdot 450 \cdot 10^{-9}} = 4,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

3) Dans le vide on aura $\lambda_0 = \frac{c}{f} = 675 \text{ nm}$ soit une couleur rouge.

4) Il faut préciser "longueur d'onde dans le vide" ou remplacer par "fréquence", "période"...

Exercice 2 Prisme de verre

1) On obtient $n(\lambda_1) = 1,522$ et $n(\lambda_2) = 1,512$

2) 480 nm est associé au bleu, donc l'indice est plus élevé pour la couleur bleue.

3) En se référant au schéma, à l'interface verre/air (sortie du prisme) : $n \sin(i) = 1 \cdot \sin(i')$

On a $n_{\text{bleu}} > n_{\text{rouge}}$ donc $\sin(i'_{\text{bleu}}) > \sin(i'_{\text{rouge}})$, le bleu est plus dévié que le rouge.

Exercice 3 Visible, infrarouge et ultraviolet

1) La fréquence associée à $\lambda_{\text{violet}} = 400 \text{ nm}$ est $f_{\text{violet}} = c/\lambda_{\text{violet}} = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

La fréquence associée à $\lambda_{\text{rouge}} = 800 \text{ nm}$ est $f_{\text{rouge}} = c/\lambda_{\text{rouge}} = 3,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

L'intervalle de fréquence associé au visible est donc $[3,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz} ; 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}]$ (ordre inversé)

2) $f = 5 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ se situe au-delà de la fréquence du violet ($7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$), donc dans le domaine de l'ultraviolet.

3) Avec $E = hf$, on obtient $f = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, inférieure à la fréquence du rouge : il s'agit d'un photon infrarouge.

Exercice 4 Mesure par diffraction

Soit d le diamètre du fil de carbone, on a $\theta = \frac{\lambda}{d}$ d'une part (on utilise l'approximation des petits angles)

D'autre part d'après l'expérience, $\theta = \frac{L/2}{D}$ (toujours dans l'approximation des petits angles) avec $D = 2,00 \text{ m}$

On en déduit $d = \frac{2\lambda D}{L} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Exercice 5 Obstacle et figures de diffraction associées

1) dans l'ordre : carré, fente éclairée par un faisceau large, trou circulaire

2) la figure est plus étalée horizontalement donc l'objet est plus étroit horizontalement, c'est la première fente qui produit cette figure

Exercice 6 Modes d'émission de la lumière

1) On obtient $\lambda = 504 \text{ nm}$ (bleu-vert, mais ce n'est pas la seule radiation émise)

2) $\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{rouge}}$ donc $T_{\text{bleu}} > T_{\text{rouge}}$ d'après la loi de Wien, les étoiles bleues sont les plus chaudes

3) Le premier schéma correspond à l'émission stimulée (émission de deux photons)

4) Loi de Planck : $E_2 - E_1 = hv$

5) lampe à vapeur de sodium : émission spontanée

ampoule à incandescence : rayonnement de corps noir

tube fluorescent : émission spontanée UV (puis fluorescence)

Exercice 7 Spectre et trains d'onde

Spectre 1 et train d'onde 2 : ampoule à incandescence

Spectre 2 et train d'onde 1 : laser

Exercice 8 Temps de cohérence et largeur spectrale

1) $\tau_c = \frac{l_c}{c} = 1.10^{-6} \text{ s}$ et $T = \frac{\lambda}{c} = 2,1.10^{-15} \text{ s}$ donc un train d'onde contient $\frac{\tau_c}{T} \approx 5.10^8$ périodes

2) Numériquement, $\Delta f = \frac{1}{\tau_c}$

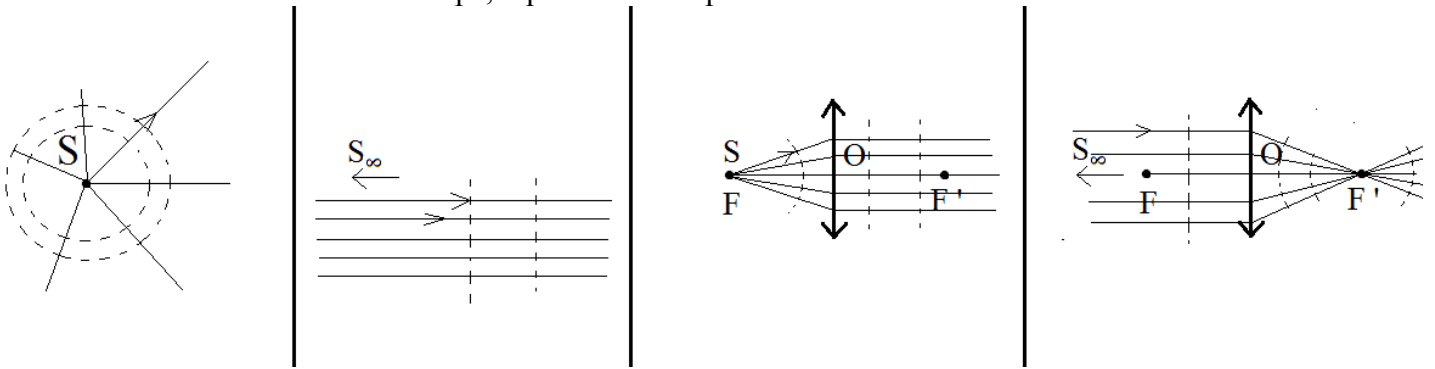
Exercice 9 Chemin optique

- 1) a) Dans l'air $(AB) = AB$ b) Dans l'eau $(AB) = n_1 \cdot AB$ c) $(AB) = AH + n_1 HB$
 d) $(AB) = AB - e + n_2 \cdot e$ e) $(AB) = AB - e + 3 n_2 \cdot e$

2) $\varphi(B) - \varphi(A) = 2\pi \frac{(AB)}{\lambda_0}$ et le chemin (AB) est différent (mais pas λ_0 pris dans le vide), donc le déphasage n'est pas le même dans les deux premiers cas

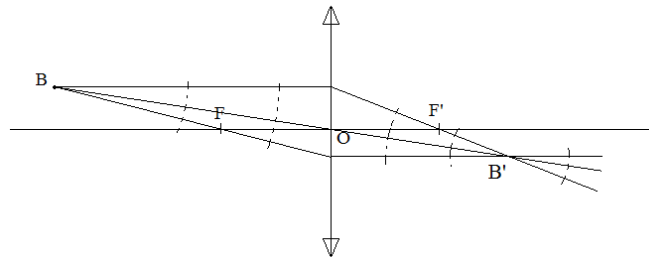
Exercice 10 Théorème de Malus

Les surfaces d'ondes sont vues en coupe, représentées en pointillés.



Exercice 11 Objet, image et surfaces d'onde

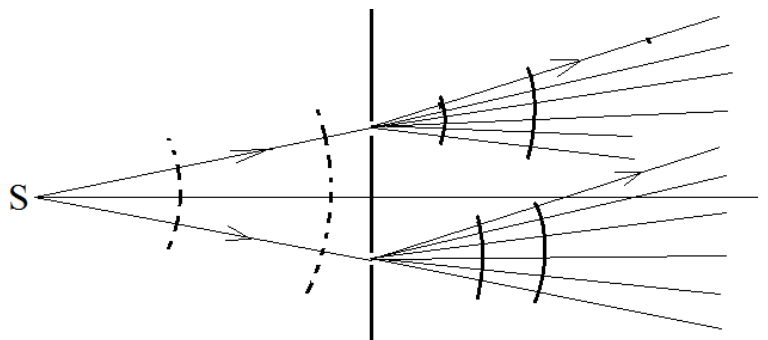
1) 2) Les surfaces d'onde sont représentées en pointillés.



3) D'après la construction effectuée, B' peut être considérée comme une surface d'onde ponctuelle. Tous les rayons présentent donc le même retard de phase $\varphi(B')$, ou le même chemin optique (BB') . Aucun trajet ne présente un temps de parcours inférieur aux autres (on peut aussi dire que tous les rayons présentent un chemin minimal...)

Exercice 12 Une erreur fréquente

Les deux surfaces sphériques à gauche des fentes sont correctes, celles représentées à droites sont incorrectes, car les rayons (non visibles sur le schéma de l'étudiant) situés entre les deux rayons tracés à droite ne sont pas parallèles entre eux.



Exercice 13 Superposition de deux ondes

1) $\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1 = SA + AC + CI + ne + JD + DM - SA - AB - BD - DM = CI + JD + ne - AB$

Pour les longueurs on a la relation $AB = CI + IJ + JD = CI + e + JD$ donc $\delta(M) = (n-1)e$

2) On a $\varphi_1(M) - \varphi(S) = 2\pi \frac{(SM)_1}{\lambda}$

3) On a de même $\varphi_2(M) - \varphi(S) = 2\pi \frac{(SM)_2}{\lambda}$, on en déduit $\Delta\varphi(M) = 2\pi \frac{\delta(M)}{\lambda}$

4) On obtient $\Delta\varphi = 11\pi$, soit une opposition de phase, on observera des interférences destructives.

Exercice 14 Spectre d'une DEL

1) Le maximum d'émission se trouve à $\lambda_{\max} = 510$ nm, et à mi-hauteur le spectre s'étend de 495 à 525 nm. La lumière émise par la DEL est de couleur cyan (bleu-vert).

2) Les longueurs d'onde à mi-hauteur sont $\lambda_1 = 495$ nm et $\lambda_2 = 525$ nm, donc $\Delta\lambda = 30$ nm.

$\Delta f = f_1 - f_2 = c/\lambda_1 - c/\lambda_2 = 6,06 \cdot 10^{14} - 5,71 \cdot 10^{14} = 3,5 \cdot 10^{13}$ Hz









3) $\tau_c \approx \frac{1}{\Delta f} = 3 \cdot 10^{-14}$ s

4) La plus cohérente : un laser He-Ne ($\tau_c \sim 10^{-8}$ s)

Une lampe à vapeur de mercure : $\tau_c \sim 10^{-11}$ s

Cette DEL : $\tau_c \sim 3 \cdot 10^{-14}$ s

La moins cohérente : ampoule à incandescence : $\tau_c \sim 10^{-14}$ s

Désignation	Couleur	Longueur d'onde (nm)
Rouge		~ 625 - 740
Orange		~ 590 - 625
Jaune		~ 565 - 590
Vert		~ 520 - 565
Cyan		~ 500 - 520
Bleu		~ 450 - 500
Indigo		~ 430 - 450
Violet		~ 380 - 430

Exercice 15 Résolution d'un télescope

1) Avec l'approximation des petits angles et la construction des images E_1' et E_2' , on a $d_0 = \beta f'$

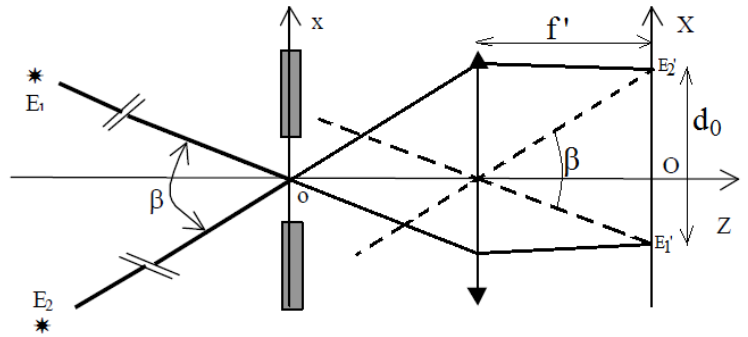
2) La diffraction est caractérisée par un demi-angle $\theta = \lambda/a$, d'où une largeur $L = 2\theta f' = 2 \frac{\lambda f'}{a}$ pour la tache de diffraction de chaque étoile.

3) On respecte le critère de Rayleigh si $d_0 = L/2$ (centres des taches espacés de $L/2$), soit $\beta = \frac{\lambda}{a}$, le

pouvoir séparateur vaut donc $\alpha = \frac{\lambda}{a}$.

4) Pour Hubble, on obtient $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-7}$ rad. Pour une distance de 4,2 a.l., on obtient une distance entre les deux étoiles de $9,5 \cdot 10^9$ m.

5) 1" (une seconde d'arc) correspond à $\frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60} = 5 \cdot 10^{-6}$ rad, on en déduit $D = 11$ cm. En utilisant des télescopes de plus grand diamètre, on obtient des images plus lumineuses.



Exercice 16 Lentille et surfaces d'onde

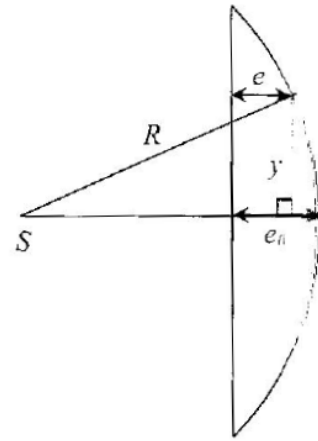
1. La construction géométrique ci-contre conduit, par application du théorème de Pythagore, à la relation $[R - (e_0 - e)]^2 + y^2 = R^2$ qui se réécrit $R - (e_0 - e) = \sqrt{R^2 - y^2}$.

En divisant par R pour faire apparaître le rapport $\frac{y}{R} \ll 1$ (rayon

paraxial) on obtient $1 - \frac{e_0 - e}{R} = \sqrt{1 - \frac{y^2}{R^2}}$.

Par un développement limité du type $\sqrt{1 + \varepsilon} \approx 1 + \frac{\varepsilon}{2}$, on en déduit

$$1 - \frac{e_0 - e}{R} \approx 1 - \frac{y^2}{2R^2} \text{ puis } e_0 - e = \frac{y^2}{2R} \text{ donc } \boxed{e = e_0 - \frac{y^2}{2R}}.$$



2. La surface d'onde passant par A est une sphère de centre S et de rayon f . Celle passant par A' est un plan perpendiculaire à l'axe optique. Les points B et B' sont placés à l'intersection de ces surfaces d'ondes et du rayon éloigné de l'axe optique de la distance y au niveau de la lentille, comme le montre le schéma suivant.

3. Le chemin optique entre A et A' est égal au produit de l'épaisseur $AA' = e_0$ par l'indice n du verre : $\boxed{(AA') = ne_0}$. Le chemin optique entre B et B' se découpe en trois contributions :

– Dans l'air avant la lentille, épaisseur x , qu'on exprime par un calcul similaire à celui fait à la question 1, le rayon de courbure étant ici f :

Théorème de Pythagore : $f^2 + y^2 = (f + x)^2$ qui se réécrit $f + x = \sqrt{f^2 + y^2}$. En divisant par f pour

faire apparaître $\frac{y}{f} \ll 1$ et par un développement

limité de la racine, on trouve $x = \frac{y^2}{2f}$.

– Dans la lentille : indice n , épaisseur e (le rayon étant paraxial, l'inclinaison dans le verre peut être négligée).

– Dans l'air après la lentille : épaisseur $e_0 - e = \frac{y^2}{2R}$.

D'où $(BB') = \frac{y^2}{2f} + ne + \frac{y^2}{2R}$. En utilisant $e = e_0 - \frac{y^2}{2R}$ il vient $\boxed{(BB') = ne_0 + \frac{y^2}{2} \left(\frac{1}{f} + \frac{1-n}{R} \right)}$.

⇒ Méthode 8.2

4. D'après le théorème de Malus, il y a égalité des chemins optiques le long de deux rayons différents entre ces deux surfaces d'onde, donc $(AA') = (BB')$. Ceci implique $y^2 \left(\frac{1}{f} - \frac{n-1}{R} \right) = 0$

pour tout y , donc $\boxed{\frac{1}{f} = \frac{n-1}{R}}$: on retrouve l'expression de la distance focale d'une lentille mince plan-convexe.

