IPHO Optique physique – exercices

Ces exercices sont tirés du livre « Physique 3. Ondes, optique et physique moderne », 6ième édition, David Halliday, Robert Resnick et Jearl Walker, Ed Dunod, collection Sciences Sup, 2004.
Le problème est lui le problème théorique N°3 des olympiades 1981.

Une feuille réponse est jointe à la fin

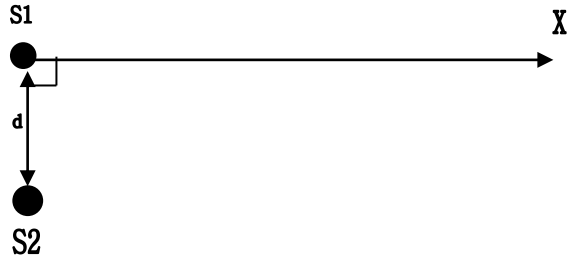
1. Interférences

Fentes d'Young

1.1. Une lumière verte monochromatique d'une longueur d'onde λ = 550 nm éclaire deux fentes étroites et parallèles séparées par une distance de 7,70 μm.
Calculer sans approximation et en degrés la déviation angulaire θ_3 de la frange brillante de 3ième ordre (m=3).

1.2. Deux sources ponctuelles d'onde radio situées à 2,0 m l'une de l'autre émettent en phase à une longueur d'onde λ = 0,50 m. Un détecteur suit un parcours circulaire autour des deux sources dans un plan incluant celles-ci. Trouvez le nombre n de maxima qu'il détecte pour un tour complet.

1.3. Sur la figure ci-contre, S_1 et S_2 sont des générateurs qui émettent deux ondes en phase, de même longueur d'onde et de même puissance.



a) La distance entre les générateurs est d = 3,00λ. Trouvez la plus grande distance X_{max}, mesurée le long de l'axe des x à partir de S_1, à laquelle des interférences destructives peuvent être observées. Exprimez X_{max} en fonction de λ.
b) λ = 1 m et d = 4 m. Si on déplace un détecteur vers la droite à partir de la source S_1 suivant l'axe des x, à quelles distances respectives X_1, X_2 et X_3 de S_1 les trois premiers maxima d'interférences seront-ils détectés ?

1.4. a) En utilisant la méthode des vecteurs de Fresnel, additionnez les 3 vibrations suivantes et donnez l'expression de l'amplitude E du champ électrique résultant.

$$E_1 = 10\sin\omega t \quad E_2 = 15\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad E_3 = 5\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

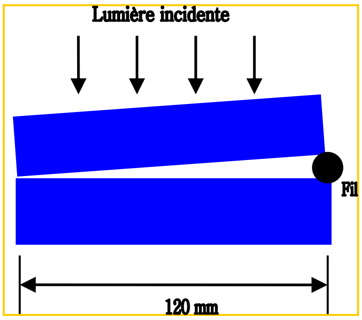
b) Dans une expérience d'interférences à deux fentes, une fente est plus large que l'autre, de telle sorte que l'amplitude de l'onde associée au passage par cette fente est double que celle de l'onde associée au passage dans l'autre fente. En utilisant la méthode des vecteurs de Fresnel, déterminer l'expression de l'intensité I sur l'écran en fonction du déphasage φ et de l'intensité I_0 associée à l'onde passant dans la fente la plus étroite.

Lames minces

1.5. Un pétrolier endommagé laisse échapper du kérosène (n=1,20) dans le golfe Persique. Le kérosène forme une grande nappe d'épaisseur L = 460 nm à la surface de l'eau (n=1,30).
a) Si vous observez la nappe par réflexion à partir d'un avion lors d'une journée ensoleillée, pour quelles longueurs d'onde du domaine visible (0,400..0,700 nm) la réflexion sera-t-elle la plus brillante ?
b) Même question si vous observez maintenant la nappe en transmission lors d'une plongée sous marine.

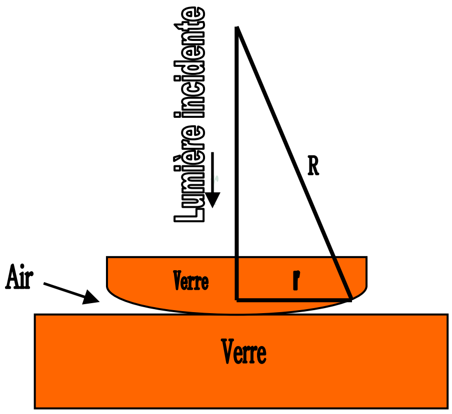
1.6. La réflexion d'un faisceau de lumière blanche perpendiculairement à une pellicule d'eau savonneuse dans l'air produit des interférences constructives pour λ = 600 nm et des interférences destructives pour λ = 450 nm. On n'observe pas de minimum entre ces deux valeurs. Si l'indice de la pellicule est n = 1,33, en déduire son épaisseur minimale L_{min}, supposée uniforme.

1.7. Dans la figure ci-contre, un large faisceau lumineux de longueur d'onde λ = 683 nm est orienté directement vers le bas, à travers une paire de plaques de verre. Les plaques ont une longueur de 120 mm, sont jointes à l'extrémité gauche et séparées par un fil de diamètre 0,048 mm à l'extrémité droite. L'air entre les plaques agit comme une pellicule mince.
Combien de franges brillantes seront-elles visibles pour un observateur qui regarde du haut la plaque du dessus ?



1.8. Anneaux de Newton

On considère le dispositif des anneaux de Newton, constitué d'une lentille, dont la surface inférieure possède un rayon de courbure R, pressée contre une lame de verre horizontale. Le dispositif est éclairé sous incidence normale par un faisceau de lumière parallèle.



a) Déterminer la loi de croissance du rayon r des anneaux brillants observés par réflexion en fonction de leur ordre m, de la longueur d'onde λ et du rayon R de la lentille. On supposera r/R <<1.

b) Dans une expérience sur les anneaux de Newton, le rayon de courbure de la lentille est R = 5,0 m et son diamètre Φ = 20 mm. La longueur d'onde utilisée est λ = 589 nm. Combien d'anneaux brillants peut-on observer ? Combien d'anneaux pourrait-on observer si le système était immergé dans l'eau (n=1,33) ?

c) Les rayons du $m^{\text{ième}}$ et du $(m+20)^{\text{ième}}$ anneau brillant mesurent respectivement 0,162 cm et 0,368 cm. La lumière incidente a une longueur d'onde λ = 546 nm. Calculez le rayon de courbure de la surface inférieure de la lentille.

d) En utilisant l'expression de r obtenue au a), montrer que la différence de rayon entre deux anneaux adjacents est donnée par $\Delta r = r_{m+1} - r_m \approx \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\lambda R}{m}}$, en supposant m>>1. Montrez alors que l'aire comprise entre deux anneaux adjacents est indépendante de m et donnez son expression en fonction de λ et R.

2. Diffraction

Diffraction par une ouverture unique

2.1. Une lumière incidente de longueur d'onde λ = 633 nm éclaire une fente mince. L'angle entre les premiers minima de chaque côté du maximum central est de 1,20°. Quelle est la largeur de la fente ?

2.2. La distance entre le premier minimum et le cinquième minimum d'une figure de diffraction produite par une fente simple est de 0,35 mm lorsque l'écran est à 40 cm de la fente, et que la lumière a une longueur d'onde λ = 550 nm a) Déterminez la largeur de la fente
b) calculez l'angle θ sous lequel est observé le premier minimum.

2.3. Les deux phares avant d'une voiture qui s'approche sont espacés de 1,4 m.
a) A quelle séparation angulaire $\Delta\theta$ et b) à quelle distance D_{max} maximale, l'œil pourra-t-il les distinguer ?

On supposera que le diamètre de la pupille de l'œil mesure $\Phi = 5$ mm et que la longueur d'onde de la lumière est $\lambda = 550$ nm. On supposera également que seuls les effets de la diffraction limitent le pouvoir de résolution, et que le critère de Rayleigh peut être appliqué.

2.4. a) Quelle est la séparation angulaire de deux étoiles si leurs images sont tout juste séparées par la lunette astronomique de l'observatoire de Pittsburgh, dont la lentille possède un diamètre $\Phi = 76$ cm et une distance focale $f' = 14$ m. En prendra $\lambda = 550$ nm.
b) Trouvez la distance entre ces étoiles tout juste séparées si chacune d'elles est située à 10 années lumière de la Terre c) Par rapport à l'image d'une seule de ces étoiles, trouvez le diamètre du premier anneau sombre dans la figure de diffraction, tel qu'il serait mesuré sur une plaque photographique placée au plan focal de la lentille de la lunette.

<u>Diffraction par deux fentes</u>

2.5. L'enveloppe centrale d'une figure de diffraction produite par deux fentes contient 11 franges brillantes et les premiers minima de diffraction éliminent (en coïncidant avec elles) les franges brillantes correspondantes.
Combien y a-t-il de franges brillantes entre le premier et le deuxième minimum de l'enveloppe de diffraction ?

2.6. Dans une expérience de diffraction par deux fentes, la distance d entre les centres des deux fentes vaut deux fois la largeur a des fentes. Combien de franges brillantes sont-elles comprises à l'intérieur de l'enveloppe centrale de diffraction ?

<u>Réseaux de diffraction</u>

2.7. Un réseau de diffraction large de 20,0 mm comporte 6000 fentes.
a) Calculer la distance d entre deux fentes adjacentes b) A quels angles θ les maxima d'intensité se produisent-ils sur un écran d'observation, si les rayons incidents sur le réseau ont une longueur d'onde $\lambda = 589$ nm ? On déterminera au préalable le nombre d'ordre m permis.

2.8. Un réseau comporte 350 fentes par millimètre et est éclairé à incidence normale par une lumière blanche. Un spectre se forme sur un écran situé à 30 cm du réseau. Si on perce un trou carré de 10 mm de côté dans l'écran, son côté intérieur se trouvant à 50 mm du maximum central et parallèle à ce dernier, quel sera le domaine de longueurs d'onde de la lumière qui passera par le trou ?

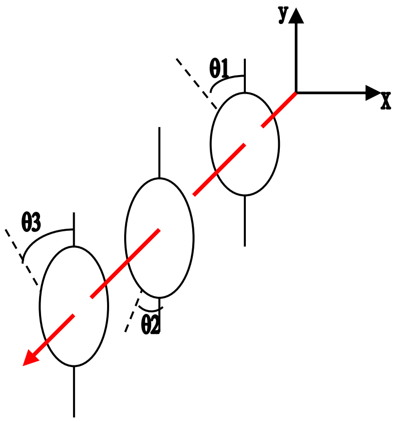
2.9. Un réseau comporte 600 fentes par mm et a une longueur L de 5,0 mm.
a) Quel est le plus petit intervalle de longueur d'onde qu'il peut séparer dans le $3^{\text{ième}}$ ordre autour de $\lambda = 500$ nm ? b) Combien d'ordres plus élevés peuvent-ils être observés ?

2.10. Dans un réseau, le doublet jaune du sodium est observé au $3^{\text{ième}}$ ordre à 10° de la normale, et est tout juste séparé. Trouvez a) le pas d du réseau b) la largeur minimale L_{min} du réseau.
On rappelle que le doublet jaune du sodium correspond aux deux raies de longueurs d'ondes respectives $\lambda_1 = 589{,}0$ nm et $\lambda_2 = 589{,}6$ nm.

3. Polarisation rectiligne

3.1. Le verre de silice est dispersif. Son indice optique n varie de $n_1 = 1{,}456$ à $\lambda = 700$nm à $n_2 = 1{,}470$ à $\lambda = 400$ nm. Calculez les limites inférieure et supérieure des angles de Brewster d'une lumière blanche incidente sur ce verre.

3.2. Une lumière initialement non polarisée traverse trois polariseurs dont les axes de transmission forment des angles $\theta_1 = \theta_3 = 40°$ et $\theta_2 = 20°$ par rapport à l'axe des y (bien regarder le schéma ci-contre pour voir comment ces angles sont définis).
Quel pourcentage de l'intensité initiale de lumière est transmis par le dispositif ?



3.3. Une lumière polarisée traverse un système de deux polariseurs. Par rapport à la direction de polarisation de cette lumière incidente, l'axe de transmission des polariseurs forme un angle θ pour le 1^er polariseur et un angle de 90° pour le second. Si 10% de l'intensité incidente est transmise par les deux polariseurs, quelle est la valeur de θ?

3.4. On veut changer de 90° la direction de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée en lui faisant traverser un ou plusieurs polariseurs a) Quel est le nombre minimum de polariseurs requis ? Quel est le nombre minimum de polariseurs requis pour que l'intensité transmise soit supérieure à 60% de l'intensité initiale ?

Olympiades Internationales de physique 1981
Problème théorique N°3 (traduit de l'anglais. Les notes avec astérisque * sont des ajouts de ma part)

Un détecteur d'ondes radio d'un observatoire radio astronomique est situé sur une plage à une hauteur de 2m au-dessus du niveau de la mer. Lorsqu'une étoile, qui émet des ondes électromagnétiques de longueur d'onde λ = 21 cm, apparaît au-dessus de l'horizon, le détecteur, sensible à l'intensité des ondes détectées, enregistre une série de maxima et minima d'intensité. Le détecteur enregistre des ondes dont le champ électrique vibre dans une direction parallèle à la surface de la mer.

1. Déterminez l'angle α entre l'étoile et l'horizon au moment où le détecteur enregistre les maxima et minima (Une formule littérale est exigée*).

   * on donnera deux expressions séparées de α dans le cas où le détecteur enregistre des maxima et des minima

2. Le signal diminue-t-il ou augmente-t-il juste après l'apparition de l'étoile ?

3. Déterminez le rapport entre les intensités détectées correspondant au 1^er maximum et au minimum suivant*. Lors de la réflexion des ondes électromagnétiques à la surface de l'eau, le rapport des amplitudes des champs réfléchi (E_r) et incident (E_i) suit la loi :

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{n - \cos\varphi}{n + \cos\varphi}$$

où n est l'indice de réfraction et φ l'angle d'incidence de l'onde. Pour la surface air/eau, l'indice de réfraction vaut n = 9 pour λ = 21 cm.

* Il est préférable pour la suite de déterminer ce rapport pour un maximum et un minimum suivant d'ordre k quelconque.

4. Le rapport des intensités des maxima et minima consécutifs augmente-t-il ou décroît-il lors de l'élévation de l'étoile dans le ciel ?

On supposera que la surface de la mer est plane.

Feuille réponse

1.1. θ_3 = 12,4°
1.2. n=16
1.3. a) $X_{\max} = \frac{35\lambda}{4}$ b) X_1 = 1,17 m ; X_2 = 3,00 m ; X_3 = 7,50 m
1.4. a) E = 26,81sin(ωt+0,148) b) $I = I_1(5+4\cos\varphi) = I_1\left(1+8\cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)$
1.5. a) λ_0 = 552 nm b) λ_0 = 442 nm
1.6. L_{min} = 338 nm
1.7. n=141 (le Resnick-Halliday donne pour réponse 140)
1.8. b) n=34 dans l'air puis n'=45 dans l'eau (le Resnick-Halliday donne pour réponse 46) c) R=1,0 m

2.1 a = 60,4 μm
2.2 a=2,5 mm ; $\theta_1 = 2{,}2\ 10^{-4}$ rad
2.3 $\Delta\theta = 1{,}34\ 10^{-4}$ rad ; D = 10,4 km
2.4 a) $\Delta\theta = 8{,}83\ 10^{-7}$ rad b) $d = 83{,}6\ 10^{6}$ km c) Φ_1 = 25 μm
2.5 n=5
2.6 n=3
2.7 b) $\theta_m = 0,\pm 10{,}2°,\pm 20{,}7°,\pm 32{,}0°,\pm 45{,}0°,\pm 62{,}1°$
2.8 $\lambda \in [470..560]\ nm$
2.9 a) $\delta\lambda = 56\ 10^{-12}$ m b) aucun
2.10 d=10,2 μm; L_{min} =3,34 μm

3.1 i_B = 55,5° et 55,8°
3.2 3,1%
3.3 θ = 20° ou 70°
3.4 a) n=2 b) n=5

Pb Olympiades 81

1. $\sin\alpha_{\max} = (2k-1)\frac{\lambda_0}{4h}$ $\sin\alpha_{\min} = \frac{k\lambda_0}{2h}$

N.B. Le schéma est crucial pour pouvoir calculer correctement la différence de marche

2. Le signal augmente.

3.

$$\frac{I_{\max}(k)}{I_{\min}(k)} = \frac{4n^2 I_0}{(n+\sin\alpha_{\max})^2} * \frac{(n+\sin\alpha_{\min})^2}{4I_0\sin^2_{\alpha\min}} = \left[\frac{1+\frac{k\lambda_0}{2nh}}{1+\frac{(2k-1)\lambda_0}{4nh}}\right]^2 \frac{4n^2h^2}{k^2\lambda_0^2} \qquad \frac{I_{\max}(1)}{I_{\min}(1)} \approx 3\ \ 10^4$$

(N.B. Pas évident d'arriver à mettre le résultat sous cette forme!)

4. 2nh = 36 >> λ_0 = 0,21 → $\frac{I_{\max}(k)}{I_{\min}(k)} \approx \frac{4n^2h^2}{k^2\lambda_0^2}$: le rapport décroît si k augmente