



# TRAVAUX DIRIGÉS

## Formule de Fresnel



Les différents exercices de ce recueil sont agencés selon la progression des différents paragraphes du cours. Le niveau de difficulté approximatif est mentionné pour chacun d'eux à travers un nombre d'étoiles (★), sauf pour les exercices type résolution de problème (♣♥♦). La résolution d'un exercice nécessite un temps de lecture, un temps de recherche et un temps de rédaction. Aucun de ces trois ne doit être négligé. Pour favoriser votre apprentissage, il est vivement recommandé de réaliser les phases de lecture et de recherche en amont de la séance, le minimum exigé étant un schéma de situation et les lois à mettre en œuvre qui devront apparaître en regard des énoncés.

Linéaments

## Propagation d'une onde lumineuse

### Exercice n°1 - Un laser Helium-Néon

★ ☆ ☆



Un laser Helium-Neon (HeNe) émet une radiation lumineuse de couleur rouge caractérisée par une longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 632,99 \text{ nm}$  et une largeur spectrale  $\Delta\nu = 300 \text{ MHz}$ . En sortie de ce laser, on place un composant optique non linéaire capable de doubler la fréquence de la radiation. Après ce dispositif, le faisceau traverse d'abord un contenant aux parois transparentes rempli d'eau liquide puis émerge dans l'air.

1. Calculer la fréquence de la radiation émise par le laser.
2. Calculer la longueur d'onde de la radiation lors de sa propagation dans l'eau puis dans l'air. Comparer les valeurs obtenues à celle dans le vide en précisant la couleur du faisceau dans les différents milieux.
3. Exprimer la largeur spectrale en longueur d'onde  $\Delta\lambda$  et montrer qu'elle dépend du milieu de propagation. Réaliser l'application numérique dans le vide, dans l'air et dans l'eau.

Données :  $n_{\text{eau}} = 1,33$ ,  $n_{\text{air}} = 1,0003$

## Exercice n°2 - lame à face parallèle



Un laser émet dans l'air un faisceau lumineux parallèle et monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . Le faisceau arrive avec un angle d'incidence  $\theta$  à la surface d'une lame à face parallèle en verre d'épaisseur  $e$  et caractérisée par un indice de réfraction noté  $n$ . On appelle respectivement  $A$  et  $B$  les points d'incidence sur la première et la seconde face de la lame. On assimilera l'indice de l'air à celui du vide.

1. Construire la marche du rayon lumineux à travers la lame.
2. Définir l'épaisseur optique  $\delta$  en fonction de l'indice de réfraction  $n$  et de l'épaisseur  $e$  de la lame.
3. Exprimer le chemin optique (AB) en fonction de l'angle  $\theta$  et de l'épaisseur optique précédente.

## Exercice n°3 - Lentille mince plan convexe (objectif concours)



On dispose une source lumineuse ponctuelle monochromatique  $S$  au niveau du foyer objet d'une lentille mince  $\mathcal{L}$  plan-convexe qui est caractérisée par une distance focale objet  $f$ , un rayon de courbure  $R$  et un indice de réfraction  $n$ .



On note  $e_0$  l'épaisseur de la lentille au niveau de l'axe optique,  $A$  le point de l'axe optique situé sur la face plane de la lentille et  $A'$  le point de l'axe optique situé sur la face convexe.

1. Justifier que l'onde en sortie de la lentille est une onde plane.
2. Donner les conditions de Gauss permettant de s'assurer de rester dans le cadre d'un stigmatisme approché. Justifier que se placer dans ces conditions revient à supposer  $y \ll R$  où  $y$  est l'ordonnée du point d'incidence d'un rayon lumineux issu de la source au niveau de la face plane de la lentille.
3. Sous l'hypothèse de stigmatisme approché précédente, montrer que la distance  $e$  de verre traversée par un rayon lumineux issu de la source et arrivant en un point  $M(y)$  est de la forme :

$$e = e_0 - \frac{y^2}{2R}$$

On considère un point  $M(x, y)$  appartenant à la face plane de la lentille et un rayon lumineux issu de la source passant par ce point.

4. Construire les points  $B$  et  $B'$  situés respectivement à l'intersection du rayon lumineux et des surfaces d'onde passant par  $A$  et  $A'$ . En déduire que  $\overline{SA} = -f$ .

5. Exprimer indépendamment les chemins optiques  $(AA')$  et  $(BB')$  en fonction de  $n$ ,  $e_0$ ,  $y$  et  $f$ .

6. Donner en relation entre les chemins optiques  $(AA')$  et  $(BB')$  en considérant le théorème de Malus. En déduire une expression de la distance focale  $f$  en fonctions des seules grandeurs  $n$  et  $R$ .

7. Exprimer puis calculer le rayon de courbure d'une lentille plan convexe de distance focale 100 mm taillée dans du verre d'indice de réfraction 1,5.

## Grandeurs photométriques

### Exercice n°4 - Éclairement par un lampe spot



Une lampe spot concentre sur un mur toute la lumière d'une ampoule dans un cercle de rayon  $R = 1$  m. On souhaite déterminer l'éclairement de la lampe au niveau du mur. Le faisceau lumineux est peut être considéré perpendiculaire en tout point de la portion éclairée du mur et la notice de la lampe indique que l'ampoule génère une luminance  $L = 100$  Cd, le candela semblant être une unité de mesure mais dont le sens n'est pas précisé.

Une recherche rapide sur internet fournit la définition du candela : il s'agit de *l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  Hz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian ou encore de 1 lumen (lm). Un lux (lx) correspondant à l'éclairement d'un mètre-carré par un lumen.* et que *l'émittance d'une source est le rapport de l'intensité lumineuse totale émise rapporté à sa surface.*

Une nouvelle recherche permet d'apprendre que le stéradian est l'unité d'une grandeur appelée angle solide qui caractérise une direction. Noté  $\Omega$ , sa valeur vaut  $4\pi$  pour une émission isotrope.

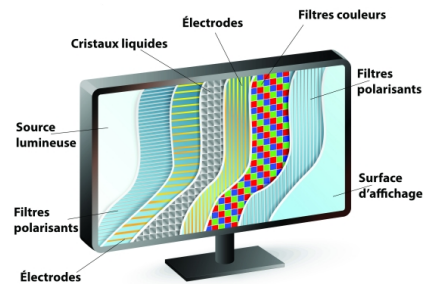
1. Justifier que l'éclairement et l'émittance sont de même dimension et préciser ce qui les distingue.
2. Exprimer puis calculer (en lumen et en watt) le flux lumineux (puissance) émise par l'ampoule.
3. Exprimer puis calculer l'éclairement (en watt par mètre-carré puis en lux) dans la zone éclairée du mur.
4. Expliquer l'utilisation d'unités dites photométriques (candela, lumen, lux) pour les lampes.

## Exercice n°5 - Écran à cristaux liquides



**luminance** [Opt.] (angl. *luminance*) En radiométrie et en photométrie, la luminance est la puissance du rayonnement électromagnétique que transmet ou émet un élément de surface dans une direction donnée par unité de surface et par unité d'angle solide.

*Extrait du Dictionnaire de physique De Boeck (2013), page 406*



La notice d'un écran de téléviseur à cristaux liquides (technologie LCD de l'anglais *Liquid Crystal Display*) indique une luminance maximale de  $300 \text{ Cd.m}^{-2}$  et un rapport de 1/3000 entre les zones les plus claires et les plus sombres.

1. Définir le contraste et donner sa valeur théorique maximale.
2. Montrer que le contraste d'une image monochrome est nul.
3. Exprimer puis calculer le contraste de l'écran du téléviseur.
4. Exprimer puis calculer la luminance des zones sombres.

## Superposition de deux ondes monochromatiques

## Exercice n°6 - Superposition d'ondes acoustiques



On alimente deux haut-parleurs distants d'une distance  $a = 3$  m à l'aide d'un même générateur alternatif afin d'obtenir deux sources synchrones pouvant interférer. La fréquence choisie vaut  $f = 440$  Hz et on considère que les ondes émises sont sphériques loin de la membrane vibrante des haut-parleurs. L'expérience étant menée dans une grande salle aux parois parfaitement insonorisées, aucune onde réfléchie ne vient s'ajouter à celles émises par les deux sources.

1. Expliquer ce que perçoit un observateur situé à une distance  $d = 30$  m des haut-parleurs et se déplaçant dans la zone de recouvrement des deux ondes le long d'un axe parallèle à celui joignant les deux haut-parleurs.
2. Exprimer puis calculer la différence de marche entre les deux ondes lorsque l'observateur s'immobilise en un point équidistant des deux haut-parleurs. Préciser si l'intensité sonore est maximale ou minimale.
3. Exprimer puis calculer la différence de marche entre les deux ondes en un point où l'observateur perçoit une intensité sonore minimale. Préciser la valeur du déphasage entre les deux ondes en ce point.
4. Justifier qu'il est en théorie impossible d'avoir une intensité sonore nulle étant donné que l'intensité d'une onde sonore est inversement proportionnelle à sa distance à la source.
5. Exprimer puis calculer le contraste si la distance aux sources diffère de 10%. Commenter le résultat au regard de la réponse à la question précédente.

## Exercice n°7 - Photorécepteurs et interférences

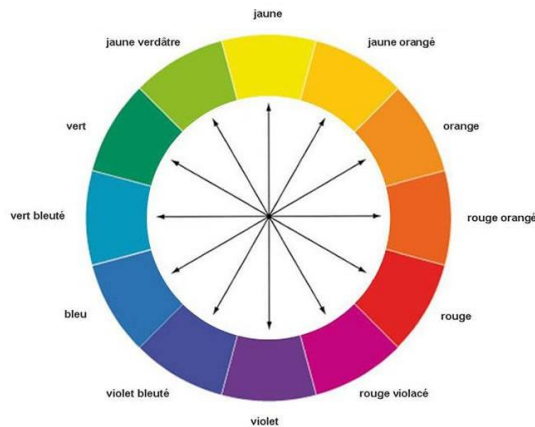


Les photorécepteurs sont des transducteurs convertissant un signal lumineux et un signal électrique. Tous reposent sur le principe de l'effet photoélectrique et tous possèdent un temps de réponse  $\tau$  non nul. Il existe aussi bien des photorécepteurs biologiques (la rétine dans un œil humain -  $\tau \sim 10$  ms) qu'électroniques (les photodiodes composés de semi-conducteurs -  $\tau \sim 10$  ns pour les plus rapides).

On souhaite utiliser un photorécepteur pour visualiser l'éclairement résultant de la superposition de deux ondes monochromatiques modélisant le doublet du sodium (longueurs d'ondes dans le vide  $\lambda_1 = 589,0$  nm et  $\lambda_2 = 589,59$  nm). On modélise ces deux ondes par des vibrations notées respectivement  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$  où  $M$  est un point (variable spatiale) et  $t$  un temps (variable temporelle).

1. Expliquer ce qu'est l'effet photoélectrique.
2. Définir la vibration  $s(M, t)$  résultant de la superposition de  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$ . Réduire le terme d'interférences à une somme de deux fonctions sinusoïdales dont on définira les fréquences.
3. Donner les conditions d'interférences de deux ondes monochromatiques et proposer une explication au fait qu'il soit possible de faire interférer les raies du doublet du sodium.
4. Exprimer le nombre d'oscillations de la vibration pendant une durée  $\tau$ .
5. Justifier que l'on ne peut pas observer d'interférences lumineuses en éclairant un photorécepteur et que pourtant, elles puissent s'observer sur un écran.

## Problème ouvert - Tâche d'essence



En faisant le plein dans une station service par temps pluvieux, il arrive très souvent de visualiser des irisations à la surface de goutte d'essence ( $n = 1,5$ ) mélangé une flaque d'eau ( $n = 1,33$ ) qui sont deux liquides non miscibles. En se plaçant à la verticale d'une de ces flaques éclairée par le Soleil, un usager observe une teinte magenta.

► Déterminer l'épaisseur minimale de la couche d'essence observée par l'usager.