Effet Doppler - Synthèse

1) Observateur fixe - Source mobile à vitesse cste V_S

$$\boxed{f' = f\left(\frac{V}{V \mp V_S}\right)}$$

V_S : V_{source}
V : V_{onde} } $V_S < V$

f : fréquence émise par la source

f' : f perçue par l'observateur

− : la source s'approche de l'observateur ($f' > f$)

+ : la source s'éloigne de l'observateur ($f' < f$)

2) Source fixe - Observateur mobile à vitesse cste V_{obs}

$$\boxed{f' = f\left(\frac{V \pm V_{obs}}{V}\right)}$$

V_{obs} : vitesse de l'observateur

V : V_{onde}

f : fréquence émise par la source

f' : f perçue par l'observateur

+ : l'observateur s'approche de la source ($f' > f$)

− : l'observateur s'éloigne de la source ($f' < f$)

FIG. 37 :

a) L'observateur s'éloigne ou se rapproche de la source fixe.
b) La source s'éloigne d'un observateur fixe.
Je vous laisse le plaisir de les réaliser.
En résumé, voici les relations pour les 4 situations :

EXERCICES

***Exercice 1*(N°14 du livre p 79)**

La fréquence d'une sirène est de 600 Hz (perception au repos).

Si un observateur perçoit ces ondes avec une fréquence de 580 Hz, y a-t-il éloignement ou rapprochement entre lui et la sirène ?

***Exercice 2* (N°18 du livre p 80)**

La sirène d'une voiture de police a une fréquence de 1200 Hz. Quelle est la fréquence entendue par un observateur immobile si la voiture se déplace à 108 km/h :

a) vers l'observateur ?
b) en s 'éloignant de l'observateur ?

***Exercice 3* (N°19 du livre p 80)**

Une source sonore émet à une fréquence de 600 Hz. C signal est perçu par un observateur immobile avec une fréquence de 640 Hz lorsque la source s'approche de lui. Calculer la fréquence perçue si la source s'éloigne à la même vitesse.

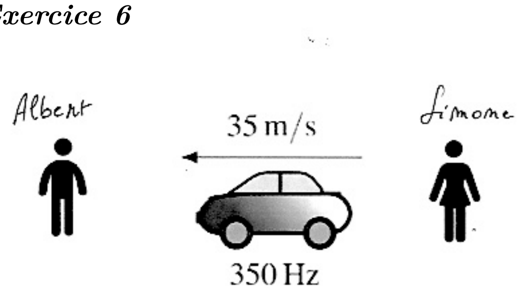
***Exercice 4* (N°20 du livre p 80)**

La sirène d'une voiture de police a une fréquence de 600 Hz. La voiture s'approche d'un grand mur à la vitesse de 108 km/h. Calculer la fréquence du son réfléchi entendu par le policier dans la voiture.

Exercice 5 (N°21 du livre p 80)

Debout sur le trottoir, un piéton perçoit une fréquence de 510 Hz provenant de la sirène d'une voiture de police qui s'approche. Après le passage de la voiture, la fréquence perçue du son de la sirène par le piéton est de 430Hz. Calculer la vitesse de la voiture.

Exercice 6



Le conducteur de l'auto fait fonctionner son klaxon, qui a une fréquence de 350 Hz, pour prévenir Albert qui est distrait sur la rue.

a) Quelle est la fréquence du son entendu par Albert ?

b) Quelle est la longueur d'onde du son perçu par Albert ?

c) Quelle est la fréquence du son entendu par Simone ?

d) Quelle est la longueur d'onde du son perçu par Simone ?

(Rép : 390 Hz ; 87 cm ; 317 Hz ; 1,07 m)

Exercice 7

La raie spectrale de l'hydrogène ayant normalement une longueur d'onde de 656,279 nm a une longueur d'onde de 656,263 nm dans le spectre de l'étoile Sirius observé sur la Terre. Avec quelle vitesse Sirius s'approche-t-elle ou s'éloigne-t-elle de nous ?

(Rép :7314 m/s)

20 *EXERCICES*

Exercice 1(N°14 du livre p 79)

La fréquence d'une sirène est de 600 Hz (perception au repos).

Si un observateur perçoit ces ondes avec une fréquence de 580 Hz, y a-t-il éloignement ou rapprochement entre lui et la sirène ?

Exercice 2 (N°18 du livre p 80)

La sirène d'une voiture de police a une fréquence de 1200 Hz. Quelle est la fréquence entendue par un observateur immobile si la voiture se déplace à 108 km/h :

a) vers l'observateur ?

b) en s 'éloignant de l'observateur ?

Exercice 3 (N°19 du livre p 80)

Une source sonore émet à une fréquence de 600 Hz. C signal est perçu par un observateur immobile avec une fréquence de 640 Hz lorsque la source s'approche de lui. Calculer la fréquence perçue si la source s'éloigne à la même vitesse.

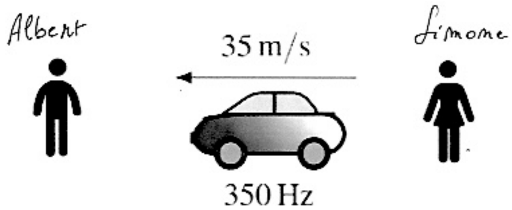
Exercice 4 (N°20 du livre p 80)

La sirène d'une voiture de police a une fréquence de 600 Hz. La voiture s'approche d'un grand mur à la vitesse de 108 km/h. Calculer la fréquence du son réfléchi entendu par le policier dans la voiture.

Exercice 5 (N°21 du livre p 80)

Debout sur le trottoir, un piéton perçoit une fréquence de 510 Hz provenant de la sirène d'une voiture de police qui s'approche. Après le passage de la voiture, la fréquence perçue du son de la sirène par le piéton est de 430Hz. Calculer la vitesse de la voiture.

Exercice 6



Le conducteur de l'auto fait fonctionner son klaxon, qui a une fréquence de 350 Hz, pour prévenir Albert qui est distrait sur la rue.

a) Quelle est la fréquence du son entendu par Albert ?

b) Quelle est la longueur d'onde du son perçu par Albert ?

c) Quelle est la fréquence du son entendu par Simone ?

d) Quelle est la longueur d'onde du son perçu par Simone ?

Exercice 7

La raie spectrale de l'hydrogène ayant normalement une longueur d'onde de 656,279 nm a une longueur d'onde de 656,263 nm dans le spectre de l'étoile Sirius observé sur la Terre. Avec quelle vitesse Sirius s'approche-t-elle ou s'éloigne-t-elle de nous ?

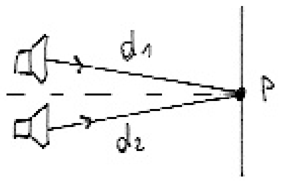


FIG. 38 :

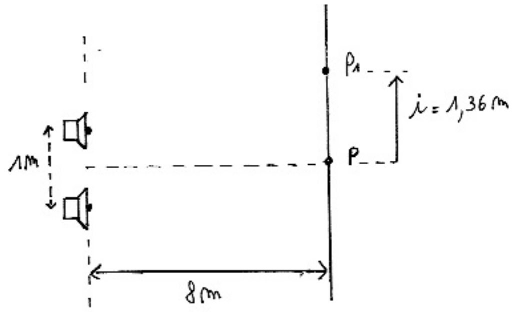
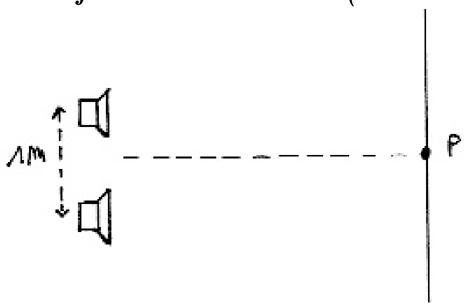


FIG. 39 :

EXPERIENCE DE YOUNG

Mise en évidence du comportement ondulatoire de la lumière.

1) Interférences d'un son (onde sonore)



Exemple 1

Deux haut-parleurs sont distants de 1 mètre et émettent chacun un son d'une fréquence égale à 1000 Hz en concordance de phase.

Comment sera l'intensité du son perçu au point P ?

Réponse :

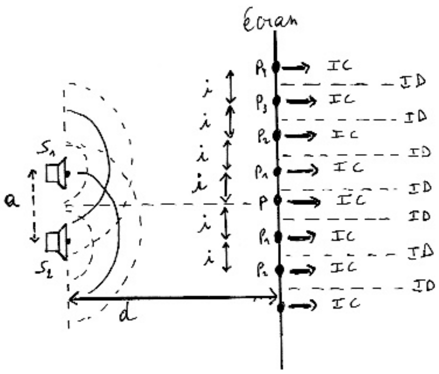
P est situé en un point tel que $d_1=d_2$ la différence de marche d_2 - d_1 est nulle et donc les ondes arrivent au point P en concordance de phase. Il s'agit d'un point d'interférence constructive et l'intensité du son en P sera maximale.

Exemple 2

Deux haut-parleurs sont distants de 1 mètre et émettent chacun un son d'une fréquence égale à 1000 Hz en concordance de phase.

Comment sera l'intensité du son perçu au point P1 si ce point se trouve à une distance i=1,36 m du point P ?

Généralisation



Nous voyons donc que lorsque nous nous déplaçons sur la droite verticale (que nous appellerons l'écran), nous parcourons une succession de zones d'interférences

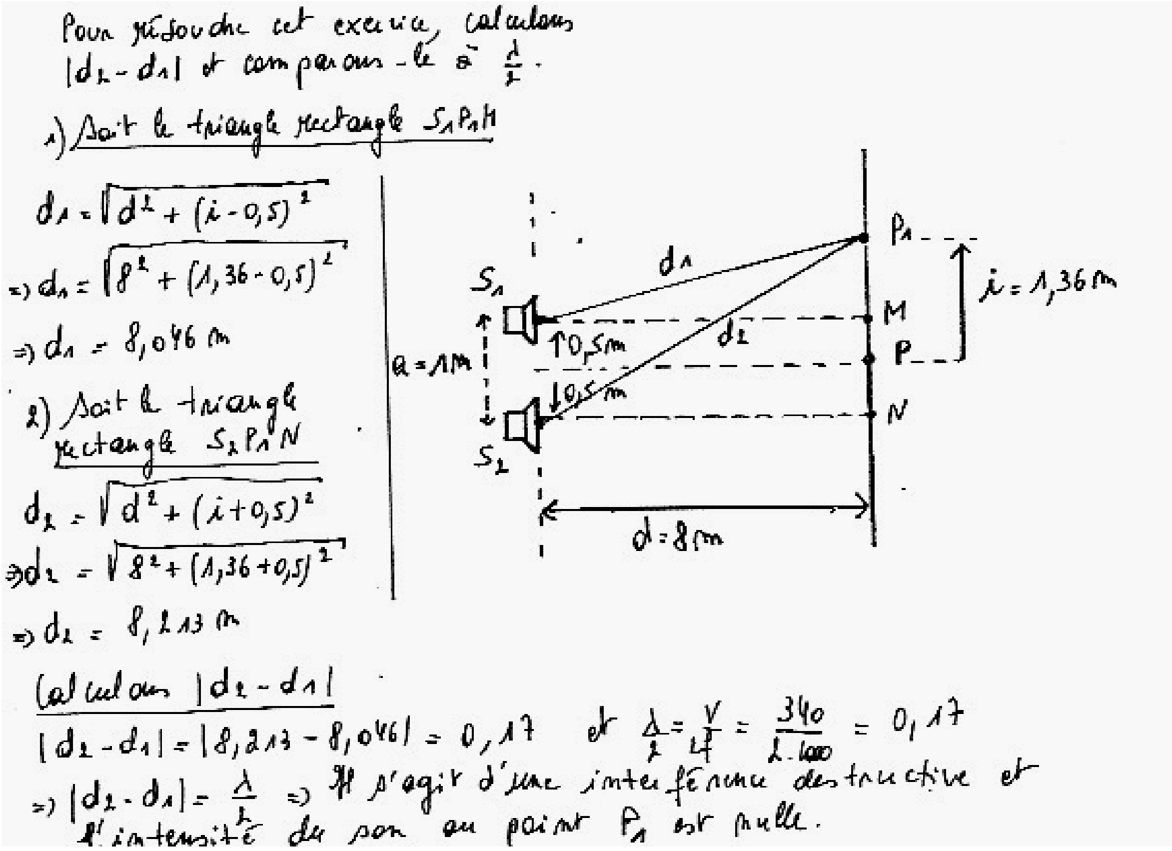
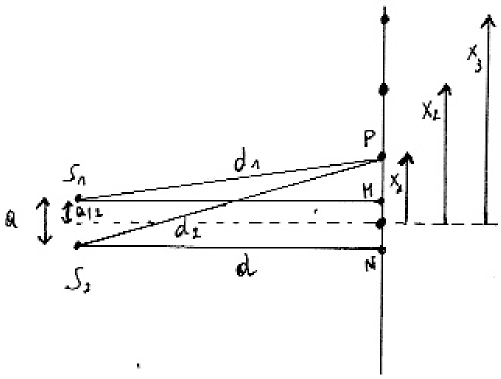


FIG. 40 :

constructives (IC) et d'interférences destructives (ID).

Les zones d'interférences constructives sont telles que l'intensité du son est maximale et les zones d'interférences destructives, telles que l'intensité du son est nulle. Elles sont séparées d'une distance i (appelée interfrange)



La question est : pouvons-nous trouver la distance qui sépare les zones d'interférence constructives (l'interfrange i), en fonction de , a et d où :

: longueur d'onde des sons émis.

i : distance entre deux zones d'interférences constructives.

d : distance entre les sources et l'écran.

a : distance entre les deux sources.

Remarquez sur le schéma ci-contre : x_1=i, x_2-x_1 = i, x_3-x_2 = i, ….

x est la distance entre le point central et un point d'interférence constructive.

2) Interférence lumineuse

a) EXPERIENCE DE YOUNG : diffraction à travers deux fentes et figure d'interférences.

Nous venons de voir que les interférences sonores sont caractéristiques d'un comportement ondulatoire.

Soit P un point d'interférence constructive

$\Rightarrow$ en P : $d_2 - d_1 = k\lambda$ ($k \in \mathbb{N}$)

Prenons le triangle $S_2PN \Rightarrow d_2^2 = d^2 + (x+\frac{a}{2})^2 = d^2 + x^2 + \frac{a^2}{4} + 2x\frac{a}{2}$

Prenons le triangle $S_1PM \Rightarrow d_1^2 = d^2 + (x-\frac{a}{2})^2 = d^2 + x^2 + \frac{a^2}{4} - 2x\frac{a}{2}$

En soustrayant les deux équations membres à membres $\Rightarrow$ $d_2^2 - d_1^2 = \cancel{2}x\frac{a}{\cancel{2}} - (-\cancel{2}x\frac{a}{\cancel{2}}) = xa + xa = 2xa$

$\Rightarrow (d_2 + d_1)(d_2 - d_1) = 2xa$

Approximation : si x et a sont très petits devant $d \Rightarrow d \simeq d_1 \simeq d_2$

$\Rightarrow \cancel{2}d\,(d_2 - d_1) = \cancel{2}xa \Rightarrow d_2 - d_1 = \frac{xa}{d}$

OR P est un point d'IC $\Rightarrow d_2 - d_1 = k\lambda$

$\Rightarrow \frac{xa}{d} = k\lambda$ $\Rightarrow$ A chaque k, on peut associer un x, appelons-le x_k

$$\Rightarrow x_k = \frac{k\lambda d}{a} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} x_0 = 0 \\ x_1 = \frac{\lambda d}{a} \\ x_2 = \frac{2\lambda d}{a} \\ x_3 = \frac{3\lambda d}{a} \\ \vdots \end{array}\right\} \begin{array}{l} x_1 = i = \frac{\lambda d}{a} \\ x_2 - x_1 = i = \frac{\lambda d}{a} \\ x_3 - x_2 = i = \frac{\lambda d}{a} \end{array} \Rightarrow \boxed{i = \frac{\lambda d}{a}}$$

Fig. 41 :

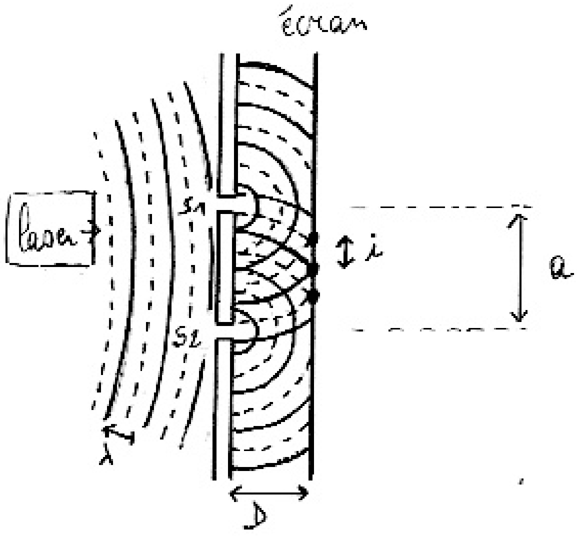
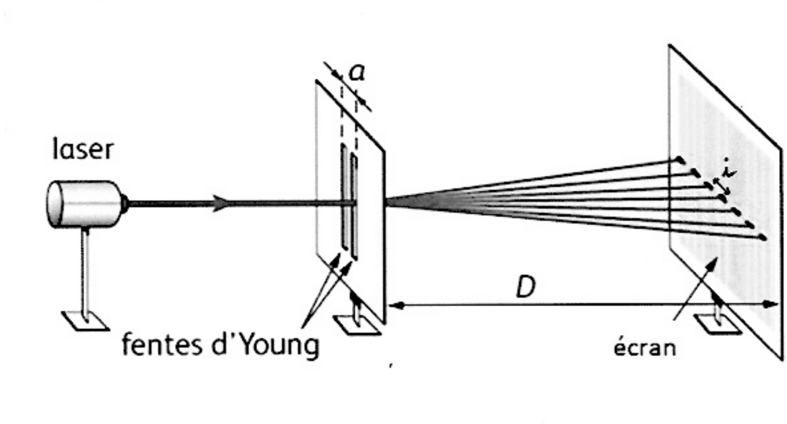


FIG. 42 :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

FIG. 43 :



Que se passera-t-il si nous soumettons la lumière à cette expérience d'interférence ?

Décrivons cette expérience, ***l'expérience de Young.***

De la lumière provenant d'un laser traverse un écran percé de deux fentes fines, distantes d'une courte distance a (les fentes de Young).

Sur un écran, situé à une distance D des fentes, on observe une succession de points lumineux, séparés par une distance i.

Interprétation

En analogie avec deux sources d'ondes sonores, nous pouvons conclure que seul le modèle ondulatoire peut expliquer ces observations.

Les deux fentes de Young S1 et S2 vont se comporter comme de nouvelles sources et diffracter la lumière incidente provenant du laser.

Ces deux ondes vont produire des interférences sur l'écran et produire une succession de points lumineux.

Les points lumineux sont des zones d'interférences constructives et entre les points lumineux, l'absence de lumière, correspond à des zones d'interférences destructives, ce qui est typiquement un comportement ondulatoire.

Nous avons démontré précédemment, dans le cas d'interférences de deux ondes sonores, le lien qui relie , i, a et D. En suivant une démarche identique pour cette expérience de Young, nous obtenons la relation :

Dans notre situation : i et a sont très petits devant D, l'approximation est très pertinente (voir démons-

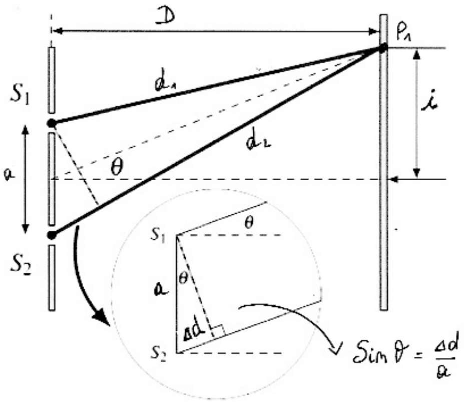


FIG. 44 :

$$Sin\ \theta = \frac{\lambda}{a}$$

FIG. 45 :

tration).

L'expérience de Young avec de la lumière conduit à la même relation :

Cette expérience montre que la lumière a un caractère ondulatoire et donc que la lumière se comporte comme une onde. Elle est donc caractérisée par une fréquence f et une longueur d'onde .

b) Calcul angulaire de la position des points d'interférence constructive

Soit P_1, un point d'interférence constructive situé juste après le point central, notons la position angulaire de ce point.

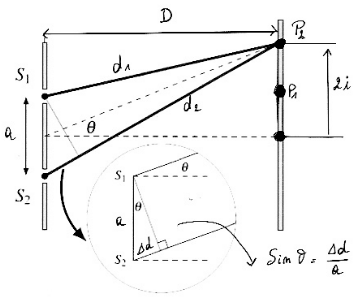
En ce point P_1, l'interférence étant constructive, la différence de marche d = $d_2 - d_1$ =

En faisant l'approximation déjà réalisée précédemment, à savoir : a et i D, nous pouvons considérer que les rayons lumineux d1 et d2 sont quasiment parallèles.

En considérant le triangle rectangle représenté sur le schéma :

d = = a Sin

Nous avons donc que : = a Sin et donc :



Généralisation

- Considérons un point P_2

En ce point P_2 , l'interférence étant constructive, la différence de marche d = $d_2 - d_1$ = 2

En considérant le triangle rectangle représenté sur le schéma : d = = a Sin

$$Sin\ \theta = \frac{2\lambda}{a}$$

Donc :

En continuant le raisonnement de la sorte pour des points :

P_3 distant de 3i du point central,

P_4 distant de 4i du point central,

P_5 distant de 5i du point central, ...

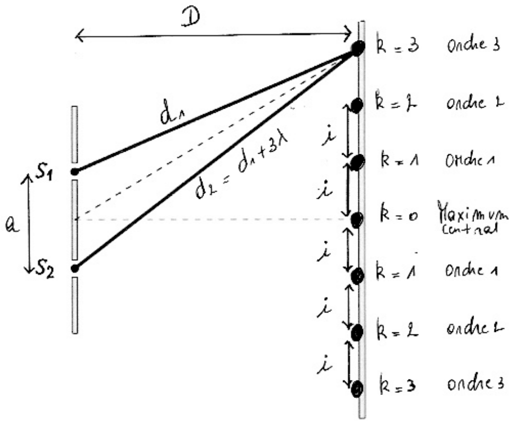
Nous arrivons à :

$$\sin\theta = \frac{k\lambda}{a}$$

Fig. 46 :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

Fig. 47 :



Synthèse :

4) Applications

3.1 Détermination expérimentale de la longueur d'onde de la lumière.

L'expérience de Young permet de déterminer la fréquence de la lumière

a) Réalisons l'expérience de Young avec une lumière jaune et les données suivantes :

D=1,75 m

a=1 mm

i =1 mm

$D = 1,75\ m$ | $\lambda = \frac{i a}{D} = \frac{10^{-3} . 10^{-3}}{1,75} = 5,71 . 10^{-7}\ m$

$a = 10^{-3}\ m$

$i = 10^{-3}\ m$

λ ? | OR $\boxed{1\ nm = 10^{-9}\ m}$

1) $\Rightarrow \lambda = 571 . 10^{-9}\ m = 571\ nm \Rightarrow \boxed{\lambda_{jaune} = 571\ nm}$

2) $f = \frac{V}{\lambda} = \frac{3 . 10^{8}}{571 . 10^{-9}} = 5,25 . 10^{-3} . 10^{8+9} = \boxed{5,25 . 10^{14}\ Hz = f_{jaune}}$

Calculez la longueur d'onde de la lumière jaune ainsi que la fréquence de la lumière correspondante.

b) Réalisons l'expérience de Young avec une lumière verte sachant que l'expérience de Young nous fournit les valeurs suivantes :

D=4,95 m

a=0,2 mm

i =1,32 cm

$$\sin\theta = \frac{k\lambda}{a}$$

Fig. 48 :

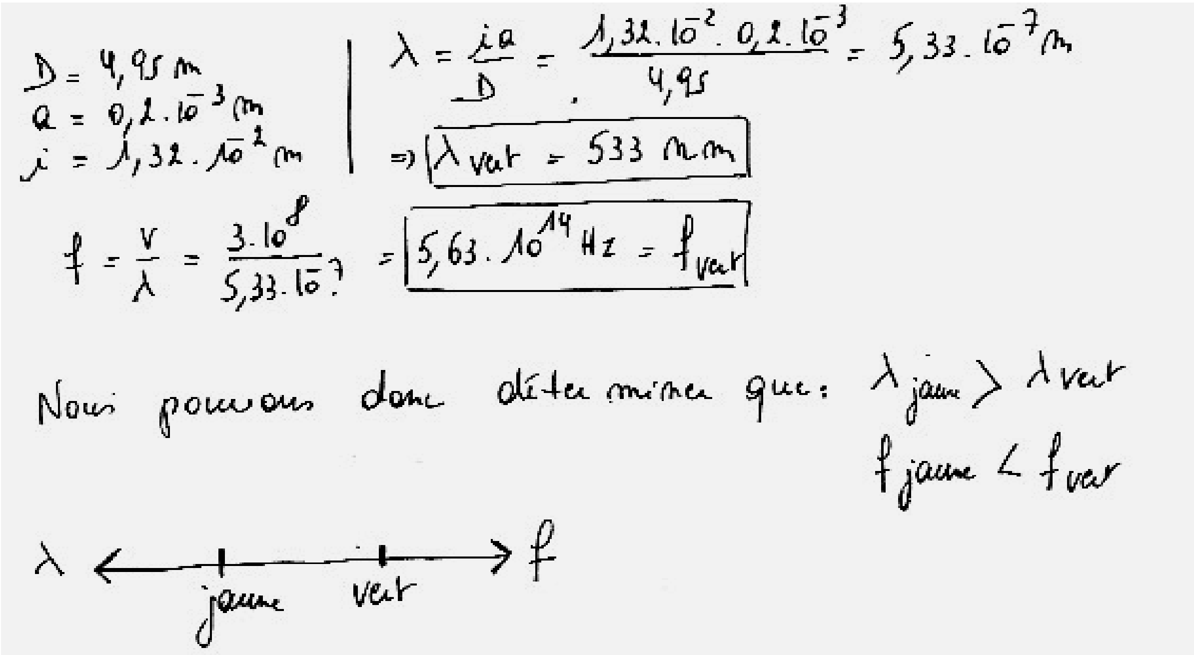


Fig. 49 :

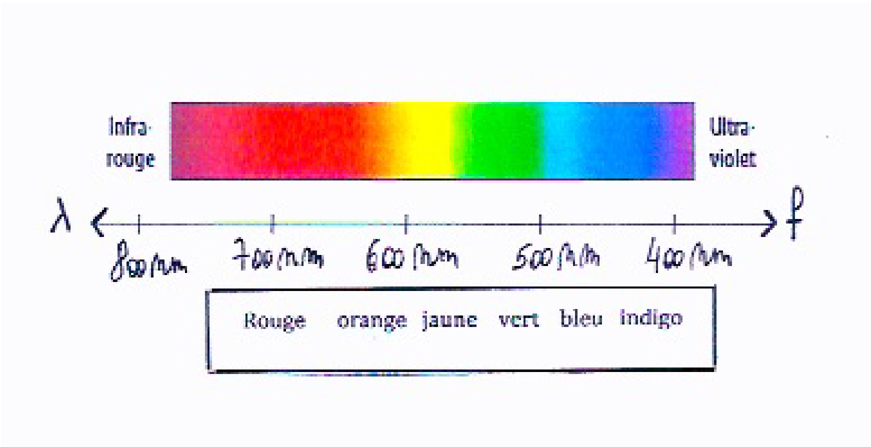


Fig. 50 :

Calculez la longueur d'onde de la lumière verte ainsi que la fréquence de la lumière correspondante. Exprimez votre réponse en nm.

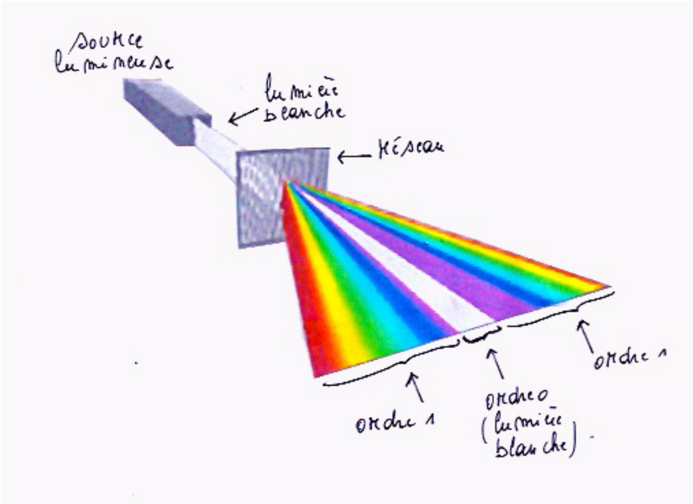
c) Le spectre de la lumière blanche

Ces expériences nous montrent que chaque couleur de la lumière possède une longueur d'onde et donc une fréquence caractéristique de la couleur.

$_{\mathrm{jaune}}$ $_{\mathrm{vert}}$ et donc f_{jaune} f_{vert}

Or la lumière blanche est composée de toutes les couleurs de l'arc en ciel. L'expérience de Young nous permet donc de classer toutes les couleurs qui composent la lumière blanche en fonction de leur longueur d'onde (et donc de leur fréquence).

C'est ce qu'on appelle ***le spectre de la lumière blanche. (voir livre p 115)***



d) Diffraction de la lumière blanche

Si on réalise l'expérience de diffraction de la lumière blanche par un réseau, on observe que chaque couleur présentera ses maximums à un angle différent, sauf pour le maximum central qui est à la même position (= 0) pour toutes les couleurs.

$$\sin\theta = \frac{k\lambda}{d}$$

Les plus grandes longueurs d'onde subiront les plus grandes déviations.

Le maximum d'ordre 1 du mauve sera celui le plus près du maximum central puisque c'est la longueur d'onde visible la plus petite alors que **le maximum d'ordre 1 le plus éloigné du maximum central sera celui du rouge** puisque c'est cette couleur du visible qui a la plus grande longueur d'onde. On aura alors la figure d'interférence ci-contre.

Applications :

Les plumes si colorées de certains oiseaux.

EXERCICES

21 *Exercice 1*

De la lumière de longueur d'onde égale à 600 nm éclaire, suivant la normale, deux fentes séparées de 0,1 mm.

a) Quelle est la position angulaire d'ordre 1 ? (Rép : 0,34°)
b) A quelle distance du point central se trouve ce maximum d'ordre 1 sur un écran situé à 3 mètres des fentes ? (Rép : 18 mm)

Exercice 2

On fait passer de la lumière ayant une longueur d'onde de 500 nm à travers deux fentes séparées de 0,01 mm. On observe la figure de diffraction sur un écran situé à 2 m de la fente.

a) Quelle est la distance entre le maximum central et le premier minimum ? (Rép : 5 cm)

b) Quelle est la distance entre le maximum central et le deuxième minimum ? (Rép : 15 cm)

Exercice 3

On fait passer des micro-ondes à travers deux fentes séparées de 1 cm. Sur un écran situé à 1,6 m de distance de la fente, on observe une interfrange de 50 cm. Quelle est la longueur d'onde des micro-ondes ? (Rép : 3 mm)

Exercice 4

Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 500 nm. La distance entre les fentes est de 0,1 mm et on observe la figure d'interférence sur un écran situé à 1,6 m des fentes. Quel est l'angle entre le maximum central et le maximum d'ordre 5 ? (Rép : 1,43°)

Exercice 5

Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 600 nm.

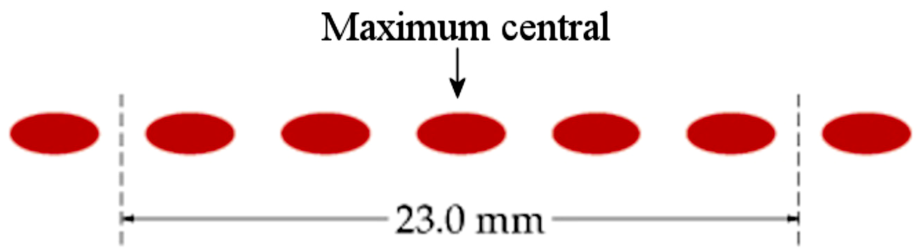
On remarque alors que le maximum d'ordre 4 est à 1 cm du maximum central sur un écran situé à 2 m des fentes. Quelle est la distance entre les fentes ? (Rép : 0,48 mm)

Exercice 6

Au cours d' une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 632 nm et

la distance entre les fentes est de 0,2 mm. La figure montre la figure d'interférence

qu'on observe sur un écran. À quelle distance des fentes est situé l'écran ? (Rép : 1,46 m)



EXERCICES

22 *Exercice 1*

De la lumière de longueur d'onde égale à 600 nm éclaire, suivant la normale, deux fentes séparées de 0,1 mm.

a) Quelle est la position angulaire du maximum d'ordre 1 ?

b) A quelle distance du point central se trouve ce maximum d'ordre 1 sur un écran situé à 3 mètres des fentes ?

Exercice 2

On fait passer de la lumière ayant une longueur d'onde de 500 nm à travers deux fentes séparées de 0,01 mm. On observe la figure de diffraction sur un écran situé à 2 m de la fente.

a) Quelle est la distance entre le maximum central et le premier minimum ?

b) Quelle est la distance entre le maximum central et le deuxième minimum ?

Exercice 3

On fait passer des micro-ondes à travers deux fentes séparées de 1 cm. Sur un écran situé à 1,6 m de distance de la fente, on observe une interfrange de 50 cm. Quelle est la longueur d'onde des micro-ondes ?

Exercice 4

Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 500 nm. La distance entre les fentes est de 0,1 mm et on observe la figure d'interférence sur un écran situé à 1,6 m des fentes. Quel est l'angle entre le maximum central et le maximum d'ordre 5 ? (Rép :

Exercice 5

Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 600 nm.

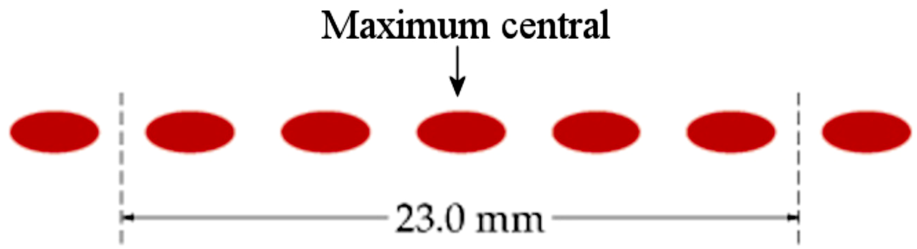
On remarque alors que le maximum d'ordre 4 est à 1 cm du maximum central sur un écran situé à 2 m des fentes. Quelle est la distance entre les fentes ? (Rép :

Exercice 6

Au cours d' une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 632 nm et

la distance entre les fentes est de 0,2 mm. La figure montre la figure d'interférence

qu'on observe sur un écran. À quelle distance des fentes est situé l'écran ? (Rép :


Maximum central
23.0 mm

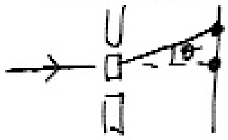
EXERCICES

Exercice 1

De la lumière de longueur d'onde égale à 600 nm éclaire, suivant la normale, deux fentes séparées de 0,1 mm.

$\lambda = 600 \cdot 10^{-9}\,m$ et $a = 0{,}1 \cdot 10^{-3}\,m = 10^{-4}\,m$

a) Quelle est la position angulaire du maximum d'ordre 1 ? $\Rightarrow k = 1$



θ ? $\sin\theta = \frac{k\lambda}{a} \Rightarrow \sin\theta = \frac{\lambda}{a}$

$\Rightarrow \theta = \text{Arcsin}\left(\frac{\lambda}{a}\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{600 \cdot 10^{-9}}{10^{-4}}\right) = \boxed{0{,}34° = \theta}$

b) A quelle distance du point central se trouve ce maximum d'ordre 1 sur un écran situé à 3 mètres des fentes?

i ?

$D = 3\,m$

$\lambda = \frac{ia}{D} \Rightarrow i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{600 \cdot 10^{-9} \cdot 3}{10^{-4}} = 0{,}018\,m = \boxed{18\,mm = i}$

Exercice 2

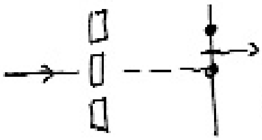
On fait passer de la lumière ayant une longueur d'onde de 500 nm à travers deux fentes séparées de 0,01 mm. On observe la figure de diffraction sur un écran situé à 2 m de la fente.

$\lambda = 500 \cdot 10^{-9}\,m$

$a = 10^{-5}\,m$

$D = 2\,m$

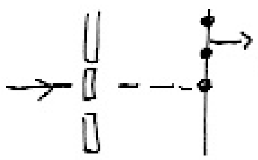
a) Quelle est la distance entre le maximum central et le premier minimum?



1er minimum $\Rightarrow i/2$

$\lambda = \frac{ia}{D} \Rightarrow i = \frac{\lambda D}{a} \Rightarrow \frac{i}{2} = \frac{\lambda D}{2a} = \frac{500 \cdot 10^{-9} \cdot \cancel{2}}{\cancel{2} \cdot 10^{-5}} = \boxed{5\,cm = \frac{i}{2}}$

b) Quelle est la distance entre le maximum central et le deuxième minimum?

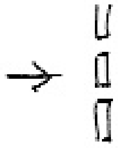


$\uparrow \frac{3i}{2} \Rightarrow i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{500 \cdot 10^{-9} \cdot 2}{10^{-5}} = 10\,cm$

$\Rightarrow \frac{3i}{2} = \frac{3 \cdot 10}{2} = \boxed{15\,cm = \frac{3i}{2}}$

Exercice 3

On fait passer des micro-ondes à travers deux fentes séparées de 1 cm. Sur un écran situé à 1,6 m de distance de la fente, on observe une interfrange de 50 cm. Quelle est la longueur d'onde des micro-ondes?



$a = 1\,cm = 10^{-2}\,m$

$D = 1{,}6\,m$

$i = 0{,}5\,m$

λ ?

$\lambda = \frac{ia}{D} = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-2}}{1{,}6} = 0{,}003\,m = \boxed{3\,mm = \lambda}$

Exercice 4

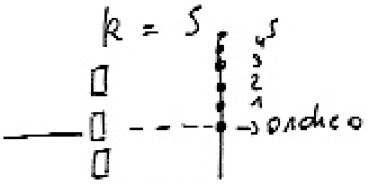
Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 500 nm. La distance entre les fentes est de 0,1 mm et on observe la figure d'interférence sur un écran situé à 1,6 m des fentes. Quel est l'angle entre le maximum central et le maximum d'ordre 5? (Rép :

$\lambda = 500 \cdot 10^{-9}$ m

$a = 10^{-4}$ m

$D = 1,6$ m

$k = 5$



θ pour $5i$?

$\sin\theta = \frac{k\lambda}{a} \Rightarrow \sin\theta = \frac{5\lambda}{a}$

$\Rightarrow \theta = \mathrm{Arcsin}\left(\frac{5\lambda}{a}\right) = \mathrm{Arcsin}\left(\frac{5 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{10^{-4}}\right)$

$\boxed{\theta = 1,43°}$

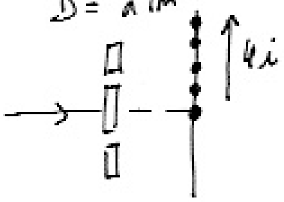
Exercice 5

Dans une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 600 nm.
On remarque alors que le maximum d'ordre 4 est à 1 cm du maximum central sur un écran situé à 2 m des fentes. Quelle est la distance entre les fentes ? (Rép :

$\lambda = 600 \cdot 10^{-9}$ m

$k = 4$

$D = 2$ m



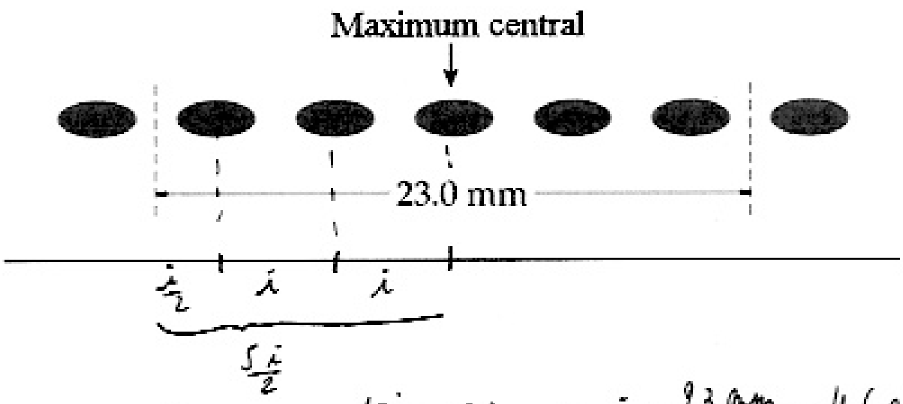
$4i = 1$ cm $\Rightarrow i = 2,5$ mm $= 2,5 \cdot 10^{-3}$ m

a ?

$a = \frac{\lambda D}{i} = \frac{600 \cdot 10^{-9} \cdot 2}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 4,8 \cdot 10^{-4}$ m $= \boxed{0,48 \text{ mm} = a}$

Exercice 6

Au cours d' une expérience de Young, la longueur d'onde de la lumière est de 632 nm et la distance entre les fentes est de 0,2 mm. La figure montre la figure d'interférence qu'on observe sur un écran. À quelle distance des fentes est situé l'écran ? (Rép :



$\lambda = 632 \cdot 10^{-9}$ m

$a = 2 \cdot 10^{-4}$ m

D ?

$\Rightarrow 23 \text{ mm} \rightarrow \frac{10i}{2} = 5i \Rightarrow i = \frac{23 \text{ mm}}{5} = 4,6 \text{ mm} = 4,6 \cdot 10^{-3}$ m

$\Rightarrow \lambda = \frac{ia}{D} \Rightarrow D = \frac{\lambda}{ia} = \frac{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{632 \cdot 10^{-9}} = \boxed{1,46 \text{ m} = D}$

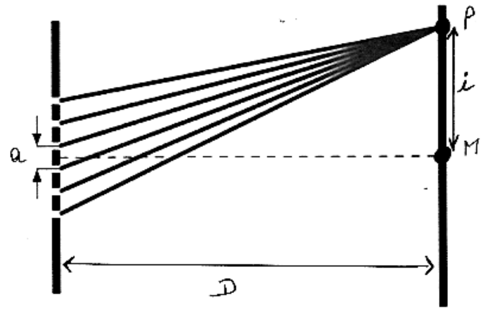


FIG. 51 :

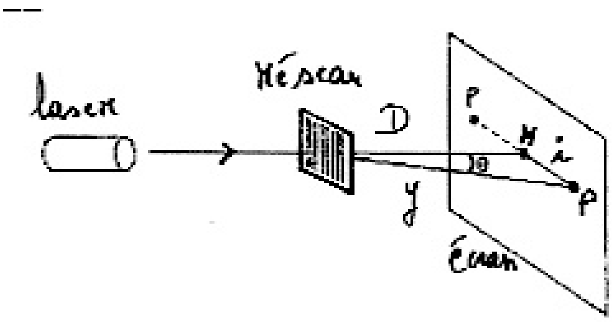
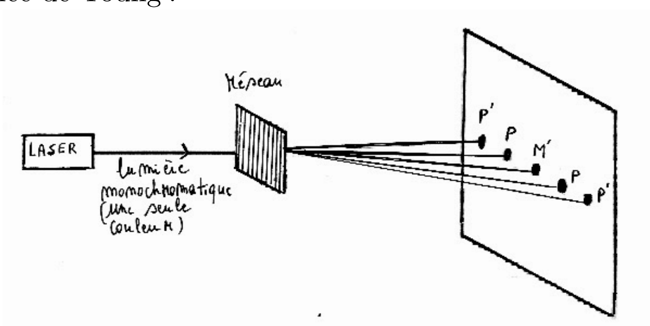


FIG. 52 :

Diffraction de la lumière par un réseau et interférences – Comportement ondulatoire

Que se passera-t-il si nous utilisons plusieurs fentes (appelé réseau) au lieu de deux comme dans l'expérience de Young ?



Mais qu'est ce qu'un réseau de diffraction ?

Un réseau de diffraction est constitué d'un très grand nombre de fentes, (au lieu de deux dans l'expérience de Young), très fines et très proches les unes des autres, parallèles et équidistantes.

La distance entre deux fentes est a.

Si de la lumière provenant du laser est une lumière monochromatique (une seule couleur et donc une seule fréquence), il apparaît alors sur l'écran une série de points lumineux : un point central M' dans le prolongement du faisceau incident et des points lumineux, P,P',... répartis symétriquement de part et d'autre du point central.

Nous observons donc une figure d'interférences, comme dans le cas de l'expérience de Young.

Cherchons une relation entre i, , a et D.

Chaque fente étant très étroite, il y a une diffraction importante : on pet donc considérer que chaque fente se comporte comme une nouvelle source d'ondes circulaires envoyant des ondes dans toutes les directions. Par clarté, nous ne dessinerons que celle qui atteignent un point P.

Ces ondes venant de chacune des fentes vont interférer.

On constate que les distances des très nombreuses fentes au point P sont très légèrement différentes, ce qui entraine un déphasage des différentes ondes arrivant au point P.

M est le point lumineux central,

P les points lumineux consécutifs au point central.

Nous pouvons mesurer :

i (l'interfrange),

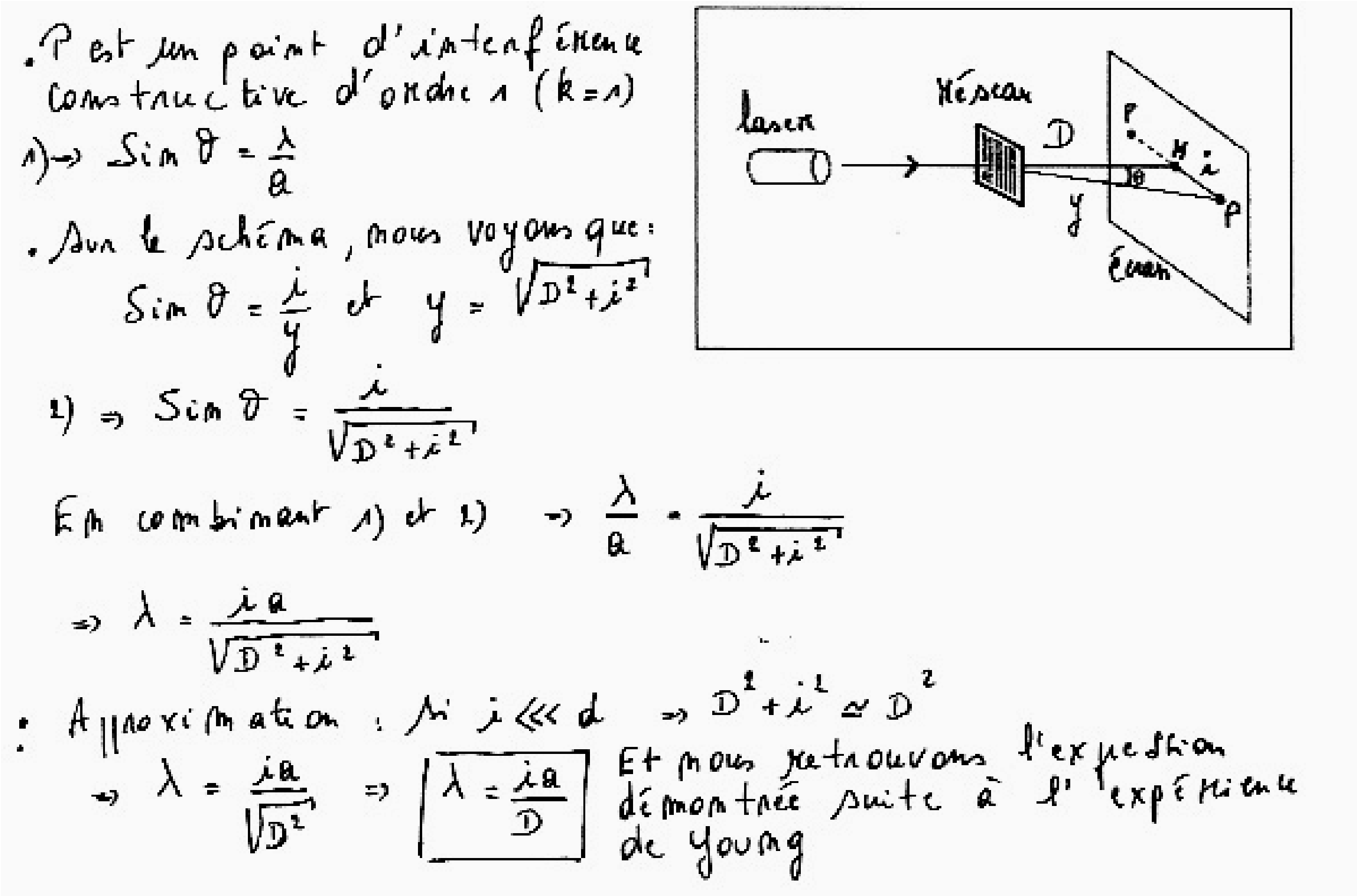
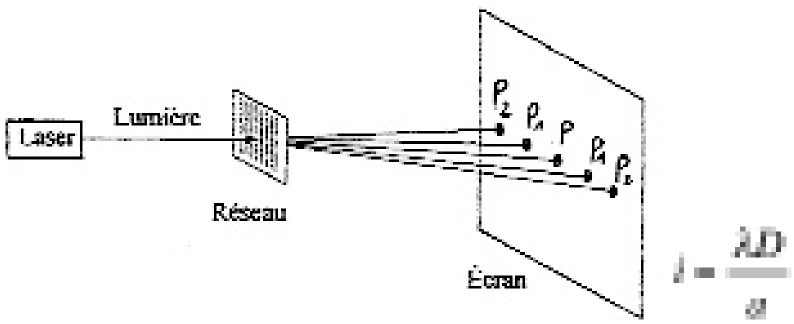


Fig. 53 :

(l'angle de déviation)
D (distance entre le réseau et l'écran).
Ceci nous permettra de calculer la longueur d'onde de la lumière.
Cherchons la relation entre , i, a et D .
Diffraction delà lumière par un réseau - Synthèse



EXERCICES
Exercice 1
Un réseau a 300 fentes/mm. On fait passer de la lumière rouge ayant une longueur d'onde de 650 nm dans le réseau et on observe les maximums sur un écran situé à 2,4 m du réseau.
Quelle est la distance sur l'écran entre le maximum d'ordre 1 et le maximum central ? (Rép : 468 mm)

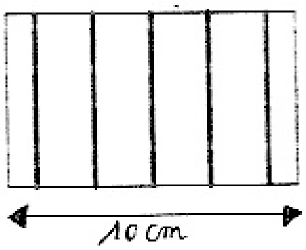
23 *Exercice 2*

De la lumière de longueur d'onde égale à 550 nm éclaire selon la normale un réseau comprenant 400 traits par mm. Calcule l'angle sous lequel on observe les maxima pour les ordres 2 et 3.
(Rép : 26° et 41,3°)

Exercice 3

On fait passer de la lumière provenant d'une ampoule au sodium à travers un réseau ayant 300 fentes/mm. On observe les maximums sur un écran situé à 2 m des fentes. Dans la lumière faite par une telle lampe, on retrouve de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,0 nm et de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,6 nm (qu'on appelle le doublet du sodium). Quelle est la distance sur l'écran entre les maximums d'ordre 1 de ces deux ondes de longueurs d'onde différente ?

(Rép : 0,36 mm)



Exercice 4

Sur un écran situé à 46 cm d'un réseau éclairé avec de la lumière monochromatique, on observe la figure suivante : Le pas du réseau est de 10 m.

a) En déduire la longueur d'onde de la lumière monochromatique qui éclaire le réseau. (Rép : 435 nm)
b) De quelle couleur s'agit-il ? (Rép : bleu)

EXERCICES

Exercice 1

Un réseau a 300 fentes/mm. On fait passer de la lumière rouge ayant une longueur d'onde de 650 nm dans le réseau et on observe les maximums sur un écran situé à 2,4 m du réseau.

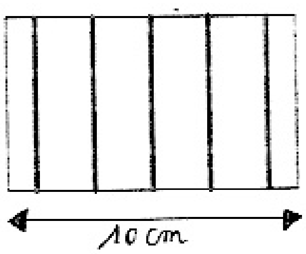
Quelle est la distance sur l'écran entre le maximum d'ordre 1 et le maximum central ?

24 *Exercice 2*

De la lumière de longueur d'onde égale à 550 nm éclaire selon la normale un réseau comprenant 400 traits par mm. Calcule l'angle sous lequel on observe les maxima pour les ordres 2 et 3.

Exercice 3

On fait passer de la lumière provenant d'une ampoule au sodium à travers un réseau ayant 300 fentes/mm. On observe les maximums sur un écran situé à 2 m des fentes. Dans la lumière faite par une telle lampe, on retrouve de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,0 nm et de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,6 nm (qu'on appelle le doublet du sodium). Quelle est la distance sur l'écran entre les maximums d'ordre 1 de ces deux ondes de longueurs d'onde différente ?



Exercice 4

Sur un écran situé à 46 cm d'un réseau éclairé avec de la lumière monochromatique, on observe la figure suivante : Le pas du réseau est de 10 m.

a) En déduire la longueur d'onde de la lumière monochromatique qui éclaire le réseau.
b) De quelle couleur s'agit-il ?

EXERCICES

Exercice 1

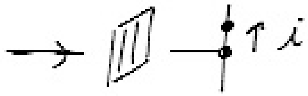
Un réseau a 300 fentes/mm. On fait passer de la lumière rouge ayant une longueur d'onde de 650 nm dans le réseau et on observe les maximums sur un écran situé à 2,4 m du réseau.
Quelle est la distance sur l'écran entre le maximum d'ordre 1 et le maximum central?

300 fentes $\rightarrow 10^{-3}$ m

1 fente $\rightarrow \frac{10^{-3}}{300}$ m $\Rightarrow a = 3,33.10^{-6}$ m

$\lambda = 650.10^{-9}$ m

D ? $k = 1$



$\lambda = \frac{i\,a}{D} \Rightarrow i = \frac{\lambda D}{a}$

$\Rightarrow i = \frac{650.10^{-9}.2,4}{3,33.10^{-6}} = 0,468$ m $= 468$ mm

$\boxed{i = 468 \text{ mm}}$

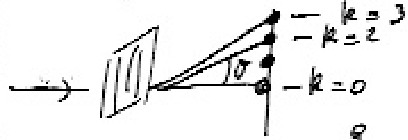
Exercice 2

De la lumière de longueur d'onde égale à 550 nm éclaire selon la normale un réseau comprenant 400 traits par mm. Calcule l'angle sous lequel on observe les maxima pour les ordres 2 et 3.

$\lambda = 550.10^{-9}$ m

400 traits $\rightarrow 1$ mm $= 10^{-3}$ m

1 traits $\rightarrow \frac{10^{-3}}{400}$ m $\rightarrow a = 2,5.10^{-6}$ m



ordre 2 : $\sin\theta = \frac{2\lambda}{a} \Rightarrow \theta = \text{Arcsin}\left(\frac{2\lambda}{a}\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{2.550.10^{-9}}{2,5.10^{-6}}\right) = \boxed{26° = \theta_2}$

ordre 3 : $\sin\theta = \frac{3\lambda}{a} \Rightarrow \theta = \text{Arcsin}\left(\frac{3\lambda}{a}\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{3.550.10^{-9}}{2,5.10^{-6}}\right) = \boxed{41,3° = \theta_3}$

Exercice 3

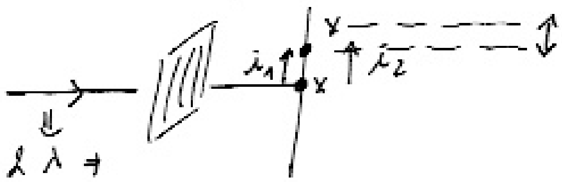
On fait passer de la lumière provenant d'une ampoule au sodium à travers un réseau ayant 300 fentes/mm. On observe les maximums sur un écran situé à 2 m des fentes. Dans la lumière faite par une telle lampe, on retrouve de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,0 nm et de la lumière ayant une longueur d'onde de 589,6 nm (qu'on appelle le doublet du sodium). Quelle est la distance sur l'écran entre les maximums d'ordre 1 de ces deux ondes de longueurs d'onde différente?

300 fentes $\rightarrow 10^{-3}$ m $\Rightarrow$ 1 fente $\rightarrow \frac{10^{-3}}{300}$ m $\Rightarrow a = 3,33.10^{-6}$ m

$D = 2$ m

$\lambda_1 = 589.10^{-9}$ m

$\lambda_2 = 589,6.10^{-9}$ m



Δi ?

$\Delta i = i_2 - i_1$

$\lambda_1 < \lambda_2 \Rightarrow i_1 < i_2$

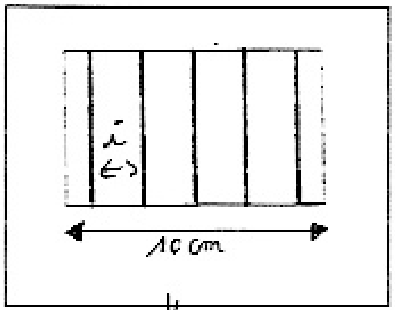
$i_1 = \frac{\lambda_1 D}{a} = \frac{589.10^{-9}.2}{3,33.10^{-6}} = 353,75.10^{-3}$ m $= 353,75$ mm

$i_2 = \frac{\lambda_2 D}{a} = \frac{589,6.10^{-9}.2}{3,33.10^{-6}} = 354,11$ mm

$\Delta i = i_2 - i_1 = 0,36$ mm

Exercice 4

Sur un écran situé à 46 cm d'un réseau éclairé avec de la lumière monochromatique, on observe la figure suivante : Le pas du réseau est de 10 µ m.



a) En déduire la longueur d'onde de la lumière monochromatique qui éclaire le réseau. (Rép :
b) De quelle couleur s'agit-il ? (Rép :

$\Downarrow$

$5i = 10\,cm$

$i = 2\,cm = 2.10^{-2}\,m$

$a = 10.10^{-6}\,m = 10^{-5}\,m$

$D = 0{,}46\,m = 46.10^{-2}\,m$

a) λ ?

$$\lambda = \frac{i\,a}{D} = \frac{2.10^{-2}.10^{-5}}{46.10^{-2}} = 0{,}0435.10^{-5}\,m = 435\,nm$$

$\lambda = 435\,nm$

b) λ 800 400

$\Downarrow$ $\Downarrow$

rouge bleu

$\Rightarrow$ C'est de la lumière bleue

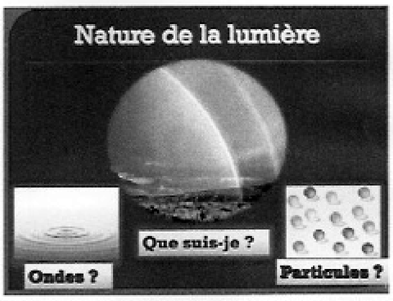


FIG. 54 :

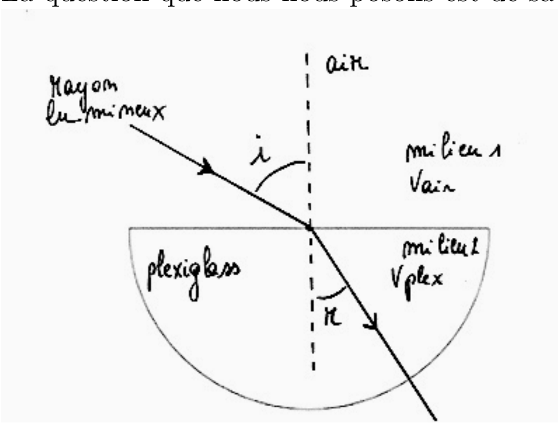
FIG. 55 :

Réfraction de la lumière

L'expérience de Young nous a permis d'affirmer que la lumière a un comportement ondulatoire.

Continuons la démarche dans le cadre de la dualité onde-particule de la lumière, et intéressons-nous à la réfraction de la lumière. Cette dernière obéit-elle à la loi de Snell élaborée avec la cuve à onde, autrement dit, la lumière a-t-elle un comportement ondulatoire si elle est soumise au phénomène de la réfraction ?

La question que nous nous posons est de savoir si la lumière obéit à la loi de Snell.



Expérience :

Pour ce faire, faisons réfracter la lumière monochromatique à travers un prisme semi-circulaire en plexiglas et observons la relation entre l'angle d'incidence, l'angle de réfraction, la vitesse de la lumière dans l'air (v_1) et la vitesse de la lumière dans le plexiglas (v_2).

Observation :

Lorsqu'un rayon lumineux passe de l'air au plexiglas, nous pouvons observer que i r (le rayon se rapproche de la normale).

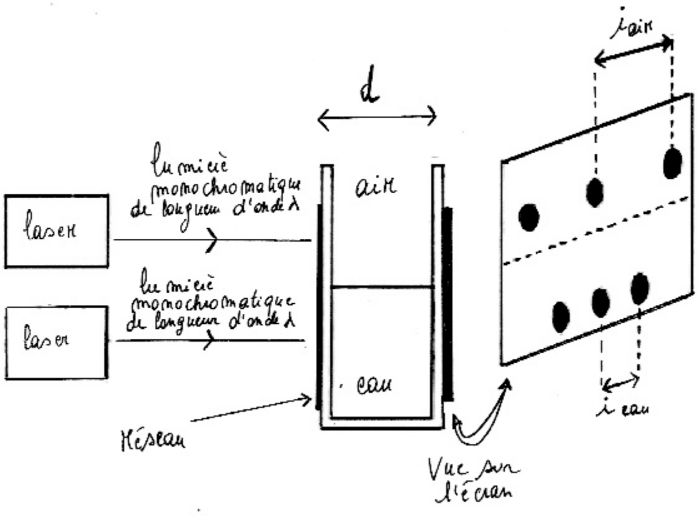
Il nous reste à savoir si v_1 v_2 , autrement dit, si la vitesse de la lumière dans l'air que la vitesse de la lumière dans le plexiglas.

Comment faire ? La vitesse de la lumière est de l'ordre de 300 000 km/s !!! C'est impossible de la mesurer dans notre petit laboratoire terrestre ....

Nous pouvons calculer le rapport des vitesses car nous savons déterminer le rapport des longueurs d'onde grâce à l'expérience de diffraction de la lumière par un réseau !!!!

Ceci fera l'objet du laboratoire suivant. Nous reviendrons à nos moutons ensuite, lorsque nous aurons déterminer si la lumière e propage plus rapidement dans l'air que dans l'eau (u le plexiglas) ou inversement.

1. LABORATOIRE - Détermination du rapport des vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau .



Dispositif expérimental :

On utilise de la lumière monochromatique (une seule fréquence) d'un laser.

Un réseau de 530 traits par mm est placé contre une des faces du réservoir rempli en partie d'eau.

L'écran est placé contre la face opposée à celle où est placé le réseau.

La hauteur du laser sera ajustée pour que la lumière traverse tantôt de l'air, tantôt de l'eau.

En mesurant i_{air} et i_{eau} , nous pouvons calculer expérimentalement le rapport des vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau (vair/veau).

Mesures expérimentales :

1) Mesure de i dans l'air :

2) Mesure de i dans l'eau :

3) Calculer le rapport

$$\frac{v_{air}}{v_{eau}}$$

sachant que V= f et que

Conclusion : La lumière se propage plus rapidement dans l'air que dans l'eau.

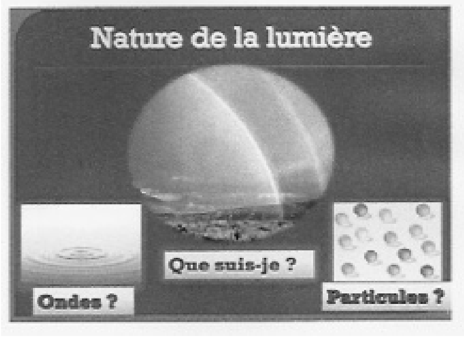
La diffraction de la lumière par un réseau conduit à la conclusion que la lumière se propage plus rapidement dans l'air que dans l'eau.

2 . Réfraction de la lumière allant de l'air dans le plexiglas (ou dans l'eau)

25 Grâce au laboratoire précédent, nous avons expérimentalement déterminé que *la vitesse de la lumière dans l'air est supérieure à la vitesse de la lumière dans l'eau* (ou dans le plexiglas)

La question que nous nous posons est de savoir si la lumière obéit à la loi de Snell.

Pour ce faire, revenons à nos moutons et faisons réfracter la lumière monochromatique à travers un prisme semi-circulaire en plexiglas et observons la relation entre l'angle d'incidence, l'angle de réfraction, la vitesse de la lumière dans l'air et la vitesse de la lumière dans le plexiglas.



Grâce à l'expérience de Young, réalisée dans l'air et dans le plexiglas (comme nous l'avions réalisée dans l'air et dans l'eau), nous pouvons expérimentalement déterminer que *pour la lumière* :

V_{air} V_{pleg} (V_1 V_2)

Et nous avons observé expérimentalement (voir figure ci-contre) :

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{V_1}{V_2}$$

FIG. 56 :

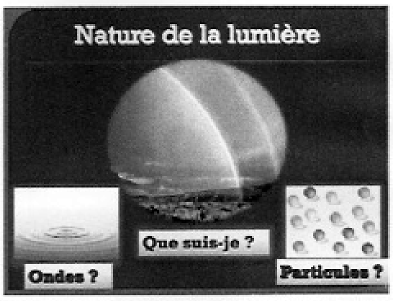


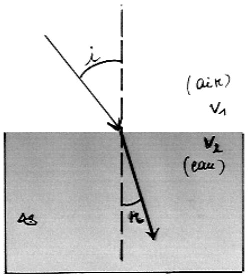
FIG. 57 :

i r

et donc :

3. Conclusion quand au caractère ondulatoire ou corpusculaire de la lumière

LUMIERE : ONDE OU PARTICULE ?



1) Si nous nous reportons à l'expérience de réfraction avec la lumière :

Lorsque la lumière passe de l'air à l'eau, nous observons de la réfraction avec :

i r

et v_{air} v_{eau} (v_1 v_2)

Ce qui est conforme à la loi de Snell (ondulatoire).

Cela confère à la lumière un *comportement ondulatoire.*

2) Les phénomènes de diffraction et d'interférences ne sont explicables que par un comportement ondulatoire. Or la lumière diffracte et est soumise aux interférences. Elle a donc un *comportement ondulatoire.*

3) La diffraction de la lumière par un réseau conduit à la conclusion que la lumière se propage plus rapidement dans l'air que dans l'eau.

Cela lui confère un *comportement corpusculaire.*

4) La propagation de la lumière dans le vide (donc en l'absence de milieu), lui confère un *comportement corpusculaire.*

Nous ne sommes pas sortis de l'auberge ....

Cette dualité prend ses racines dans un débat remontant aussi loin que le XVII^{e} siècle , quand s'affrontaient les théories concurrentes de Christiaan Huygens qui considérait que la lumière était composée d'ondes et celle de Isaac Newton qui considérait que la lumière était des particules.

En attendant de continuer cette démarche scientifique qui permettrait de trouver une réponse à cette dualité, nous allons nous attarder à exploiter les expériences et théories relatives à la réfraction de la lumière et à sa diffraction par un réseau.

Passons aux exercices et applications au chapitre suivant.

$$\frac{Sin(i)}{Sin(r)} = \frac{V_1}{V_2}$$

FIG. 58 :

$$V = \frac{c}{n}$$

FIG. 59 :

Réfraction de la lumière et indice de réfraction

1. Définition - Indice de réfraction (n)

L'indice de réfraction d'un milieu est le rapport entre la vitesse de la lumière dans l'air (notée c) et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré. Il sera noté n.

L'**indice de réfraction** d'un milieu est une grandeur sans dimension, caractéristique d'un milieu, et décrivant le comportement de la lumière dans celui-ci.

c étant la vitesse de la lumière dans l'air (quasi égale à la vitesse de la lumière dans le vide), l'indice de réfraction de l'air est égal à 1.

Intégrons cet indice dans la loi de Snell :

Tenant compte de la définition de l'indice de réfraction,

nous avons que la vitesse v de la lumière dans un milieu est :

On a donc :

2. Conclusion : La réfraction de la lumière obéit à la loi suivante :

$$n = \frac{c}{V} \quad \frac{Sin(i)}{Sin(r)} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

et

Chaque milieu transparent est caractérisé par un indice de réfraction qui lui est propre.

c étant la vitesse de la lumière dans l'air (quasi égale à la vitesse de la lumière dans le vide), l'indice de réfraction de l'air est égal à 1.

C'est la plus petite valeur pour un indice de réfraction. (le milieu est le vide ou l'air) L'indice de réfraction du vide est quasi égal à l'indice de réfraction de l'air.

Voici les indices de réfraction de quelques matériaux

(pour une onde lumineuse de longueur d'onde égale à 589 nm)

$$\frac{Sin(i)}{Sin(r)} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

FIG. 60 :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{1}$$

FIG. 61 :

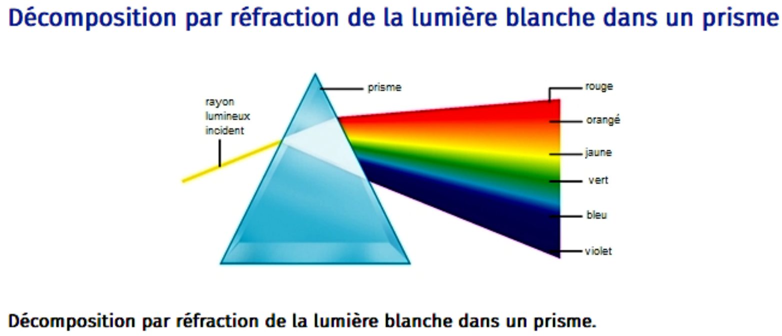
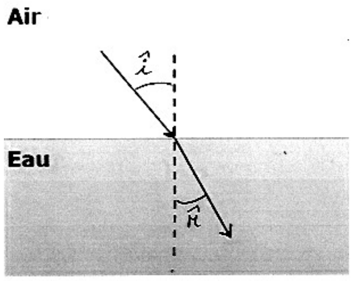


FIG. 62 :

26

27 *Exemple* : Comparer quantitativement la vitesse de la lumière dans l'air et celle dans l'eau



$n_{air} = 1$

$n_{eau} = 1,33$

Donc, lorsque la lumière passe de l'air à l'eau :

Donc $V_1 = 1,33\ V_2$

La vitesse de la lumière dans l'air est égale à 1,33 fois la vitesse de la lumière dans l'eau.

Application : Décomposition de la lumière blanche à travers un prisme

De la lumière blanche qui passe à travers un prisme est décomposée dans toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Ce phénomène est dû à la réfraction de la lumière.

Comment l'expliquer ?

L'indice de réfraction d'un milieu dépend de la longueur d'onde de la lumière qui le traverse : l'indice est *légèrement plus faible* pour les lumières de longueur d'onde élevée.

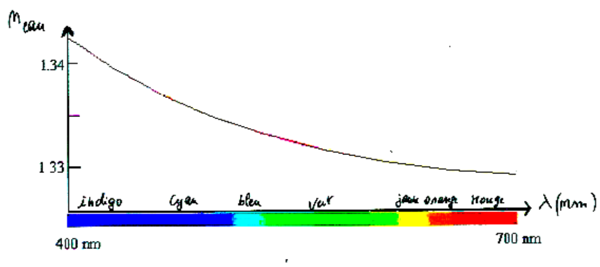


FIG. 63 :

$$\frac{Sin(i)}{Sin(r)} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

FIG. 64 :

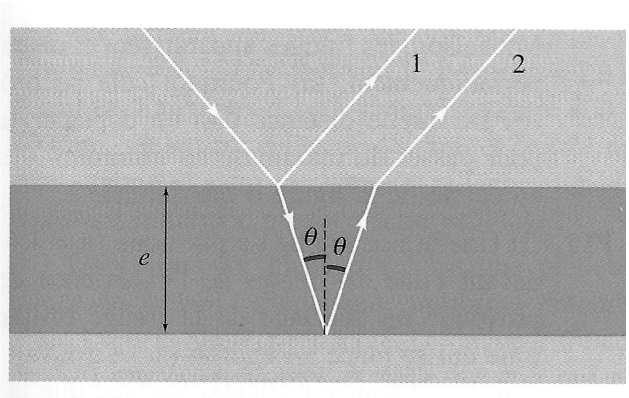


FIG. 65 :

n_{bleu} n_{rouge} pour un même milieu.

Chaque couleur de la lumière blanche possède une longueur d'onde qui lui est propre.

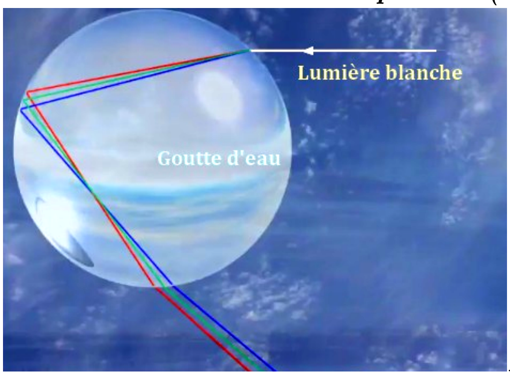
Pour certaines longueurs d'onde, la lumière sera (très légèrement) plus lente que pour d'autres, ce qui explique que l'indice de réfraction dépende de la longueur d'onde.

Comme l'angle de réfraction est relié à l'indice de réfraction qui est lui-même reliée à la vitesse de la lumière dans le milieu, il est logique qu'un rayon bleu ne soit pas dévié de la même façon qu'un rayon rouge.

Lorsque la lumière traverse deux milieux différents, la déviation sera plus marquée si la différence entre les indices de réfraction est élevée. Donc, pour un même milieu n_1, au plus un indice de réfraction (n_2) est grand, au plus l'angle de réfraction sera petit. Et au plus l'angle de réfraction est petit, au plus la déviation est grande.

Comme n_{bleu} n_{rouge} (pour un même milieu), l'angle de réfraction du bleu sera plus petit que l'angle de réfraction du rouge et la déviation du bleu plus grande que celle du rouge.

La lumière bleue subira donc une plus grande déviation que la lumière rouge lorsque de la lumière blanche traverse un prisme (réfraction).



Application 1 : l'arc-en-ciel

La dispersion de la lumière du Soleil par des gouttes de pluie approximativement sphériques provoque l'arc-en-ciel. La lumière est d'abord réfractée en pénétrant la surface de la goutte, subit ensuite une réflexion partielle à l'arrière de cette goutte et, enfin est réfractée à nouveau en sortant.

L'observateur verra donc la lumière blanche décomposée en toutes ses couleurs.

Application 2 - Interférences des couches minces (p115)

Les couleurs que l'on peut observer sur des bulles de savon, des films d'huile ou d'essence sur le sol mouillé, l'irisation de certaines plumes de paon ou de

papillons sont dues à des phénomènes de réfraction et d'interférences.

Explication :

FIG. 66 :

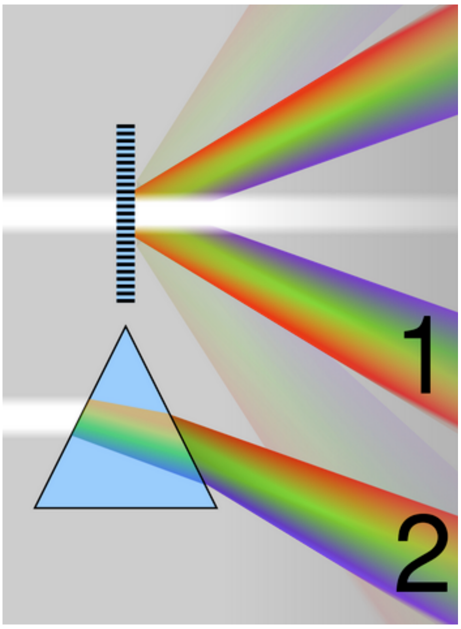


FIG. 67 :

Lorsqu'une couche mince est éclairée par de la lumière blanche (une aile de papillon par exemple, ou une tache d'huile sur la route, ou la surface d'une DVD), une partie de la lumière est réfléchie par la première surface et l'autre partie par la seconde surface (après avoir subi deux réfractions). (cfr schéma)

La première onde est réfléchie par la partie supérieure de la surface. La seconde onde subit une réfraction, une réflexion et une seconde réfraction. Les deux ondes vont donc subir une interférence.

Comme vous le savez, chaque couleur de la lumière blanche possède une longueur d'onde qui lui est propre.

Si l'interférence est destructive pour une certaine longueur d'onde, la lumière aura perdu une partie de ses composantes colorées, elle n'est plus blanche et présentera une couleur.

Comme l'épaisseur d'une couche mince varie d'un point à l'autre, les conditions d'interférence destructives et construtives varient également, ce qui donne toute cette variété de couleurs.

Application 3 -Différence entre diffraction de la lumière par un réseau et réfraction de la lumière.

Figure 1 : diffraction de la lumière par un réseau

Rappel : la diffraction de la lumière par un réseau et la décomposition de la lumière blanche qui en découle est du à un phénomène d'interférence tel que l'angle de déviation est proportionnel à la longueur d'onde.

Comme $_{bleu}$ $_{rouge}$, $_{bleu}$ $_{rouge}$

La couleur bleue subira un angle de déviation inférieur à l'angle de déviation de la couleur rouge.

La couleur rouge subira une plus grande déviation que la couleur bleue.

Figure 2 : réfraction de la lumière par un prisme

Rappel : la réfraction de la lumière est due à un changement de direction lorsqu'il y a changement de milieu. Ceci étant la conséquence d'une variation de vitesse.

Lorsque de la lumière blanche traverse un prisme, chaque couleur subira un angle de réfraction inverse-

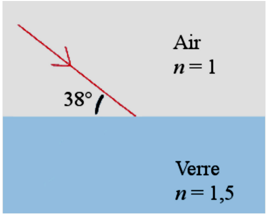


FIG. 68 :

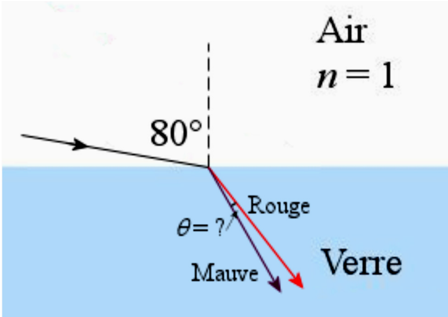
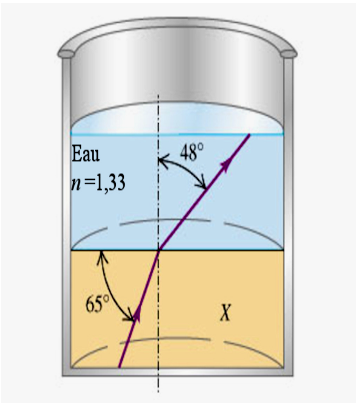


FIG. 69 :

ment proportionnel à son indice de réfraction.

$$n = \frac{c}{V} \quad \frac{Sin(i)}{Sin(r)} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Comme n_{bleu} n_{rouge} (pour un même milieu n_1 et un même angle d'incidence i), r_{bleu} r_{rouge}.
La couleur bleue subira une plus grande déviation que la couleur rouge.

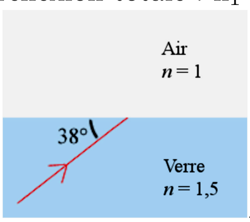


EXERCICE 1

Un rayon lumineux passe d'une substance transparente X à l'eau telle qu'illustrée sur la figure.
a) Quel est l'indice de réfraction de la substance X ? (Rép : 2,34)
b) Quelle est la vitesse de la lumière dans la substance X ? (Rép :$1{,}28.10^8$ m/s)
c) Quel sera l'angle limite de réflexion totale ? (Rép : 34,5°)

EXERCICE 2

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.
La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non ? (Rép : non, dans notre situation, il n'y aura jamais de réflexion totale : n_1 n_2 et donc v_1 v_2)



EXERCICE 3

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.
La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non ? (Rép : oui, i i_{lim})

EXERCICE 4