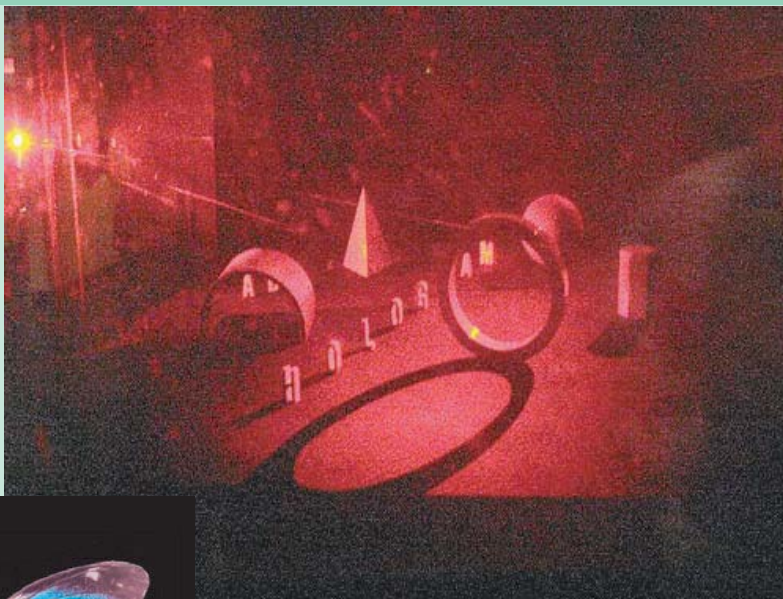


NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE

8

*Image obtenue par
holographie (procédé
de photographie en
trois dimensions)*



*Certaines couleurs d'un
papillon sont dues à des
phénomènes physiques
lumineux.*

- ◆ Lorsqu'il rencontre sur son trajet un fil très fin ou un cheveu, un faisceau de lumière laser subit un phénomène avec lequel on mesure les diamètres de tels obstacles. Qu'est-ce que ce phénomène ?
- ◆ Est-il possible de faire subir à une lumière laser le phénomène de dispersion ? Pourquoi ?

NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE

On a vu que lorsque le milieu de propagation est ouvert, toute onde mécanique qui s'y propage est progressive. Dans ce chapitre, on se propose d'étudier le comportement d'une telle onde à la rencontre d'un obstacle ou au niveau d'une fente très petite (d'une largeur de quelques cm). On traitera aussi le cas d'un faisceau lumineux qui passe à travers une fente fine (d'une largeur de quelques dixièmes de mm).

1 LA DIFFRACTION

1.1- DIFFRACTION D'UNE ONDE MECANIQUE

Manipulation

On dispose d'une cuve à ondes remplie d'eau et d'une lame vibrante **L**, produisant une onde progressive plane à la surface de la nappe d'eau. Deux éléments plans en plexiglas, placés à une distance d de la lame **L**, forment une ouverture **F** de petite largeur a , comme le montre la figure 1.

En mettant le vibreur en marche, on observe, entre la lame vibrante et l'ouverture **F**, des rides rectilignes.

Au-delà de l'ouverture **F**, on observe pour :

- ✓ $a = 4 \text{ cm}$: des rides rectilignes présentant une légère déformation au voisinage des bords (Fig.2a).
- ✓ $a = 1,5 \text{ cm}$: des rides circulaires dans une zone triangulaire de sommet **I** milieu de la fente **F** (Fig.2b).
- ✓ $a = 0,5 \text{ cm}$: des rides quasiment circulaires de centre commun **I** (Fig.2c).

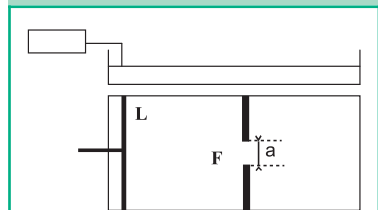


Fig.1 : Dispositif d'étude de la diffraction d'une onde mécanique

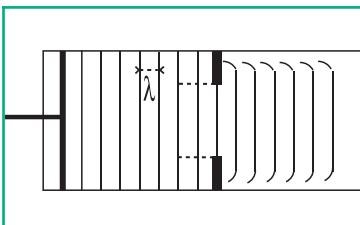


Fig.2a : Forme des rides pour $a > \lambda$

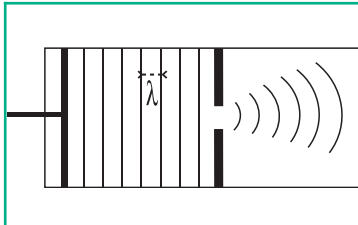


Fig.2b : Forme des rides pour $a \simeq \lambda$

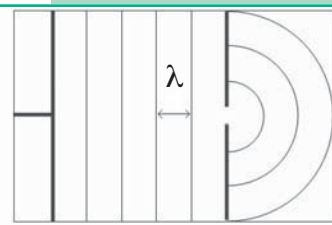


Fig.2c : Forme des rides pour $a < \lambda$

Questions

- 1°) Quelle est la nature de l'onde incidente sur l'ouverture **F** ?
- 2°) Quelle est l'observation qui montre qu'il émerge de l'ouverture **F** une onde différente de l'onde incidente ? Préciser cette différence.
- 3°) Par comparaison des distances entre deux rides consécutives rectilignes et deux rides consécutives circulaires, comparer les longueurs d'onde, λ de l'onde incidente et λ' de l'onde émergente.
- 4°) Comparer dans chacun des cas, la longueur d'onde λ à la largeur a de l'ouverture **F**.

Interprétation

A son passage à travers la fente F, l'onde rectiligne de longueur d'onde λ se transforme en une onde circulaire de même longueur d'onde. Cette transformation qui se produit lorsque la largeur a de la fente F a une valeur comparable à celle de la longueur d'onde λ de l'onde incidente, est le phénomène de diffraction.

L'onde qui en résulte est appelée onde diffractée.

Remarque

En remplaçant la fente F de largeur a d'une valeur comparable à celle de la longueur d'onde λ de l'onde incidente par un obstacle de même largeur a , on obtient le même phénomène de diffraction comme le montre la figure 3.

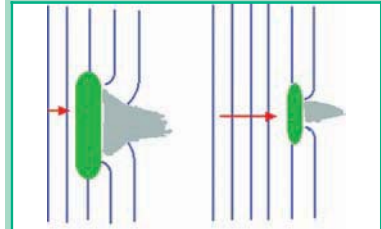


Fig. 3 : Diffraction d'une onde par un obstacle de largeur a

Conclusion

Au niveau d'une fente ou d'un obstacle de largeur a d'une valeur comparable à celle de sa longueur d'onde λ , l'onde mécanique subit le phénomène de diffraction.

La diffraction est la modification du trajet d'une onde et par suite de sa forme, au voisinage d'une fente ou d'un obstacle.

En subissant la diffraction, une onde initialement plane se propage après franchissement de la fente ou de l'obstacle, suivant plusieurs directions situées de part et d'autre de la direction d'incidence.

1.2- DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE

Manipulation

On dispose d'une source laser (S) émettant une lumière rouge de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$ et d'un écran E placé à une distance d de la source.

Sur l'écran E, on observe la tache lumineuse de la source (S) (Fig.4a).

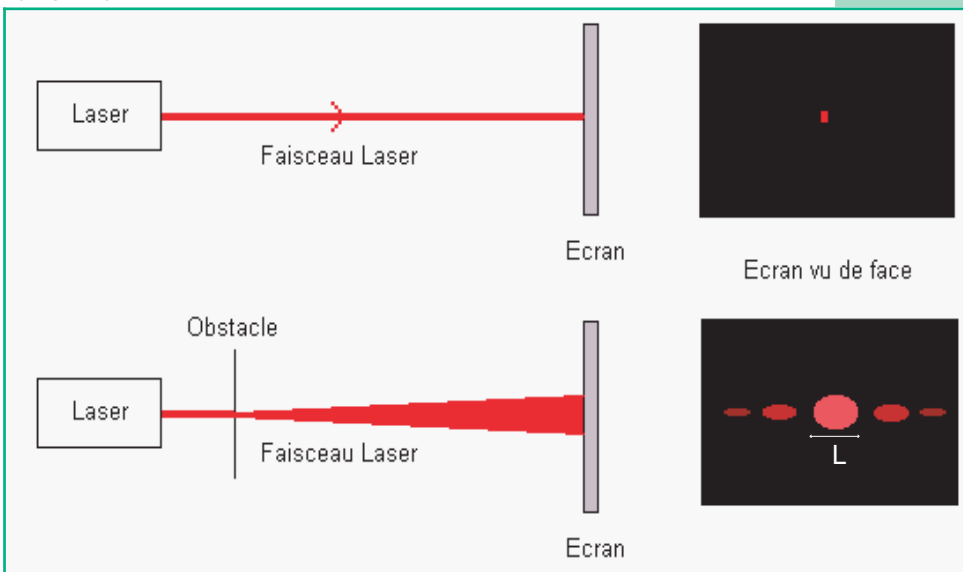


Fig.4a : Schéma du montage donnant la figure de diffraction d'un faisceau laser par une fente fine

Entre (S) et (E), on interpose un diaphragme muni d'une fente rectangulaire F de largeur a réglable.

✓ Pour une valeur $a = 0,6 \text{ mm}$, on observe sur l'écran E une figure étalée horizontalement, constituée d'un ensemble de taches brillantes séparées par des zones sombres.

La tache centrale de largeur L est la plus brillante (Fig.4a)

✓ Pour la valeur $a = 0,3 \text{ mm}$, on obtient une figure semblable à la précédente, mais avec une tache centrale brillante de largeur L' plus grande que L . Plus précisément, $L' = 2 L$ (Fig.4b).

Remarques

1 - En remplaçant la fente F de largeur a d'une valeur comparable à celle de la longueur d'onde λ de l'onde incidente par un obstacle de même largeur a , on obtient encore une diffraction.

2 - En remplaçant la fente rectangulaire F par une fente circulaire, de diamètre convenable, on obtient sur l'écran, des taches circulaires concentriques, appelées anneaux de diffraction (Fig.4c).

Questions

1°) Comparer la largeur a de la fente (F) donnant sur (E) la figure étalée avec la valeur de λ .

2°) Les taches lumineuses formées sur l'écran E ont-elles la même largeur ?

3°) Comment se présentent les taches latérales par rapport à la tache centrale ?

4°) La forme de la fente a-t-elle un effet sur la nature des taches lumineuses qui se forment sur l'écran ?

5°) Le principe de propagation rectiligne de la lumière permet-il d'expliquer le phénomène observé ?

Interprétation

Les résultats de l'expérience réalisée mettent en défaut le principe de propagation rectiligne de la lumière. Le phénomène observé au cours de cette manipulation est semblable à celui d'une onde mécanique progressive rencontrant une fente ou un obstacle de largeur a convenable (paragraphe 1-1), c'est le phénomène de diffraction. Ainsi, une source laser éclairant une fente fine, donne sur un écran E, placé à une distance D de la fente, une figure étalée horizontalement appelée figure de diffraction. Elle est constituée d'une tache centrale lumineuse brillante, de largeur L , entourée de part et d'autre par des taches latérales brillantes. Ces taches brillantes sont séparées les unes des autres par des zones sombres. Ces taches sont appelées franges de diffraction.

La largeur L de la tache centrale, pour une lumière donnée, dépend de celle de la fente. Ainsi, en diminuant la valeur de a , la largeur L de la tache centrale augmente. Les figures de diffraction qui se forment sur un écran E dépendent de la forme de la fente. Elles présentent les mêmes symétries de la fente (rectangulaire ou circulaire).



Fig.4b : Figure de diffraction de la lumière par une fente fine

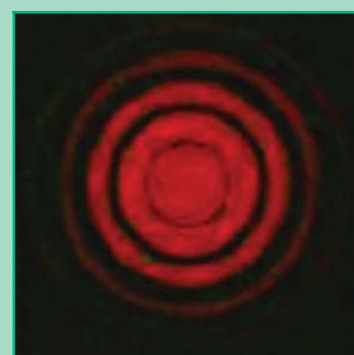


Fig.4c : Figure de diffraction par un trou

Conclusion

Au niveau d'une fente fine ou d'un obstacle de largeur a très petite (de quelques dixièmes de mm), un faisceau de lumière (lumière rouge par exemple, émise par une source laser) subit le phénomène de diffraction. La forme étalée de la figure de diffraction ne peut être expliquée par le principe de propagation rectiligne de la lumière. Par rapprochement avec la diffraction d'une onde mécanique, la propagation de la lumière dans un milieu transparent ou dans le vide peut être considérée comme étant la propagation d'une onde appelée onde lumineuse.

Caractéristiques d'une onde lumineuse

- Comme l'onde mécanique, l'onde lumineuse, est caractérisée par une période temporelle T et une période spatiale λ .
- Dans le vide, toutes les ondes lumineuses se propagent à la célérité $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

La relation entre λ et T s'écrit : $\lambda_{\text{vide}} = c.T$.

Remarque

La célérité des ondes lumineuses dans l'air est assimilée avec une bonne approximation à leur célérité dans le vide.

1.3- INFLUENCE DU QUOTIENT $\left(\frac{\lambda}{a}\right)$ SUR LE PHENOMENE DE DIFFRACTION

◆ Cas de l'onde mécanique

Manipulation

On reprend le montage de la figure 1, tout en gardant la fréquence N de la lame vibrante constante. On fixe la largeur a de la fente à la valeur 1,5 cm.

✓ Pour une épaisseur e_1 de la nappe d'eau dans la cuve à ondes, on observe au-delà de l'ouverture F , sur la nappe d'eau et dans une zone triangulaire de sommet le centre I de l'ouverture F , des rides circulaires alors qu'à l'extérieur de cette zone triangulaire, on n'observe pas de perturbation comme le montre la figure 5a.

✓ Pour une épaisseur $e_2 = 3.e_1$ de la nappe d'eau dans la cuve à ondes, on observe au-delà de l'ouverture F , des rides quasiment circulaires de centre I comme le montre la figure 5b.

Questions

- 1°) Préciser la variation de la longueur d'onde λ de l'onde progressive incidente en fonction de la profondeur e du milieu de propagation.
- 2°) Comparer, pour chaque valeur de e , la valeur de la longueur d'onde λ à celle de la largeur a de la fente.
- 3°) Préciser les facteurs qui peuvent influencer sur le phénomène de diffraction.

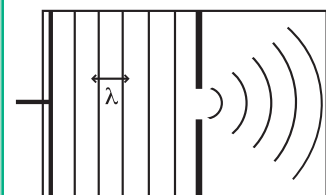


Fig.5a : Diffraction d'une onde mécanique pour $a \approx \lambda$.

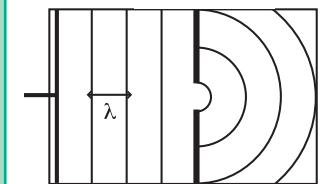


Fig.5b : Diffraction d'une onde mécanique pour $a < \lambda$.

Interprétation

En faisant varier l'épaisseur e de la nappe d'eau dans la cuve à ondes, on fait ainsi varier la longueur d'onde λ de l'onde. Les figures 5a et 5b montrent que la longueur d'onde λ augmente avec la profondeur de l'eau.

L'amélioration de la netteté de la figure de diffraction avec l'augmentation de la profondeur de la nappe d'eau s'explique par le fait que, pour une valeur fixe a de la fente, le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la longueur d'onde λ est plus grande.

Conclusion

Une onde plane rectiligne, de longueur d'onde λ , qui se propage à la surface d'un liquide et qui traverse une fente F de largeur a ne subit pas une déformation appréciable tant que la valeur de a est très grande devant celle de λ . Par conséquent, le phénomène de diffraction est imperceptible. Cependant, pour des valeurs de a comparables à celle de λ , le phénomène de diffraction est appréciable. Ainsi, le phénomène de diffraction dépend du quotient $\frac{\lambda}{a}$.

◆Cas de l'onde lumineuse

Manipulation

On reprend le montage de la figure 4a, en plaçant l'écran E à une distance $D = 2$ m de la fente F . Une feuille de papier millimétré est collée sur E de façon que la tache lumineuse du laser se forme sur elle, en absence de la fente F . En éclairant la fente, on obtient sur l'écran E l'ensemble des taches lumineuses avec une tache centrale plus large et plus brillante que les autres (Fig.6a).

On fait varier la largeur a de la fente F . Pour chaque valeur de a , on mesure la largeur L de la tache centrale correspondante. La largeur L représente la distance entre les milieux des bandes sombres qui entourent la tache centrale et l'angle θ représente la demi-largeur angulaire de la tache centrale (Fig.6b).

Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau 1.

a (10^{-3} m)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
L (10^{-3} m)	25	17	12	10	8

Tableau 1

Par la suite, on refait la même manipulation après avoir remplacé la lumière rouge de longueur d'onde λ_R par une lumière verte de longueur d'onde λ_V , ce qui donne :

a (10^{-3} m)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
L (10^{-3} m)	21	14	10	8	7

Tableau 2



Fig. 6a : Figure de diffraction

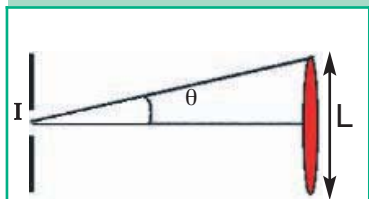


Fig.6b : Définition de la demi-largeur angulaire θ de la raie centrale

Questions

- 1°) La largeur a de la fente a-t-elle une influence sur la largeur L de la tache centrale de diffraction ?
- 2°) Préciser la variation de L et par suite celle de θ en fonction de la longueur d'onde λ .

Interprétation

- La Largeur L de la tache centrale ainsi que la demi-largeur angulaire θ de la tache centrale dépendent de la largeur a de la fente F .
- Pour une valeur fixe de a , la largeur L de la tache centrale dépend de la longueur d'onde λ de la source d'éclairement. En effet, sachant que λ_R est plus grande que λ_V d'une part et que, d'après l'étude expérimentale, L_R est plus grande que L_V d'autre part, on déduit que L est d'autant plus grande que λ est plus petite.

Conclusion

Une onde mécanique ou lumineuse de longueur d'onde λ subit une diffraction à la rencontre d'une fente ou d'un obstacle, de largeur a d'une valeur comparable à celle de λ . La perception du phénomène de diffraction de l'onde dépend de la valeur du quotient $(\frac{\lambda}{a})$.

2 DISPERSION DE LA LUMIÈRE

2.1- DISPERSION DE LA LUMIÈRE BLANCHE PAR UN PRISME

Un faisceau de lumière émis par une source laser peut subir une réfraction lorsqu'il traverse la surface de séparation de deux milieux transparents.

Manipulation

◆ On dispose d'une source laser (He-Ne) émettant un faisceau lumineux de longueur d'onde λ , d'un écran E situé à une distance d de la source et d'un prisme en verre d'indice de réfraction n . Le faisceau de lumière forme une tache sur l'écran E . En interposant entre la source laser et l'écran E le prisme en verre, on observe la déviation D du faisceau lumineux et le déplacement de la tache formée sur l'écran E , comme le montre la figure 7.

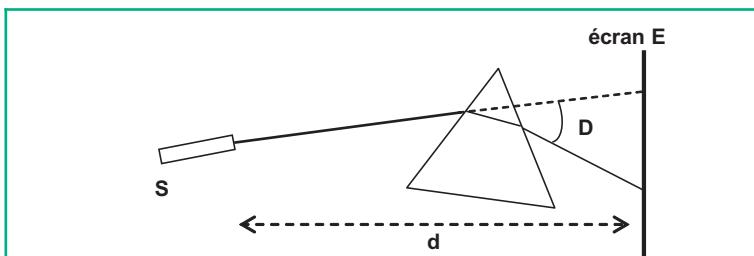


Fig. 7 : Déviation d'un faisceau de lumière monochromatique

Questions

- 1°) Comment peut-on interpréter la déviation D du faisceau lumineux qui traverse le prisme ?
- 2°) Le principe de propagation rectiligne de la lumière est-il vérifié ?
- 3°) Rappeler les lois de Descartes pour la réfraction.

◆ On reprend le dispositif expérimental de la première manipulation, mais en remplaçant la source laser par une source de lumière blanche, une lentille convergente et une fente F.

On dispose dans l'ordre la source de lumière, la fente, la lentille, le prisme et l'écran E.

On fait tourner le prisme de façon à obtenir sur l'écran E un spectre coloré bordé de rouge et de violet, rappelant les couleurs de l'arc-en-ciel. C'est le spectre visible de la lumière blanche, comme le montre la figure 8.



Fig. 8 : Spectre visible de la lumière blanche

Questions

- 1°) Un faisceau de lumière blanche subit-il une déviation à la traversée du prisme ?
- 2°) Quelle est la source de ces différentes couleurs qui se forment sur l'écran E ?
- 3°) Peut-on caractériser la lumière blanche par une longueur d'onde λ ?

Interprétation

Un faisceau laser subit une déviation d'un angle D en traversant un prisme en verre d'indice de réfraction n . La déviation D du faisceau est due à la double réfraction air/verre/air.

Un faisceau de lumière blanche qui traverse un prisme d'indice n sous une incidence i donne un spectre formé par une infinité de lumières de couleurs différentes, limité par la lumière rouge d'un côté et la lumière violette de l'autre côté. C'est le phénomène de dispersion de la lumière blanche.

La plage multicolore continue qui s'étale du rouge au violet en passant par une infinité de couleurs différentes constitue un spectre continu appelé spectre visible de la lumière blanche (Fig.8).

Conclusion

La lumière blanche résulte de la superposition d'une infinité de lumières de couleurs différentes allant du rouge au violet. Ainsi, la lumière blanche est appelée lumière polychromatique car elle est constituée de plusieurs, voire une infinité de lumières colorées ou radiations.

Chaque radiation est caractérisée par une fréquence ν et une longueur d'onde dans le vide λ_0 .

Une lumière constituée d'une seule radiation est appelée lumière monochromatique. Les différentes radiations constituant la lumière blanche ne sont pas déviées du même angle D par un prisme d'indice n , c'est le phénomène de dispersion de la lumière. Ainsi, la déviation d'une radiation lumineuse monochromatique par un prisme d'indice n , dépend de sa fréquence ν .

2.2- MILIEU DISPERSIF ET MILIEU NON DISPERSIF

Manipulation

On reprend le dispositif expérimental du paragraphe 2.1, mais en utilisant cette fois-ci des filtres de lumière de différentes couleurs (rouge, jaune, vert ...et bleu.). Ainsi, le faisceau de lumière blanche délimité par la fente passe d'abord à travers un filtre qui ne laisse passer qu'une radiation de couleur donnée. Avec la même source de lumière blanche, le même angle d'incidence i et des filtres de lumière différents, on note pour chaque filtre, l'angle de déviation D .

Les résultats des mesures sont schématisés sur la figure 9.

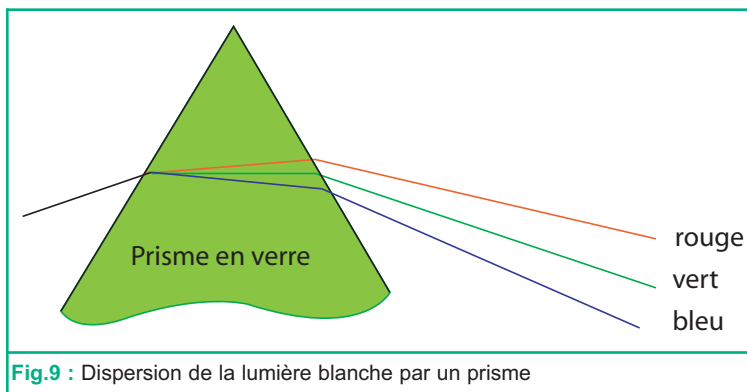


Fig.9 : Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Questions

- 1°) La déviation d'une radiation lumineuse par un prisme dépend-t-elle de son indice de réfraction n ?
- 2°) Sous le même angle d'incidence i , les différentes radiations de la lumière blanche sont-t-elles déviées du même angle ?
- 3°) Préciser la radiation la plus déviée par le prisme.

Interprétation

Les différentes radiations constituant le faisceau de lumière blanche ne sont pas déviées du même angle D par le prisme. Ce dernier fait dévier chaque radiation d'une valeur qui dépend de sa fréquence ν . Ainsi, le bleu est plus dévié que le rouge et le vert. La lumière est ainsi dispersée par le prisme. La dispersion de la lumière blanche est due au fait que l'indice n de réfraction du prisme n'est pas constant, et qu'il augmente en passant de la lumière rouge à la lumière bleue. Le prisme dans ce cas est un milieu dispersif. Le tableau suivant donne une idée sur la variation de l'indice de réfraction du verre avec la fréquence ν de la lumière.

Couleur de la lumière	$\nu(10^{14} \text{ Hz})$	$\lambda(10^{-6} \text{ m})$	Indice n
Bleu sombre	6,92	0,433	1,528
Bleu vert	6,18	0,485	1,520
Jaune	5,10	0,588	1,517
Rouge	4,57	0,656	1,514
Rouge sombre	3,91	0,767	1,511

Remarque

D'après ce tableau, on peut dire que l'indice de réfraction du verre est d'environ 1,5 dans tout le domaine visible, car sa dispersion produit une augmentation de (0,006) pour chaque diminution de dix picomètres (10 pm) de la longueur d'onde.

En général, on appellera milieu dispersif pour une onde de fréquence N (ou ν) tout milieu où la célérité v de cette onde ne dépend pas uniquement des propriétés du milieu de propagation, mais dépend aussi de la fréquence N (ou ν) de l'onde.

Dans le cas contraire où la célérité v de l'onde est indépendante de la fréquence N (ou ν), le milieu est dit non dispersif.

L'air est un exemple de milieu non dispersif.

Conclusion

Chaque radiation lumineuse monochromatique de fréquence ν est caractérisée par une longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$.

En pénétrant dans un milieu transparent d'indice n , où la célérité de la lumière est $v = \frac{c}{n}$, sa longueur d'onde devient $\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n \cdot \nu} = \frac{\lambda_0}{n}$.

Le phénomène de dispersion de la lumière est la variation de sa célérité v dans un milieu transparent d'indice n , en fonction de sa fréquence ν .

Ainsi, la déviation d'une radiation lumineuse monochromatique par un prisme en verre d'indice n dépend de sa fréquence ν .

Tout milieu transparent d'indice de réfraction n , où la célérité d'une radiation lumineuse dépend de sa fréquence est appelé milieu dispersif.

Le verre est un exemple de milieu dispersif.

L'essentiel

- La diffraction d'une onde est la modification de son trajet et par suite sa forme au voisinage d'une ouverture ou d'un obstacle de dimensions comparables à sa longueur d'onde.
- La diffraction d'une onde se fait sans changement de sa longueur d'onde.
- Un faisceau de lumière est décrit comme étant une onde appelée onde lumineuse.
- Le phénomène de diffraction dépend du quotient $\frac{\lambda}{a}$, λ étant la longueur d'onde et a l'ouverture de la fente.
- Une lumière monochromatique est une onde progressive sinusoïdale caractérisée par sa fréquence ν et sa longueur d'onde λ_0 dans le vide.
- Une lumière polychromatique est constituée de plusieurs radiations.
- La lumière blanche est une lumière polychromatique.
- Le phénomène de dispersion de la lumière est la variation de sa célérité v dans un milieu transparent d'indice n , en fonction de sa fréquence ν .
- On appelle milieu dispersif tout milieu dans lequel la célérité v d'une onde lumineuse dépend de sa fréquence.

Exercices



Exercice résolu

ÉNONCÉ

Un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,525 \mu\text{m}$ éclaire une fente fine rectangulaire de largeur réglable a . Sur un écran E placé à une distance $D = 3 \text{ m}$ de la fente, on observe la figure de diffraction.

On fait varier la largeur a de la fente et on mesure la largeur L de la tache centrale de la figure de diffraction. Les résultats des mesures sont consignés dans le tableau suivant.

a (mm)	0,10	0,14	0,20	0,25
L (mm)	31,5	22,5	16,0	12,5

1°) Décrire brièvement la figure de diffraction formée sur l'écran E.

2°) A l'aide du tableau de mesures ci-dessus :

a) préciser l'influence de la valeur de a sur la valeur de L .

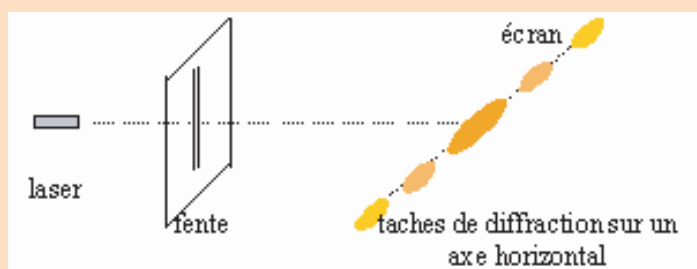
b) déterminer qualitativement l'influence de a sur la netteté de la figure de diffraction.

3°) Si avec $a = 0,1 \text{ mm}$, on place l'écran E à $D' = 1 \text{ m}$, montrer que la figure de diffraction devient moins nette.

4°) En remplaçant la fente par un cheveu de diamètre $d = 0,20 \text{ mm}$, préciser, tout en justifiant la réponse, la valeur de la largeur L de la tache centrale que l'on obtiendra avec $D = 3 \text{ m}$.

SOLUTION

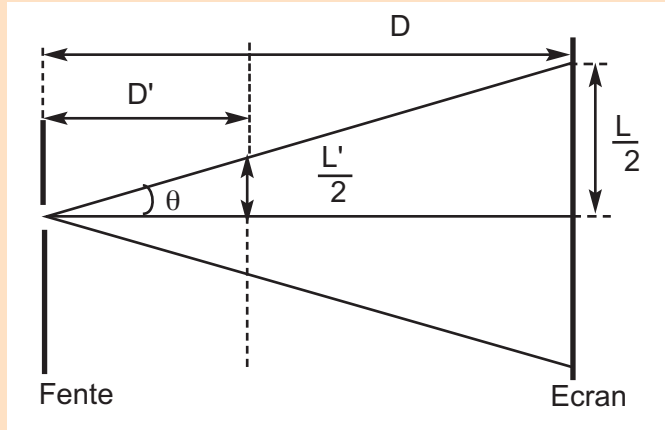
1°) Sur l'écran E se forme une figure étalée horizontalement, constituée d'une tache centrale lumineuse brillante de largeur L , entourée de part et d'autre par des taches lumineuses séparées par des zones sombres comme le montre la figure ci-dessous.



2°) a) D'après le tableau des mesures, si **a** augmente, **L** diminue.

b) La figure de diffraction est d'autant plus nette que la tache centrale est plus large. Or, **L** diminue quand **a** augmente. Donc, plus la fente est fine (θ plus petite), plus la figure de diffraction est nette.

3°) En maintenant la largeur **a** de la fente fixe et en diminuant **D**, la demi-largeur angulaire θ de la tache centrale ne change pas tandis que sa largeur **L** devient plus petite comme le montre la figure ci-contre. Par conséquent, la figure de diffraction devient moins nette.



4°) En remplaçant la fente par un cheveu de diamètre $d = 0,20 \text{ mm}$, on obtient exactement la même figure de diffraction que celle obtenue avec une fente de largeur **a** égale à **d**. Or, d'après le tableau des mesures, on a pour $a = 0,20 \text{ mm}$ une tache centrale de largeur $L = 16 \text{ mm}$.

Donc, avec le cheveu de diamètre $d = 0,20 \text{ mm}$, la figure de diffraction obtenue avec $D = 3 \text{ m}$ est caractérisée par une tache centrale de largeur $L = 16 \text{ mm}$.



Exercices à résoudre



Tests rapides des acquis

1

Items "vrai ou faux"

Evaluer les propositions suivantes par vrai ou faux.

- 1- Les ondes transversales ne peuvent pas subir le phénomène de diffraction.
- 2- Le phénomène de dispersion est une preuve du caractère ondulatoire de la lumière.
- 3- La diffraction de la lumière met en évidence l'impossibilité d'isoler un rayon lumineux.
- 4- Un milieu transparent est dispersif si la lumière s'y propage avec une célérité qui ne dépend que de ses propriétés.
- 5- La lumière blanche est la seule lumière polychromatique qui peut subir la dispersion.
- 6- La diffraction d'une onde peut se produire sur un obstacle d'une largeur de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ de cette onde.
- 7- Le phénomène de diffraction n'a pas d'influence sur la longueur d'onde λ de l'onde incidente.
- 8- Comme le vide, l'air est un milieu non dispersif de la lumière
- 9- Le verre est un milieu dispersif des ondes lumineuses parce que celles-ci s'y propagent avec une vitesse qui dépend de leur fréquence.

2

Questions à Choix Multiples

Préciser pour chacune des questions suivantes, la (ou les) proposition(s) juste(s).

- I - Le phénomène de diffraction permet de mettre en évidence :
 - a - le caractère ondulatoire de la lumière.
 - b - l'influence du milieu sur la vitesse de propagation.
 - c - la variation de la longueur d'onde quand une onde progressive rencontre un obstacle ou passe à travers une ouverture de très petite dimension.
- II - La diffraction d'une onde progressive de longueur d'onde λ à travers une fente de largeur a se manifeste quand :
 - a - λ est du même ordre de grandeur que a.
 - b - λ est très petite devant a.
 - c - $\frac{\lambda}{a} > 1$.
- III - La figure de diffraction obtenue avec une fente est formée :
 - a - d'anneaux
 - b - de taches étalées perpendiculairement à la fente.
 - c - de taches étalées parallèlement à la fente.
- IV - Dans une expérience de diffraction d'une lumière monochromatique de longueur d'onde λ , par une fente de largeur a, la largeur L de la tache centrale observée sur un écran placé à une distance D de la fente.
 - a - augmente avec λ .
 - b - ne dépend pas de la valeur de D.
 - c - diminue quand a augmente.
- V - Dans un milieu dispersif, la célérité d'une onde lumineuse dépend uniquement :
 - a - de la fréquence de l'onde.
 - b - des propriétés du milieu de propagation.
 - c - des propriétés du milieu de propagation et de la fréquence de l'onde.
- VI - Toutes les ondes lumineuses se propagent dans l'air avec la même célérité parce que l'air :
 - a - est un milieu dispersif.
 - b - est un milieu transparent.
 - c - présente le même indice de réfraction pour toutes les radiations lumineuses.

Exercices d'application

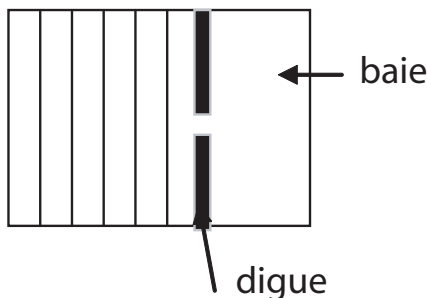
3 On réalise la diffraction d'un faisceau parallèle de lumière monochromatique, de longueur d'onde λ , par une fente circulaire de diamètre a convenable. Un écran E est placé à une distance $D = 4,5$ m de la fente. On fait varier le diamètre a de la fente et on mesure sur l'écran, le rayon r de la tache centrale relative à la figure de diffraction qui se forme sur l'écran. Les résultats des mesures sont consignés dans le tableau suivant :

a (10^{-4} m)	4,9	6,2	8,2	12,0
r (10^{-3} m)	7,5	6,0	4,5	3,0

1°) En se basant sur un schéma clair, décrire la figure de diffraction observée sur E.

2°) A l'aide du tableau des mesures, montrer que la figure de diffraction est d'autant plus nette que la fente circulaire est plus fine.

4 Une digue de largeur $l = 30$ m sépare une baie de la mer. Les vagues qui arrivent parallèlement à la digue, ont une longueur d'onde $\lambda = 80$ m, comme le montre la figure ci-dessous.



1°) Comment vont se propager les vagues au delà de la digue ?

2°) Schématiser l'aspect de la surface de l'eau au delà de la digue.

3°) Quelle est la nature du phénomène qui a lieu ?

4°) Que se passerait-il pour les vagues de courte longueur d'onde $\lambda = 5$ m ?

5 Sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde λ , on interpose un diaphragme muni d'une fente de largeur a , entre la source et un écran E placé perpendiculairement au faisceau de lumière.

1°) Schématiser la figure de diffraction obtenue sur l'écran E.

2°) Définir la demi-largeur angulaire θ

caractérisant la tache centrale de diffraction.

3°) Préciser l'influence de a sur θ .

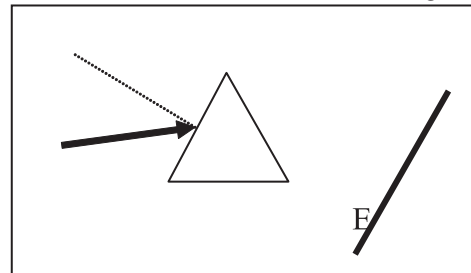
4°) Montrer à l'aide d'un schéma clair, que la largeur L augmente avec D tandis que θ reste constante.

6 Un faisceau de lumière, monochromatique, de longueur d'onde λ traverse un prisme d'indice de réfraction n sous un angle d'incidence i .

1°) Définir l'indice de réfraction d'un milieu transparent.

2°) Rappeler les lois qui permettent de tracer la marche du faisceau émergent.

3°) Reproduire le schéma de la figure ci-dessous et y tracer la marche du faisceau émergent.



4°) Qu'observe-t-on sur un écran E placé de l'autre côté du prisme ? De quel phénomène physique s'agit-il ?

5°) En remplaçant le faisceau de lumière monochromatique par un faisceau de lumière blanche, la figure observée précédemment sur l'écran E subit-elle un changement ?

Exercices de synthèse

7 On éclaire une fente de largeur a réglable par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,63$ μm . En plaçant à une distance $D = 1$ m de la fente un écran E, on y observe une figure de diffraction pour une valeur de a convenable. On note L la largeur de la tache centrale de la figure de diffraction.

1°) Qu'appelle-t-on lumière monochromatique ?

2°) Pour $a = 0,1$ mm, une figure de diffraction se forme sur l'écran.

a) Décrire brièvement la figure de diffraction observée sur E.

b) Justifier la formation de la figure observée sur E, en comparant la valeur de L à celle de a .

3°) Calculer la largeur L' de la tache obtenue en éclairant la fente par un faisceau de lumière bleue, de longueur d'onde $\lambda_b = 0,46$ μm .

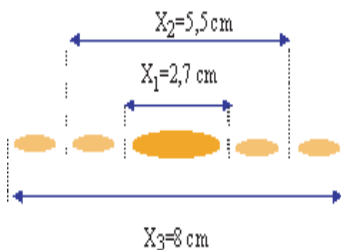
4°) Justifier pourquoi il est plus facile d'observer des taches de diffraction avec une lumière rouge qu'avec une lumière bleue.

5°) Pour la valeur 2 mm de a , le phénomène de diffraction est-il observable ?

8 Le schéma de la figure ci-dessous est une reproduction de la figure de diffraction obtenue sur un écran situé à une distance $D = 2$ m d'une fente de largeur $a = 100 \mu\text{m}$, éclairée par une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,675 \mu\text{m}$, émise par une source laser.

1°) Schématiser le dispositif expérimental permettant l'obtention de cette figure de diffraction.

2°) Etablir, pour la tache centrale de diffraction, la relation entre sa largeur X_1 et son demi-diamètre angulaire θ .

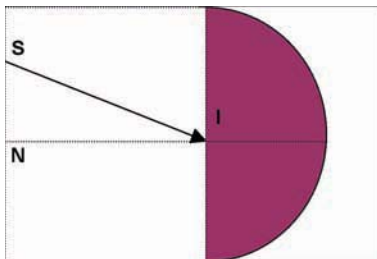


3°) A l'aide de la figure ci-dessus, comparer la largeur de la tache centrale de diffraction avec celle d'une tache latérale.

4°) En utilisant le même dispositif, comparer la largeur de la tache centrale de diffraction obtenue avec une lumière monochromatique bleue de longueur d'onde $\lambda = 450 \text{ nm}$ à celle obtenue précédemment.

9 Un faisceau étroit de lumière monochromatique tombe sous une incidence $i = 30^\circ$ en un point de la surface plane d'un hémicylindre en plexiglas (figure ci-dessous).

1°) Rappeler les lois de Descartes pour la réfraction.



2°) Calculer l'angle de réfraction $r\varphi$ du rayon lumineux de couleur jaune, lors de son passage de l'air vers le plexiglas, sachant que l'indice de réfraction du plexiglas, pour une lumière jaune de longueur d'onde $\lambda \varphi$, a pour valeur $n\varphi = 1,485$.

3°) Montrer que la déviation D du rayon qui émerge est $D = i\varphi - r\varphi$.

4°) L'indice de réfraction du plexiglas, pour une lumière monochromatique bleue de longueur d'onde λ_B , a pour valeur $n_B = 1,520$.

Calculer l'angle de réfraction r_B d'un rayon lumineux de couleur bleue qui tombe sur la surface plane de l'hémicylindre sous la même incidence i .

5°) On envoie maintenant au point I, sous le même angle d'incidence i , une lumière polychromatique constituée de deux lumières monochromatiques, l'une jaune et l'autre bleue.

Tracer la marche des deux rayons lumineux jusqu'à la sortie de l'hémicylindre et préciser l'angle qu'ils font entre eux. De quel phénomène s'agit-il ?

10 La houle contribue indirectement à l'édification des formes littorales. En effet, les vagues (ou ondes de houle) sont rarement parallèles aux côtes qu'elles atteignent. Lorsque les vagues buttent sur la plage et déferlent, l'eau déviée latéralement engendre un courant le long du rivage, ce qui provoque une érosion.

Lorsque sur la côte, il y a une baie ou une partie saillante (cap ou promontoire par exemple), les vagues se concentrent en contournant ces obstacles. Ce phénomène de diffraction augmente l'efficacité érosive des vagues. Le même problème se manifeste lorsqu'il y a une île proche de la côte. Afin de protéger le littoral, on installe des digues ou des jetées bien étudiées. Mais, ça n'empêche pas de voir les vagues pénétrer parfois dans un port.

D'après Hachette Multimédia 2000

Houle : mouvement ondulatoire de la mer dû au vent, provenant de très loin.

Cap : avancée du littoral dans la mer.

Promontoire : cap élevé.

Jetée : construction s'avancant dans la mer.

Questions

1°) Expliquer la diffraction des vagues qui se produit sur une côte :

- au niveau d'une baie,
- au niveau d'un cap.

2°) Expliquer le même phénomène qui se produit sur une île proche de la côte.

3°) Quelle est la partie de jetée responsable de la pénétration des vagues dans un port ?

Justifier la réponse.

En savoir plus

L'interprétation du phénomène de diffraction avec la théorie des ondelettes

Pour interpréter le phénomène de diffraction d'une onde par une fente fine, on se base sur la théorie des ondelettes avancée par Christian Huygens. Considérons une onde plane de longueur d'onde λ qui progresse à la surface de l'eau à partir de la source. L'ensemble des points du milieu de propagation qui sont atteints par l'onde à un instant t donné constitue ce qu'on appelle une surface d'onde noté Σ_t . D'après la théorie d'Huygens, chaque point de la surface d'onde Σ_t se comporte comme une source secondaire de vibrations, émettant une ondelette circulaire qui se propage avec la célérité v et dont il est le centre. Ainsi, Σ_t est considérée comme un ensemble infini de sources secondaires synchrones entre elles. Un point M du milieu de propagation, situé à une distance inférieure à $v.T$ est soumis à une infinité d'ondelettes qui se superposent. A l'instant $t + T$, ces ondelettes se superposent pour constituer la surface d'onde Σ_{t+T} (Fig.1).



Ch. Huygens

Christian Huygens (1629-1695).

Physicien, géomètre et astronome hollandais. En optique, ses travaux sont restés célèbres. Il perfectionna la technique de la taille des verres d'optique et construisit la première lunette astronomique. En 1678, il publia son livre «Traité de lumière» dans lequel se trouvent les lois de la réflexion, de la réfraction et une interprétation de la double réfraction dans le spath d'Islande.

Le phénomène de diffraction

L'onde incidente atteint le plan de la fente F à l'instant t . Chaque point de la surface d'onde Σ_t , placé en face de la fente F , émet à travers F une ondelette circulaire, dont il est le centre. A l'instant $(t+T)$, la surface de l'onde transmise Σ_{t+T} est la superposition des ondelettes qui sont issues de F et qui ont pour rayon : $v.T$. Le phénomène de diffraction observé au delà de la fente F , résulte de la superposition des ondelettes issues de F (Fig.2).

Dans le cas où la largeur a de la fente F est très petite par rapport à λ , la surface d'onde Σ_{t+T} est pratiquement circulaire. Dans ce cas, la fente F est assimilée à une source secondaire unique (Fig.3)

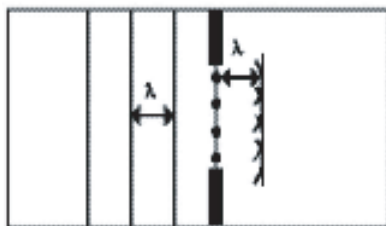


Fig.2

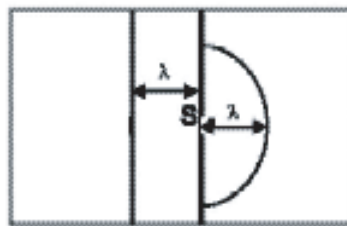


Fig.3

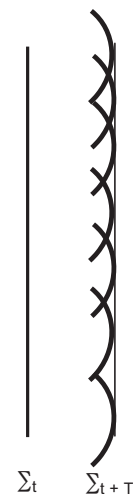
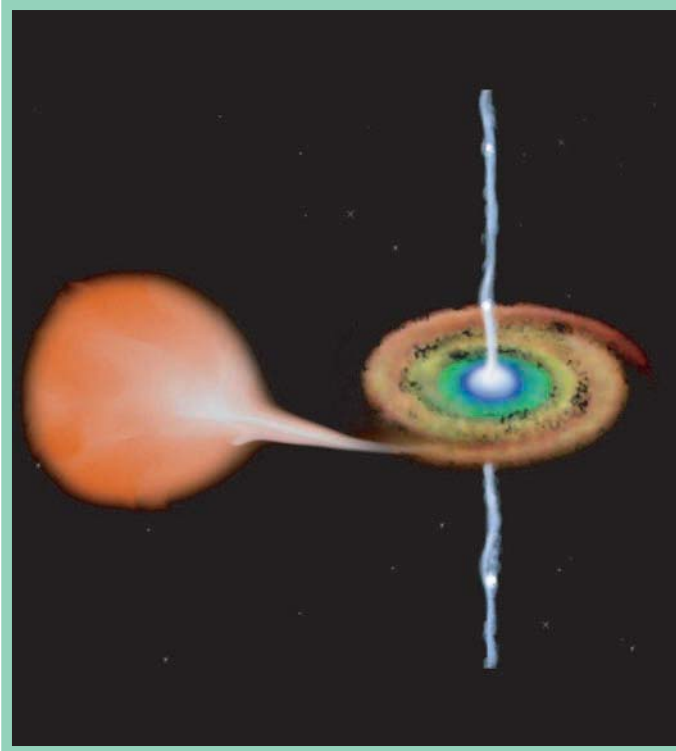
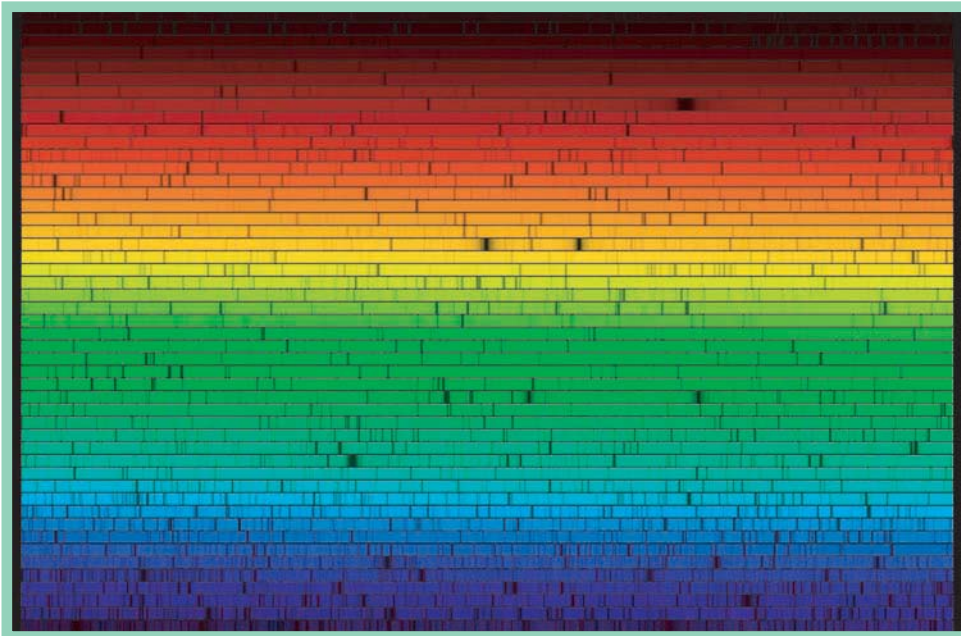


Fig.1

PHYSIQUE ATOMIQUE



Un des jolis
spectres
lumineux
qui éclairent
les chercheurs
sur les confins
de l'Univers

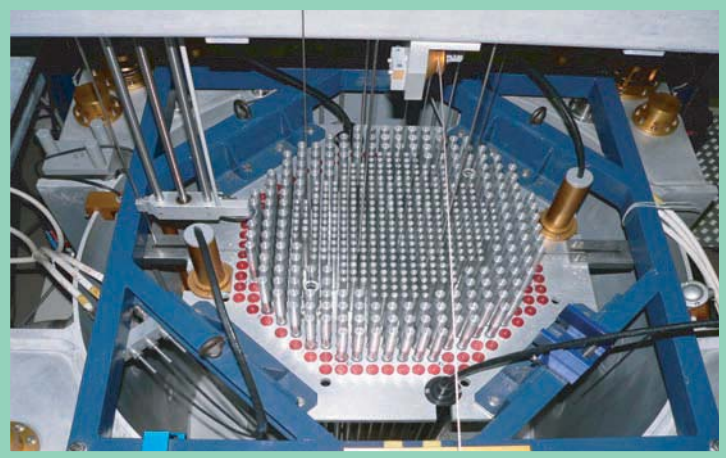


Détails du spectre solaire montrant que celui-ci renferme des raies d'absorption

E T N U C L É A I R E



Explosion nucléaire
(Bombe H)



Cœur d'un réacteur nucléaire



Explosion nucléaire
(Bombe atomique)

SOMMAIRE

I. Spectre atomique

1. Energie des systèmes en interaction
2. Quantification de l'énergie
3. Spectres lumineux
4. Spectre de l'atome d'hydrogène
5. Applications

II. noyau atomique

1. Structure et cohésion du noyau
2. Equivalence masse-énergie
3. Stabilité du noyau

III. Réactions nucléaires

Réactions nucléaires spontanées

1. Le phénomène de radioactivité
2. Les différents types de rayonnements radioactifs
3. Mécanismes nucléaires
4. Evolution temporelle de la radioactivité

Réactions nucléaires provoquées

1. La réaction de fission
2. La réaction de fusion
3. Applications

Objectifs

- ◆ Décrire une expérience qui montre que l'énergie de l'atome est quantifiée.
- ◆ Calculer l'énergie de l'atome d'hydrogène en joule et en électron-volt.
- ◆ Distinguer un spectre d'émission d'un spectre d'absorption.
- ◆ Appliquer la relation $\Delta E = h \cdot \nu$.
- ◆ Identifier un élément chimique à partir de son spectre d'émission ou d'absorption.
- ◆ Utiliser le spectre de la lumière émise par une étoile pour reconnaître certains de ses constituants.

Prérequis

SAVOIR	SAVOIR FAIRE
◆ Définir la force d'interaction gravitationnelle. ◆ Définir la force d'interaction électrique ou coulombienne. ◆ Énoncer le principe de conservation de l'énergie. ◆ Définir les grandeurs caractéristiques d'une onde : période, fréquence et longueur d'onde. ◆ Donner les règles de répartition des électrons d'un atome sur les différents niveaux d'énergie.	◆ Utiliser un prisme pour analyser une lumière. ◆ Appliquer le principe de conservation de l'énergie. ◆ Convertir en électron-volt, une énergie exprimée en joule et inversement. ◆ Appliquer la relation fondamentale de la dynamique au cas du mouvement d'un satellite. ◆ Distinguer entre une lumière monochromatique et une lumière polychromatique. ◆ Répartir les électrons d'un atome sur les niveaux d'énergie.