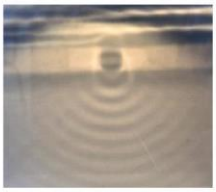
ONDES LUMINEUSES
DIFFRACTION – INTERFERENCES

8 Exploiter l'angle caractéristique de diffraction

| Effectuer des calculs.

On étudie la diffraction d'une onde à la surface de l'eau.



θ (rad)	0,50	0,82
λ (cm)		1,7
a (cm)	2,7	

• Recopier et compléter ce tableau.

Donnée

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

8 Exploiter l'angle caractéristique de diffraction

θ (10^{-3} rad)	0,50	0,82
λ (nm)	$1{,}3 \times 10^4$	1,7
a (cm)	2,7	$2{,}1 \times 10^{-4}$

7 Calculer un angle caractéristique de diffraction

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

En éclairant une ouverture de diamètre $d = 30$ µm à l'aide d'une radiation de longueur d'onde $\lambda = 532$ nm, on obtient sur un écran une figure de diffraction.

1. Schématiser le dispositif expérimental.

2. Calculer l'angle caractéristique de diffraction θ.

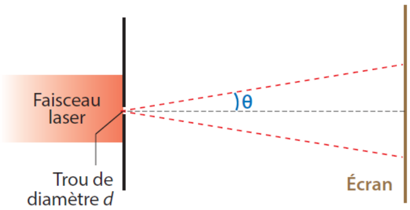
Utiliser le réflexe 1

Donnée

$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$.

7 Calculer un angle caractéristique de diffraction

1.



On obtient des anneaux de diffraction avec une tache centrale nettement plus lumineuse que les autres.

2. L'angle caractéristique de diffraction est :

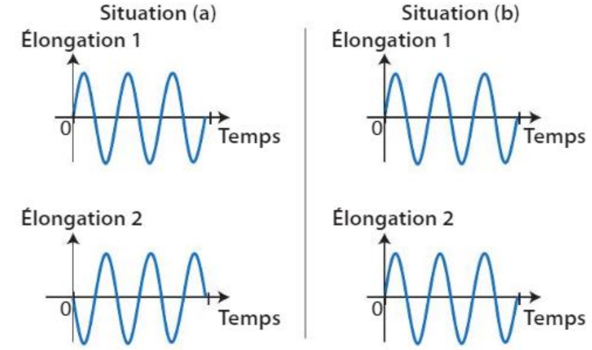
$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{a}$ d'où $\theta = 1{,}22 \times \frac{532 \times 10^{-9}\ \text{m}}{30 \times 10^{-6}\ \text{m}}$;

soit $\theta = 2{,}2 \times 10^{-2}$ rad.

12 Reconnaître des signaux en phase ou en opposition de phase

| Tracer un graphique.

Deux ondes se propagent depuis deux sources S_1 et S_2 pour se croiser en un point P. Deux situations possibles sont représentées ci-dessous.



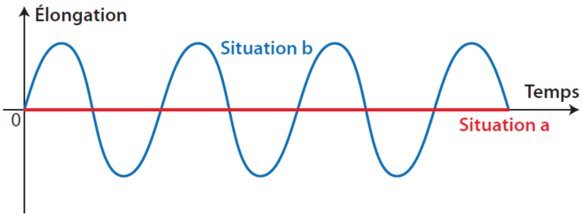
1. Dans quel cas les ondes sont-elles en opposition de phase au point P ? en phase ?

2. Dessiner, dans chacun des deux cas, l'élongation de l'onde résultante en fonction du temps.

12 Reconnaître des signaux en phase ou en opposition de phase

1. Les ondes sont en opposition de phase dans la situation (a) et en phase dans la situation (b).

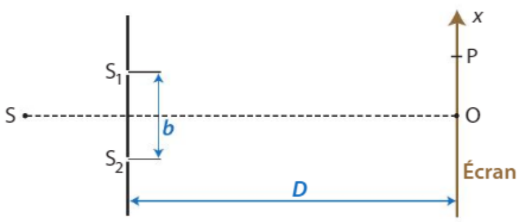
2. Les ondes résultantes dans chaque situation sont :



14 Déterminer la position des franges brillantes et des franges sombres

| Décrire des phénomènes.

On réalise, dans l'air, une expérience d'interférences avec un système de deux fentes d'Young éclairées par une source de radiation de longueur d'onde $\lambda_0 = 650$ nm. On observe la figure d'interférences sur un écran.



1. Qu'observe-t-on sur l'écran au point O ?

2. Les ondes arrivent en P avec une différence de chemin optique $\Delta L = 1{,}625$ µm. Qu'observe-t-on en P ?

14 Déterminer la position des franges brillantes et des franges sombres

1. Au point O, la différence de chemin optique est $\Delta L = 0$; on a donc une condition d'interférences constructives ($\Delta L = k \times \lambda_0$ avec $k = 0$). On observera donc une frange brillante.

2. Au point P, on a $\Delta L = 1{,}625$ µm.

On calcule $\dfrac{\Delta L}{\lambda_0} = \dfrac{1{,}625 \times 10^{-6}\text{ m}}{650 \times 10^{-9}\text{ m}}$ soit $\dfrac{\Delta L}{\lambda_0} = 2{,}5$, ce qui correspond à un nombre demi-entier.

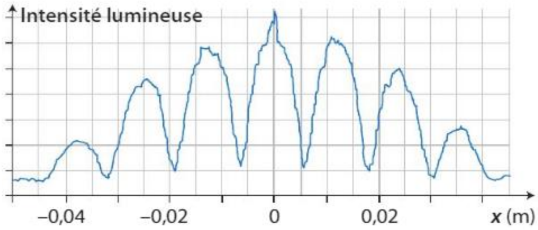
Donc $\Delta L = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) \times \lambda_0$ avec $k = 2$. Les interférences sont destructives et on observe une frange sombre.

---

16 Calculer un interfrange

| Exploiter un graphique.

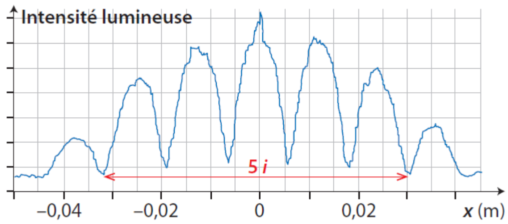
Une figure d'interférences est photographiée et analysée avec un logiciel de traitement d'images.



- Déterminer l'interfrange i.

16 Calculer un interfrange

On mesure sur la figure l'interfrange i.



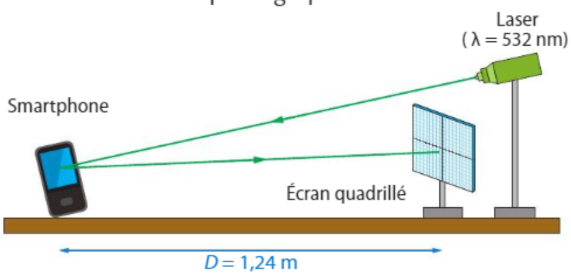
On a : $5\,i = (0{,}031\text{ m} - (-0{,}032\text{ m})) = 0{,}063$ m d'où $i = 13$ mm.

---

19 Mesure de la taille d'un pixel d'un écran de smartphone

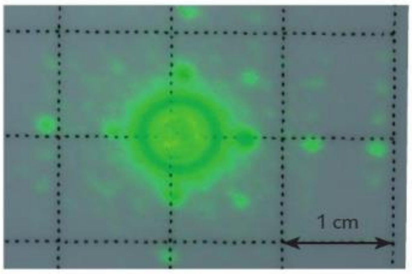
| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Lors d'une séance de travaux pratiques, un élève envoie un faisceau laser sur son smartphone éteint. Il voit apparaître sur l'écran situé à une distance D du smartphone plusieurs taches lumineuses. Il photographie l'écran.



Un écran de téléphone portable est constitué de pixels (points lumineux). Un phénomène de diffraction se produit lorsque le faisceau laser rencontre un obstacle suffisamment petit, le pixel, de taille a. Un pixel joue le même rôle qu'une ouverture de même taille lors de la diffraction.

L'interfrange i est donné par la relation : $i = \dfrac{\lambda \times D}{a}$.

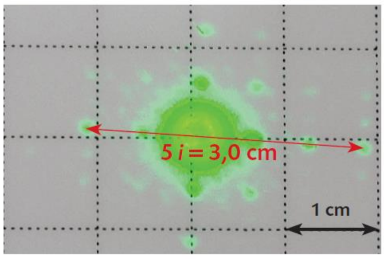


1. Mesurer l'interfrange i.

2. Calculer la largeur d'un pixel.

19 Mesure de la taille d'un pixel d'un écran de smartphone

1. L'interfrange i est obtenu à partir de la figure d'interférences :



On a : $5\,i = 3{,}0$ cm d'où $i = 0{,}60$ cm.

2. La largeur d'un pixel est $a = \dfrac{\lambda \times D}{i}$.

Donc $a = \dfrac{532 \times 10^{-9}\text{ m} \times 1{,}24\text{ m}}{0{,}60 \times 10^{-2}\text{ m}}$ soit $a = 1{,}1 \times 10^{-4}$ m. La largeur d'un pixel est environ 0,11 mm.

---

21 Connaître les critères de réussite

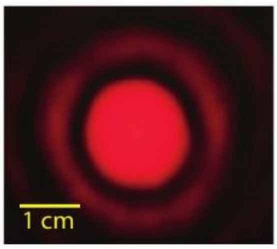
CORRIGÉ

Pointeur laser

| Procéder à des analogies ; effectuer des calculs.

On dispose d'un pointeur laser émettant, dans l'air, des radiations rouges de longueur d'onde λ_R.

On souhaite vérifier expérimentalement la longueur d'onde λ_R. Pour cela, on réalise un montage permettant d'obtenir une figure de diffraction à travers une ouverture circulaire de rayon $r = 0{,}20$ mm sur un écran placé à une distance $D = 5{,}0$ m. La figure obtenue est la suivante :



1. Schématiser le montage du dispositif expérimental.

2. En utilisant le schéma, exprimer la longueur d'onde λ_R en fonction de la distance D, du rayon r de l'ouverture et de la largeur ℓ de la tache centrale.

3. Calculer la longueur d'onde des radiations émises par la diode laser du pointeur rouge.

4. Dans les mêmes conditions, on utilise un laser émettant, dans l'air, des radiations de longueur d'onde $\lambda_V = 405$ nm. Comment la largeur de la tache centrale évolue-t-elle ?

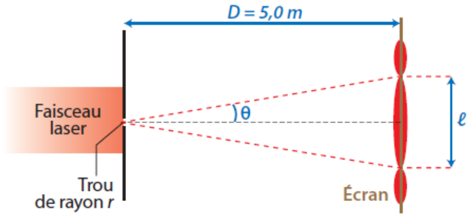
Donnée

L'angle θ étant petit et en radian, on a $\tan\theta = \theta$.

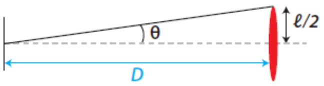
21 Connaître les critères de réussite

Pointeur laser

1.



2. L'expression de l'angle caractéristique θ s'obtient à partir de la tache centrale de largeur (diamètre) ℓ.



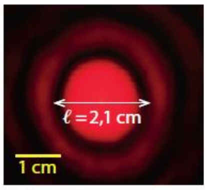
D'après le schéma, on a : $\tan\theta = \dfrac{\frac{\ell}{2}}{D} = \dfrac{\ell}{2D}$; pour de petits angles exprimés en radian, $\tan\theta = \theta$ d'où $\theta = \dfrac{\ell}{2D}$.

De plus, pour une ouverture circulaire de rayon r et une longueur d'onde λ_R, on a :

$$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda_R}{2r}.$$

On obtient alors $\dfrac{\ell}{2D} = 1{,}22 \times \dfrac{\lambda_R}{2r}$. L'expression de la longueur d'onde est $\lambda_R = \dfrac{r \times \ell}{1{,}22\ D}$.

3.



On relève à partir de l'échelle de la photographie : $\ell = 2{,}1$ cm.
La longueur d'onde des radiations émises par la diode laser est donc :

$$\lambda_R = \frac{0{,}20 \times 10^{-3}\ \text{m} \times 2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{m}}{1{,}22 \times 5{,}0\ \text{m}},\ \lambda_R = 6{,}9 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

soit $\lambda_R \approx 690$ nm.

4. La largeur de la tache centrale est donnée par la relation $\ell = 2{,}44 \times \dfrac{\lambda \times D}{2r}$. On a $\lambda_V < \lambda_R$ donc $\ell_V < \ell_R$. La largeur de la tache centrale sera plus petite avec un pointeur laser émettant des radiations de longueur d'onde λ_V.

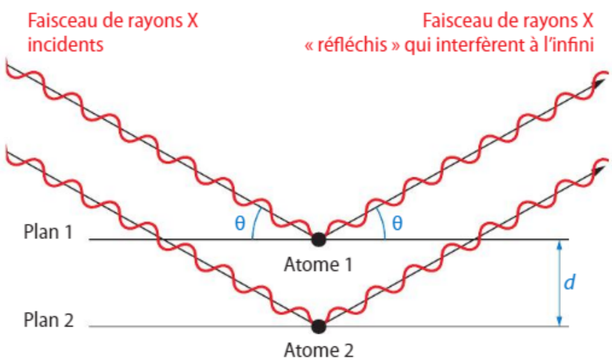
24 Rayons X et structure cristalline

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

D'après Baccalauréat Antilles-Guyane, 2016

Un cristal est constitué d'entités (atomes, ions ou molécules) qui s'agencent de manière ordonnée et régulière les unes par rapport aux autres.

Les rayons X, découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen (1845-1923), sont des ondes électromagnétiques utilisées notamment en cristallographie pour évaluer la distance d entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal.
Les atomes appartenant à ces plans parallèles diffractent les rayons X. Parmi les rayons diffractés, ceux qui peuvent interférer à l'infini sont ceux qui ont été déviés comme s'ils s'étaient réfléchis sur les plans contenant les atomes. On représente cette situation par le schéma simplifié suivant :



1. Écrire la condition pour que les interférences observées soient :

a. constructives ;

b. destructives.

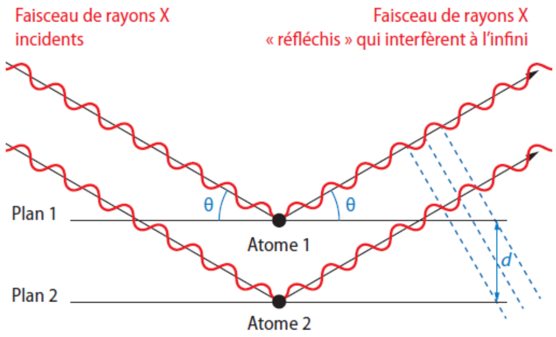
2. À partir du schéma ci-dessus, préciser si on obtient des interférences constructives ou destructives lorsque les ondes « réfléchies » par les atomes 1 et 2 se superposent et interfèrent.

3. La différence de chemin optique ΔL entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation : $\Delta L = 2d \times \sin\theta$ où d est la distance entre deux plans d'atomes voisins et θ l'angle entre le rayon et le plan.
Pour un angle $\theta = 10{,}4°$ et une longueur d'onde égale à 0,154 nm, déterminer la distance d dans le cristal étudié, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de chemin optique minimale.

24 Rayons X et structure cristalline

1. Les interférences sont constructives si les ondes qui se superposent sont en phase.
Les interférences sont destructives si les ondes qui se superposent sont en opposition de phase.

2. D'après le schéma, les ondes réfléchies par les atomes 1 et 2 sont en phase, donc les interférences seront constructives.



3. Pour des interférences constructives et une différence de chemin optique minimale, on a $\Delta L = \lambda_0$. Cette différence est obtenue pour $k = 1$.
La distance d entre deux plans d'atomes 1 et 2 voisins dans un cristal est donnée par la relation :

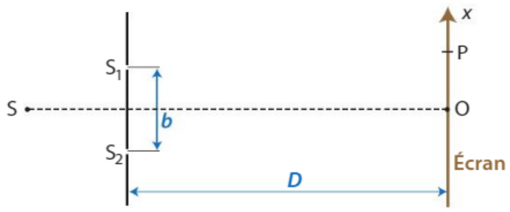
$$d = \frac{\Delta L}{2\times\sin\theta} \text{ soit } d = \frac{\lambda_0}{2\times\sin\theta}.$$

Donc $d = \dfrac{0{,}154\times10^{-9}\,\text{m}}{2\times\sin(10{,}4\,°)} = 4{,}27\times10^{-10}$ m soit $d = 0{,}427$ nm.

26 Interfrange et longueur d'onde

CORRIGÉ | **Effectuer des calculs ; estimer une incertitude de mesure.**

Une source de lumière monochromatique de longueur d'onde λ_0 éclaire deux fentes étroites S_1 et S_2, distantes de b. On a $SS_1 = SS_2$.



Le point P, d'abscisse x_k, est un point de l'écran proche de O. Cet écran est suffisamment éloigné des sources pour que $D \gg b$ et $D \gg x_k$.
Dans l'air, la différence de chemin optique ΔL des rayons issus de S_1 et S_2 est donnée par : $\Delta L = \dfrac{b\times x_k}{D}$.

1. Pour quelles valeurs de ΔL observe-t-on :
a. une frange brillante au point P ?
b. une frange sombre au point P ?

2. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ_0, b et D.

3. Calculer la longueur d'onde λ_0 de la radiation émise par le laser étudié et évaluer son incertitude à partir des mesures expérimentales.

4. En déduire un encadrement de la longueur d'onde λ_0.

Données
- Interfrange : $i = (6{,}0 \pm 0{,}1)$ mm.
- Distance fentes-écran : $D = (2{,}00 \pm 0{,}01)$ m.
- Distance entre les fentes : $b = (0{,}20 + 0{,}01)$ mm.
- Incertitude-type sur la mesure de la longueur d'onde λ_0 :

$$u(\lambda_0) = \lambda_0 \times \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

26 Interfrange et longueur d'onde

1. a. On observe une frange brillante au point P si $\Delta L = k\times\lambda_0$ où k est un entier relatif.

b. On observe une frange sombre au point P si $\Delta L = \left(k+\frac{1}{2}\right)\times\lambda_0$.

2. L'interfrange i est la différence entre les abscisses consécutives x_k et x_{k+1} de deux points pour lesquels on observe des interférences de même type :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1}\times D}{b} - \frac{\Delta L_k\times D}{b}.$$

Prenons une frange brillante de rang k, on a $\Delta L_k = k\times\lambda_0$; pour une frange brillante de rang $k+1$, on a $\Delta L_{k+1} = (k+1)\times\lambda_0$.

Il vient alors $i = \dfrac{(k+1)\times\lambda_0\times D}{b} - \dfrac{k\times\lambda_0\times D}{b}$ soit $i = \dfrac{\lambda_0\times D}{b}$.

3. La longueur d'onde λ_0 de la radiation émise par le laser est :

$$\lambda_0 = \frac{i\times b}{D}$$

$$\lambda_0 = \frac{6{,}0\times10^{-3}\,\text{m}\times0{,}20\times10^{-3}\,\text{m}}{2{,}00\,\text{m}}$$

$\lambda_0 = 6{,}0\times10^{-7}$ m soit $\lambda = 600$ nm.

L'incertitude-type sur la longueur d'onde est :

$$u(\lambda_0) = \lambda_0\times\sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}.$$

$$u(\lambda_0) = 6{,}0\times10^{-7}\,\text{m}\times\sqrt{\left(\frac{0{,}1\,\text{mm}}{6{,}0\,\text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01\,\text{mm}}{0{,}20\,\text{mm}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01\,\text{m}}{2{,}00\,\text{m}}\right)^2}$$

$u(\lambda_0) = 4\times10^{-8}$ m.

4. L'encadrement de la longueur d'onde est :
$5{,}6\times10^{-7}\,\text{m} < \lambda_0 < 6{,}4\times10^{-7}\,\text{m}$.

29 Observation d'une exoplanète

CORRIGÉ — 20 min

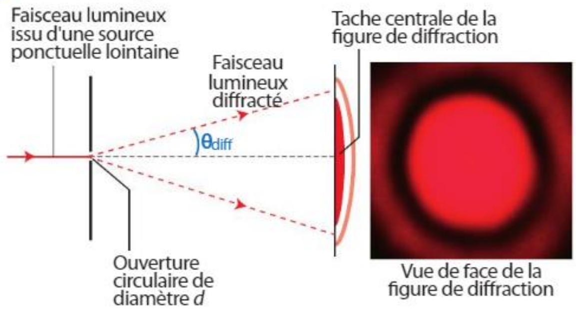
| **Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.**

D'après Baccalauréat Antilles-Guyane, 2017

Document PDF

Les exoplanètes (planètes situées en dehors du système solaire) sont difficiles à détecter de par leur éloignement et leur manque de luminosité par rapport aux étoiles autour desquelles elles tournent.
Actuellement, l'observation de détails avec un télescope terrestre est principalement limitée par le phénomène de diffraction lié à l'ouverture circulaire d du télescope.
La première exoplanète dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge s'appelle 2M1207b. Cette exoplanète orbite à une distance estimée à 55 unités astronomiques (ua) autour de l'étoile 2M1207a, située elle-même à 230 années-lumière (al) de la Terre.

A **Diffraction par une ouverture circulaire**



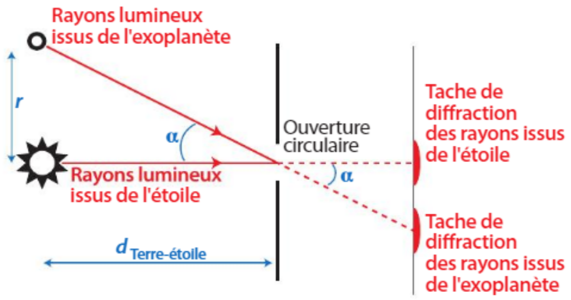
Dans le cas d'une ouverture circulaire, on admet que l'angle caractéristique de diffraction θ_{diff} (en radian) vérifie la relation :

$$\theta_{diff} = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$$

où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et d le diamètre de l'ouverture.

B **Écart angulaire et diffraction**

Des rayons lumineux issus d'un couple étoile-planète et passant par l'ouverture circulaire d'un télescope terrestre sont représentés sur le schéma ci-dessous.



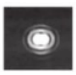
α est l'écart angulaire entre l'étoile et la planète, c'est-à-dire l'angle séparant l'étoile de la planète vues depuis la Terre.

Il est petit et se calcule par : $\alpha = \tan\alpha = \dfrac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$ avec r la distance planète-étoile et $d_{\text{Terre-étoile}}$ la distance Terre-étoile.

C **Critère de Rayleigh pour distinguer deux objets**

Un télescope permet de distinguer deux objets à condition que l'écart angulaire α entre ces deux objets soit supérieur ou égal à l'angle de diffraction θ_{diff}.

$\alpha > \theta_{diff}$
On peut distinguer les deux objets.



$\alpha = \theta_{diff}$

$\alpha < \theta_{diff}$
On ne peut pas distinguer les deux objets.

1. À quelle condition l'étoile et la planète seront-elles vues séparément ?

2. Déterminer le diamètre D du télescope terrestre permettant de distinguer la planète 2M1207b de l'étoile 2M1207a sachant que la longueur d'onde des rayons lumineux provenant des deux objets célestes est $\lambda = 2{,}0\ \mu\text{m}$.

Utiliser le réflexe 1

Document PDF

Coup de pouce QR Code p. 374

Données

- Unité astronomique : 1 ua $= 1{,}496 \times 10^{11}$ m.
- Année-lumière : 1 al $= 9{,}461 \times 10^{15}$ m.

29 CORRIGÉ Observation d'une exoplanète

1. Pour observer séparément l'étoile et la planète, il faut que les deux taches de diffraction ne se recouvrent pas ; pour cela l'écart angulaire α doit être supérieur à l'angle caractéristique de diffraction θ_{diff}.

2. Pour distinguer la planète 2M1207b de l'étoile 2M1207a, il faut que $\alpha > \theta_{diff}$ d'où :

$$\frac{r}{d_{\text{Terre–étoile}}} > 1{,}22 \times \frac{\lambda}{D} \text{ soit } D > \frac{1{,}22 \times \lambda \times d_{\text{Terre-étoile}}}{r}.$$

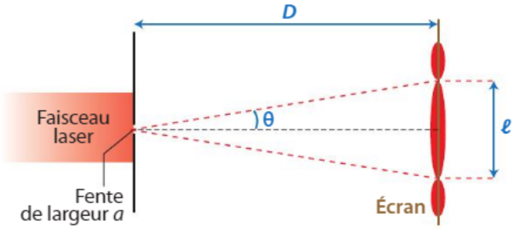
On obtient $D > \dfrac{1{,}22 \times 2{,}0 \times 10^{-6}\,\text{m} \times 230 \times 9{,}461 \times 10^{15}\,\text{m}}{55 \times 1{,}496 \times 10^{11}\,\text{m}}$.

Soit $D > 0{,}65$ m. Le diamètre D de l'ouverture du télescope doit être supérieur à 0,65 m.

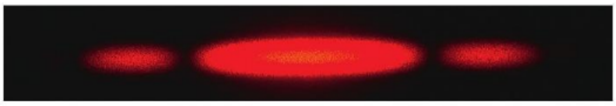
Préparation à l'ECE

On éclaire, dans l'air, une fente de largeur a à l'aide d'un faisceau laser émettant une radiation de longueur d'onde λ.

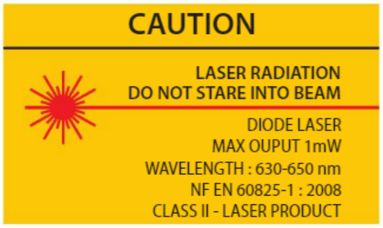
A Dispositif de l'expérience



B Figure observée



C Donnée du constructeur



1. CON Comment se nomme le phénomène observé ?

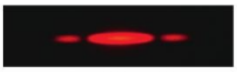
2. RÉA L'angle θ étant petit, on a la relation $\tan\theta = \theta$ avec θ en radian. Montrer que la longueur d'onde peut s'écrire sous la forme : $\lambda = \dfrac{\ell \times a}{2 \times D}$.

3. a. RÉA Déterminer la longueur d'onde λ ainsi que son incertitude-type à partir des mesures expérimentales.

b. VAL En déduire un encadrement de la valeur expérimentale de la longueur d'onde λ.

c. VAL Conclure en comparant la valeur trouvée à celle donnée par le constructeur.

4. ANA-RAIS Un élève souhaite observer l'influence de la largeur de la fente sur la tache centrale. Il utilise une fente de largeur différente (b) de celle étudiée précédemment (a).

(a)  (b) 

Les deux figures étant reproduites à la même échelle, comparer la largeur des deux fentes.

Données

- Largeur de la première fente utilisée : $a = (60{,}0 \pm 0{,}1)$ µm.
- Distance fente-écran : $D = (2{,}0 \pm 0{,}1)$ m.
- Largeur de la tache centrale : $\ell = (4{,}2 \pm 0{,}1)$ cm.
- Incertitude-type sur la mesure de la longueur d'onde :

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

Préparation à l'ECE

1. Ce phénomène est le phénomène de diffraction.

2. D'après le schéma, on a : $\tan\theta = \dfrac{\ell}{2 \times D}$. De plus, comme l'angle θ est petit, $\tan\theta = \theta$ (en radian) d'où $\theta = \dfrac{\ell}{2 \times D}$.

L'angle θ étant petit, on a aussi $\sin\theta = \theta$ (en radian) et donc $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

On peut écrire alors $\dfrac{\ell}{2 \times D} = \dfrac{\lambda}{a}$ d'où $\lambda = \dfrac{\ell \times a}{2 \times D}$.

3. a. La longueur d'onde λ de la radiation émise par le laser est :

$$\lambda = \frac{4{,}2 \times 10^{-2}\ \text{m} \times 60{,}0 \times 10^{-6}\ \text{m}}{2 \times 2{,}00\ \text{m}} = 6{,}3 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

soit environ 630 nm.

L'incertitude-type sur la longueur d'onde est :

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

$$u(\lambda) = 630 \times 10^{-9}\ \text{m} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1\ \mu\text{m}}{60{,}0\ \mu\text{m}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1\ \text{cm}}{4{,}2\ \text{cm}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1\ \text{m}}{2{,}0\ \text{m}}\right)^2}$$

$u(\lambda) = 4 \times 10^{-8}$ m en arrondissant par excès.

b. L'encadrement de la longueur d'onde est :
$5{,}9 \times 10^{-7}\ \text{m} < \lambda < 6{,}7 \times 10^{-7}\ \text{m}$.

c. L'indication du constructeur pour la longueur d'onde est 630 à 650 nm ; l'encadrement obtenu est compatible avec celui du constructeur.

4. La largeur ℓ de la tache centrale de diffraction diminue lorsque la largeur a de la fente augmente puisque : $\ell = \dfrac{2 \times \lambda \times D}{a}$. La largeur de la fente (b) est donc plus grande que celle de la fente (a).