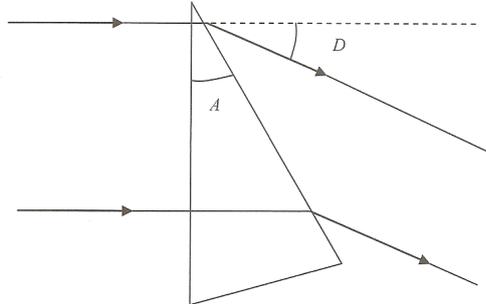


## 1 Théorème de Malus

- Définir une surface d'onde et énoncer le théorème de Malus en optique ondulatoire.
- On considère un prisme d'indice  $n$  et d'angle au sommet  $A$ . Il est éclairé par une onde plane.



- A l'aide de la troisième loi de Descartes, établir l'équation liant  $A$  et  $D$ .
- Retrouver ce résultat par l'application du théorème de Malus.

## 2 Diffraction

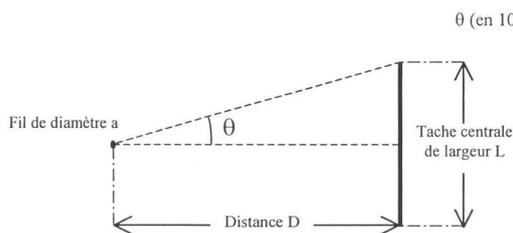
On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ .

À quelques centimètres du laser, on place successivement des fils verticaux de diamètres connus. On désigne par  $a$  le diamètre d'un fil.

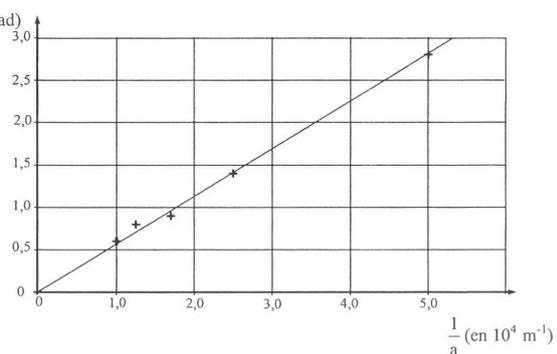
La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance  $D = 1,60$  m des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur  $L$  de la tache centrale.

À partir de ces mesures et des données, il est possible de calculer l'écart angulaire  $\theta$  du faisceau diffracté (voir figure 1 ci-après). L'angle  $\theta$  étant petit,  $\theta$  étant exprimé en radian, on a les relations :  $\tan(\theta) \sim \theta$  et  $\sin(\theta) \sim \theta$ .

**Figure 1**  
(Vue du dessus)



**Figure 2**



- Donner la relation entre  $L$  et  $D$  qui a permis de calculer  $\theta$  pour chacun des fils.
- Donner la relation liant  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ . Simplifier la relation sachant que  $\theta$  est petit. Préciser les unités de  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ .
- On trace la courbe  $\theta = f(\frac{1}{a})$ . Celle-ci est donnée sur la figure 2 ci-dessus. Montrer que la courbe obtenue est en accord avec l'expression de  $\theta$  donnée à la question précédente.
- En déduire la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière monochromatique utilisée.
- Si l'on envisageait de réaliser la même étude expérimentale en utilisant une lumière blanche, on observerait des couleurs, appelées irrisations. Comment l'expliquer ?

### 3 Ondes ultrasonores : déphasages

Dans cet exercice, on étudie des ondes ultrasonores sinusoïdales à la fréquence  $f = 40,0$  kHz, telles qu'on peut en produire au laboratoire. La célérité des ondes sonores dans l'air est égale à  $c = 345$  m.s<sup>-1</sup>. L'expérience est réalisée à la paillasse prof.

1. Calculer la longueur d'onde  $\lambda$ , la pulsation  $\omega$  et la période temporelle  $T$  de ces ondes.

#### 1 émetteur et 1 récepteur

L'émetteur se situe en  $x = 0$ , et le récepteur en  $x$  quelconque. L'émetteur est la référence de phase : le signal émis en  $x = 0$  est de la forme  $p(0, t) = A_0 \cos(\omega t)$ . Le signal reçu par le récepteur est  $p(x, t) = A(x) \cos(\omega t + \phi(x))$ , où  $\phi(x)$  est le déphasage entre le signal reçu et le signal émis que l'on cherche à exprimer, et  $A(x)$  l'amplitude du signal reçu ( qui décroît avec  $x$  ).

2. Faire un schéma de l'expérience. Exprimer le temps de propagation  $\Delta t$  de l'onde entre l'émetteur et le récepteur.

Le signal reçu est donc  $p(x, t) = A(x) \cos(\omega(t - \Delta t))$

3. Justifier le signe  $-$ , et montrer que  $\phi(x) = -kx$ , avec  $k$  une constante appelée nombre d'onde, à exprimer en fonction de  $\omega$  et  $c$ , puis en fonction de  $\lambda$ . Faire l'application numérique pour  $k$ .
4. Montrer que le signal émis et le signal reçu sont en phase lorsque le récepteur se situe en  $x = x_p = p\lambda$  où  $p$  est un nombre entier.

#### 1 émetteur et 2 récepteurs

On place un deuxième récepteur sur le montage. La distance entre les deux récepteurs est  $d = 10,0$  cm. On mesure à l'oscilloscope les signaux reçus par les deux récepteurs.

5. Calculer la valeur absolue du déphasage entre les deux signaux. Comparer à la mesure réalisée à l'oscilloscope.

#### 2 émetteurs et 1 récepteur

On utilise à présent deux émetteurs, alimentés par le même générateur. Le premier est en  $x = 0$  et le second est en  $x = 6,0$  cm. Par ailleurs, on a inversé le branchement des fils rouge et noir sur le second émetteur, ce qui le déphase de  $\pi$ . Le récepteur est situé en  $x = 20,0$  cm.

6. Calculer la valeur absolue du déphasage entre les deux signaux lorsqu'ils arrivent au récepteur. Les signaux sont-ils plutôt en phase ou en opposition de phase ? Qu'observe-t-on pour le signal reçu à l'oscilloscope par le récepteur ?

# 4 Photons

## Rappels

- L'énergie d'un photon d'une onde lumineuse à la fréquence  $\nu$  est  $E = h\nu$ , avec  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s la constante de Planck.
- Célérité de la lumière dans le vide  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.
- Lorsqu'un atome se désexcite, son électron passe d'un niveau d'énergie supérieur  $E_2$  à un niveau d'énergie inférieur  $E_1$ . L'atome émet alors un photon d'énergie  $E_2 - E_1$ .

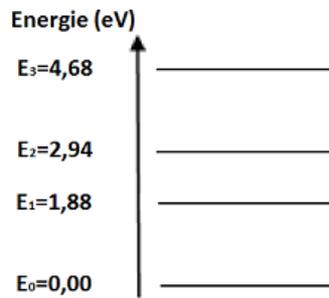
### 4.1 Exemples de sources lumineuses

Pour chacune des sources suivantes, calculez l'énergie de chaque photon émis ainsi que le nombre de photons émis par seconde. On exprimera l'énergie en électron-Volt (1eV=1,6.10<sup>-19</sup>J).

1. Un tube à rayons X émet une radiation de longueur d'onde  $\lambda_X = 0,50$  nm avec une puissance  $P_X = 0,20$  W.
2. Un émetteur de radio irradie avec une puissance  $P_r = 1,2$  kW sous une fréquence  $\nu_r = 1,5 \cdot 10^5$  Hz.
3. Une lampe au sodium émet une lumière jaune de longueur d'onde  $\lambda_s = 590$  nm avec une puissance  $P_s = 40$  W.

### 4.2 Niveaux d'énergie du calcium (CCINP 2023)

On donne les niveaux d'énergie de l'ion calcium  $Ca^+$ .



1. Justifier le fait que deux atomes (ou ions) différents ne donnent pas le même spectre d'émission. On expliquera notamment la notion de niveaux d'énergie quantifiés grâce au diagramme représentant les niveaux d'énergie de l'ion  $Ca^+$ .

Ci-dessous les longueurs d'onde en nm des raies d'émission de l'ion  $Ca^+$ .

Longueur d'onde (nm)	394	397	423	443	444	446
----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2. À quelle transition énergétique correspond, pour l'ion  $Ca^+$ , la raie de longueur d'onde 423 nm. On justifiera précisément la réponse.