

## Fiche

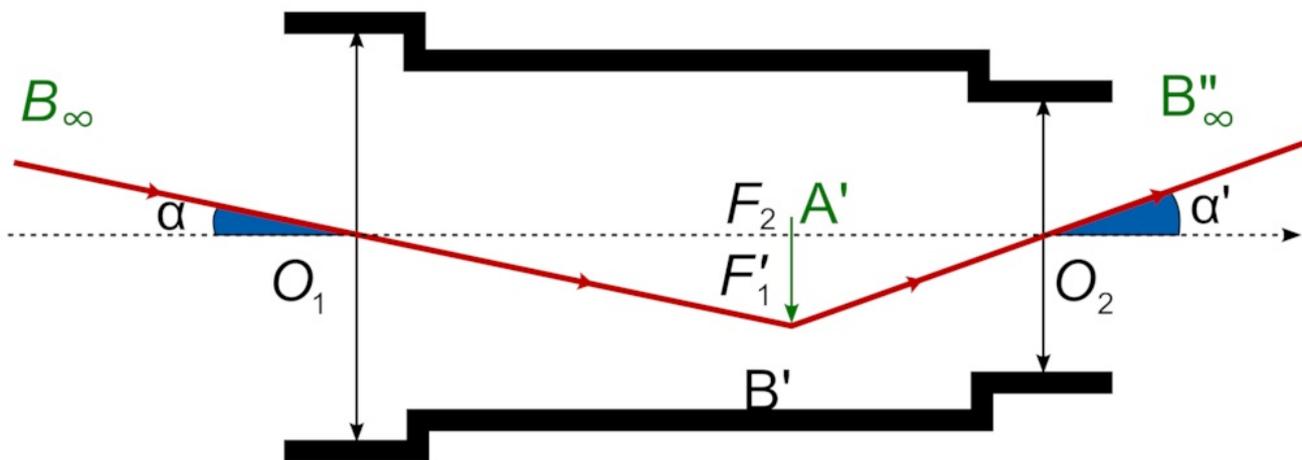
La lumière a été modélisée de nombreuses façons différentes à travers l'histoire, afin de comprendre son comportement. Ici, nous allons aborder deux d'entre elles. D'un côté, nous allons continuer à étudier le modèle du rayon lumineux vu en classe de première par l'étude des images formées par la lunette astronomique, un dispositif associant deux lentilles convergentes. De l'autre, la description de l'effet photoélectrique permettra d'introduire l'aspect corpusculaire de la lumière.

### I. Comment former des images avec une lunette astronomique ?

La **lunette astronomique** est un instrument optique permettant d'observer des objets lointains. Elle est très utilisée pour observer les astres. Elle est composée de deux **lentilles convergentes** :

- la **lentille objectif**, en entrée de la lunette, qui capte la lumière de l'objet observé pour obtenir l'image à son foyer ;
- la **lentille oculaire**, en sortie de la lunette, qui projette l'image de l'objet à l'infini.

Une lunette astronomique permet d'observer des objets très lointains. On les dit « à l'infini ». Le diamètre [AB] de l'astre observé est perpendiculaire à l'axe optique.



L'objectif permet d'obtenir l'image  $A'B'$  de l'objet observé à partir de la lumière qu'il capte de cet objet. L'image  $A'B'$  sera d'autant plus grande que la focale est grande. L'angle que va pouvoir capter l'objectif (angle de champ) sera d'autant plus petit que la focale est grande.

L'oculaire permet, à la manière d'une loupe, de grossir l'image intermédiaire  $A'B'$  et de la projeter à l'infini, pour rendre son observation plus simple par l'œil. En effet, pour les objets à l'infini, nos yeux n'ont pas à faire d'accommodation, ce qui rend leur observation moins fatigante. L'image finale  $A''B''$  sera d'autant plus grande que la focale oculaire est petite.

On définit le grossissement  $G$  de la façon suivante :  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ . Les angles  $\alpha'$  et  $\alpha$  correspondent aux **diamètres apparents** des objets  $AB$  et  $A'B'$ . On appelle diamètre apparent l'angle formé par les droites reliant l'observateur et les extrémités de l'objet observé. Il caractérise le grossissement de l'objet observé par la lunette astronomique. Par définition de la tangente dans les triangles  $O_1A'B'$  et  $O_2B''A''$ , on a :  $\tan \alpha = \frac{A'B'}{f_1'}$  et  $\tan \alpha' = \frac{A'B'}{f_2'}$ , avec  $f_1'$  et  $f_2'$  les distances focales de l'objectif et de l'oculaire. Si l'on suppose les angles  $\alpha$  et  $\alpha'$  petits, on a :  $\alpha \approx \tan \alpha = \frac{A'B'}{f_1'}$  et  $\alpha' \approx \tan \alpha' = \frac{A'B'}{f_2'}$  donc  $G \approx \frac{f_1'}{f_2'}$ . Le grossissement traduit bien ce que l'on a vu précédemment : il est proportionnel à la distance focale de l'objectif, et inversement proportionnel à celle de l'oculaire.

### II. Comment décrire la lumière par un flux de photons ?

Pour expliquer d'autres types de phénomènes physiques comme l'effet photoélectrique, il faut considérer la lumière comme un assemblage de petits grains appelés photons.

Dès 1900, Max Planck postule que l'énergie ne peut s'échanger que par « paquets », ou quanta. À une onde électromagnétique monochromatique de fréquence  $\nu$ , il associe un quantum d'énergie de valeur  $E = h \times \nu$ , où  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  est la constante de Planck.

En 1905, Albert Einstein postule que ces quanta d'énergie sont portés par des particules de masse nulle qu'il appelle photons. Chaque

photon possède donc une énergie, qui s'écrit  $E = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$ , où  $\nu$  est la fréquence de l'onde monochromatique associée (en Hz),  $\lambda$  sa longueur d'onde (en m) et  $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , la célérité de la lumière.

L'aspect corpusculaire de la lumière est observable lorsqu'elle interagit avec une autre source lumineuse. En effet, les échanges d'énergie sont **quantifiés**. L'interaction matière-rayonnement met également en évidence l'aspect nivelé de l'énergie de la matière. On observe ce comportement grâce à l'effet photoélectrique, par exemple.

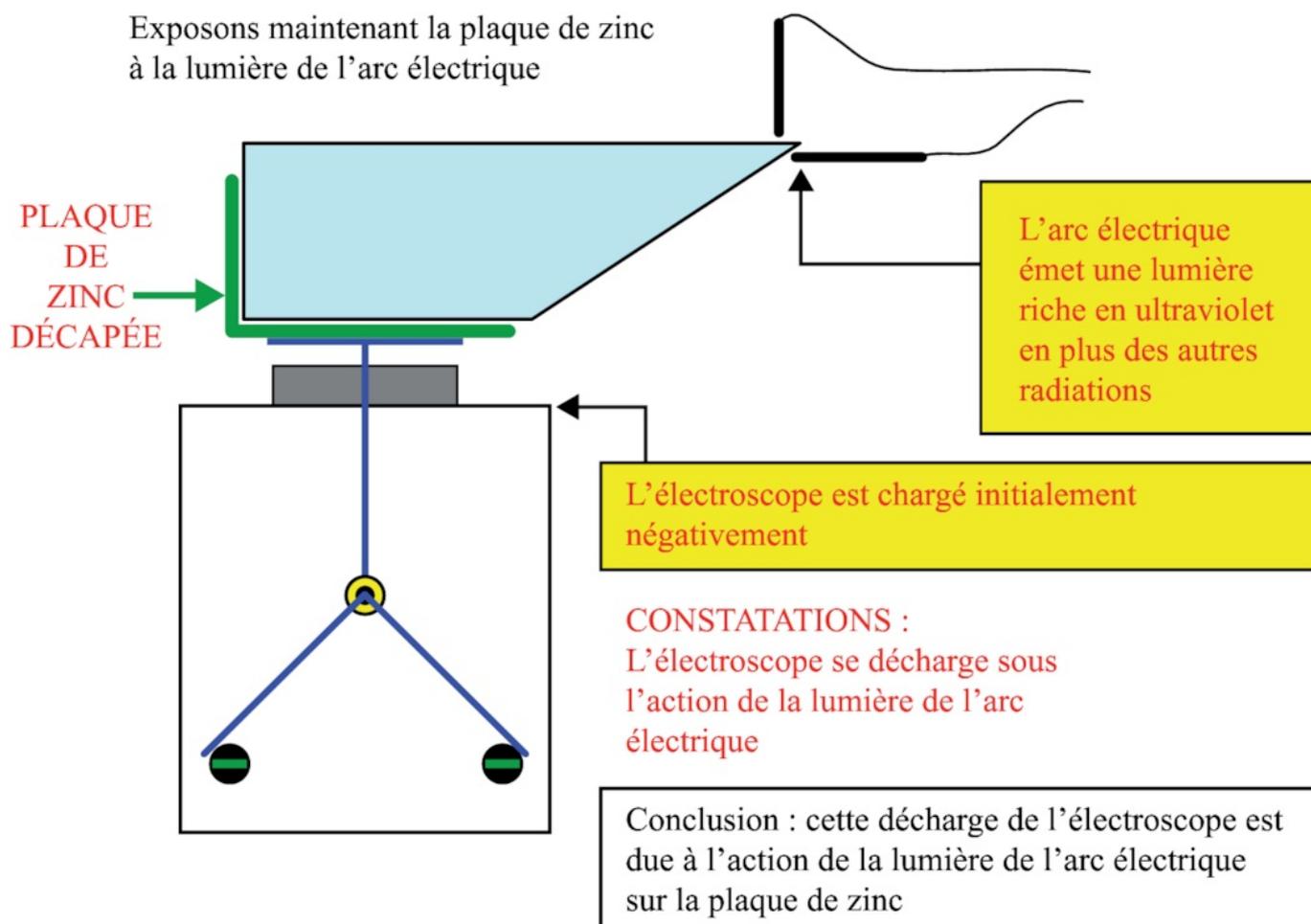
Ainsi, les niveaux d'énergie des électrons des atomes ne peuvent prendre que des valeurs bien précises. On dit qu'ils sont **quantifiés**. L'état de l'électron d'un atome dont le niveau d'énergie est le plus bas est appelé **état fondamental**. Les autres sont appelés **états excités**.

Lors de l'interaction entre un photon et un atome, on distingue trois types de transition électronique :

- **l'absorption (stimulée)** : un photon qui a exactement la bonne énergie est envoyé sur l'électron d'un atome ; ce dernier absorbe le photon et emmagasine ainsi son énergie, ce qui lui permet d'aller au niveau supérieur (niveau  $E_2$ ) à partir du niveau inférieur (niveau  $E_1$ ). L'énergie du photon sera :  $E_{\text{photon}} = E_2 - E_1 = h \times \nu$ . L'électron est alors excité.
- **l'émission spontanée** : un électron excité peut perdre spontanément son état d'excitation en émettant un photon (qui aura exactement la même énergie que celle de l'absorption stimulée) pour retrouver son état d'énergie inférieur, avec  $E_{\text{photon}} = E_2 - E_1 = h \times \nu$ . Dans ce cas, le photon est émis dans une direction aléatoire.
- **l'émission stimulée** : un photon qui a exactement la même énergie que celle de l'absorption stimulée est émis vers un électron excité. L'électron, « stimulé » par le photon incident, libère un deuxième photon identique au premier et retombe dans son état d'énergie inférieur. Le photon émis possède la même fréquence, la même direction, la même phase et la même polarité que le photon incident : on dit qu'ils sont dans le même état.

### III. Qu'est-ce que l'effet photoélectrique ?

Lorsque l'on éclaire un électroscope préalablement chargé négativement avec une lumière ultra-violette, l'électroscope se décharge. Donc, **la lumière**, éclairant la plaque de zinc, permet d'**extraire des électrons du métal** : c'est l'effet photoélectrique.



Les **photons** de la source lumineuse ont une énergie qui est fonction de la fréquence de la lumière. Lorsqu'un électron du métal (ici le zinc) absorbe un photon ayant une énergie suffisante, l'électron est éjecté. Sinon, le photon passe au travers, et il n'y a pas de **transfert d'énergie**. Par conséquent, l'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau, généralement métallique,

lorsqu'il est exposé à la lumière ou à un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisamment élevée (qui dépend du matériau). Ce phénomène ne peut s'interpréter qu'avec le **modèle corpusculaire de la lumière**. L'interaction photon-matière est utilisée dans de nombreux domaines de la vie courante : éclairage LED, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et infrarouge, lasers, etc.

 [Exercice n°1](#)

 [Exercice n°2](#)

 [Exercice n°3](#)

## Notions-clés

### Lentille

Une lentille est un milieu transparent limité par deux calottes sphériques. La lentille est dite mince quand son épaisseur est très petite comparée aux rayons de courbure des calottes. On distingue les lentilles à bord mince (lentilles convergentes) et les lentilles à bord épais (lentilles divergentes).

### Axe principal d'une lentille

C'est la droite passant par le centre de la lentille et perpendiculaire à la surface plane.

### Représentation d'une lentille mince

Dans le cadre du modèle des lentilles minces, celles-ci sont représentées par une double flèche de part et d'autre d'un point O appelé centre optique de la lentille.

### Diamètre apparent

En général, la taille apparente  $\alpha$  d'un objet est l'angle sous lequel les extrémités de l'objet sont observées. Dans le cas d'une lunette astronomique, on appelle diamètre apparent l'angle formé par les droites reliant l'observateur et les extrémités de l'objet observé.

### Grossissement d'une lunette astronomique

On observe un objet AB (un astre) grâce à une lunette astronomique. Son image est A'B'. Soient  $\alpha$  et  $\alpha'$  les diamètres apparents des objets AB et A'B' et  $f_1'$  et  $f_2'$  les distances focales de l'objectif et de l'oculaire. Le grossissement  $G$  de l'objet AB observé par la lunette astronomique est :  $G = \frac{\alpha'}{\alpha} \approx \frac{f_1'}{f_2'}$ .

### Photon

Particule élémentaire de masse et de charge nulle, constituant la lumière.

### Modèle ondulatoire de la lumière

Grâce à l'observation de la diffraction et des interférences, la lumière est décrite comme une onde pour des obstacles dont les dimensions sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du rayonnement.

## Zoom sur...

### Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques utilisent l'effet photoélectrique pour convertir l'énergie provenant de la lumière du Soleil en électricité. En effet, elles sont constituées de matériaux appelés semi-conducteurs.

Ce type de matériaux permet, lorsque les électrons des atomes qui le composent reçoivent une énergie suffisante pour passer à l'état excité, de les faire circuler. Cela crée une différence de potentiel électrique au sein du matériau, et donc produit de l'électricité. Cependant, une partie de l'énergie reçue par le panneau photovoltaïque est perdue. Cela arrive notamment lorsqu'un photon a plus d'énergie que nécessaire pour exciter un électron. Cette énergie supplémentaire se dissipe alors sous forme de chaleur. Les photons pas assez énergétiques traversent quant à eux le matériau sans échanger d'énergie.

Ainsi, on peut définir le rendement d'une cellule photovoltaïque par la relation suivante :

$$r = \frac{\text{puissance électrique, délivrée, par, la, cellule}}{\text{puissance, lumineuse, reçue, par, la, cellule}}$$