

OPTIQUE

3

QU'EST-CE QU'UNE ANNÉE-LUMIÈRE ?



Les dimensions de l'Univers étant extrêmement grandes, on a recours à des unités de mesure plus adaptées que celles dont on fait usage pour mesurer des dimensions courantes sur Terre. L'année-lumière est l'une des unités de mesure de distance créées pour ce besoin.

L'année-lumière est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une durée d'une année.

La vitesse de la lumière étant une très grande vitesse, la distance qu'elle parcourt est donc elle aussi très grande, surtout pendant une durée d'une année.

- La vitesse de la lumière dans le vide étant de $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, et la durée d'une année étant de $\Delta t = 365,25 \text{ jours}$, en vertu de la définition de la vitesse, on en déduit que la valeur d'une année lumière est $1 \text{ a.l.} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$.
- La lumière est prise comme référence car en prenant comme unité de mesure de distance la distance qu'elle parcourt pendant une certaine durée, on peut en déduire aisément le retard entre l'état d'un astre tel qu'il est aperçu depuis le Terre à une certaine date, et l'état de cet astre à cette même date.
- ex.** Par exemple, une étoile située à une distance de mille années-lumière de la Terre, est aperçue sur Terre telle qu'elle était mille années auparavant.
- L'année-lumière est donc utilisée pour quantifier des distances telles que celles qui séparent des étoiles ou des galaxies entre elles. La taille de l'Univers est estimée à environ de 13 milliards d'année-lumière.



TOP CHRONO

C'est l'interro !

1. Remonter le temps (5 pts)



En 2016, un voyageur se déplace dans l'espace en regardant la Terre à l'aide d'une lunette qui lui permet de voir en détail les événements à l'échelle humaine.

- Que verrait-il à Paris s'il est situé à une distance de 227 années-lumière ?
- Quelle condition devrait-il pouvoir vérifier pour remonter le temps, c'est-à-dire pour voir les événements qui ont précédés celui de la question précédente ?

2. Retard dans l'observation (8 pts)



- Quel est le retard avec lequel on observe le Soleil depuis la Terre sachant que la distance qui les sépare est $TS = 150$ millions de kilomètres ?
Même question pour la Lune située à $TL = 384\,000$ km.
- Quel est le retard avec lequel est perçu un événement situé à $D = 1,00$ km ? $d = 1,00$ m ?

3. Âge de l'univers (10 pts)



Les observatoires astronomiques disposent de télescopes pouvant observer des objets situés à plusieurs milliards d'années-lumière.

- Pourquoi dit-on que les objets lointains nous renseignent sur les débuts de l'Univers ?
- Le parsec est une unité de mesure utilisée en astronomie pour exprimer les très grandes distances. C'est la distance depuis laquelle une unité astronomique est perçue sous un diamètre apparent d'une seconde d'angle. Quelle est la valeur d'un parsec en km, puis en année-lumière ?

4

COMMENT DÉCOMPOSER UNE LUMIÈRE ?



Une lumière peut être monochromatique ou polychromatique. Dans le premier cas, elle est composée d'un seul type de radiations (une seule couleur), dans le second, de plusieurs. Se peut-il alors qu'on puisse décomposer une lumière polychromatique et si oui comment ? Il existe deux façons de décomposer une lumière, soit par diffraction, soit par dispersion. La diffraction est étudiée en classe de terminale et la dispersion en classe de seconde.

On dit qu'il y a décomposition de la lumière par dispersion si le changement de direction de propagation d'un rayon de lumière au passage d'un dioptre dépend de sa fréquence (ou de sa longueur d'onde dans le vide). Chaque couleur se propage dans une direction qui lui est propre.

Pour pouvoir décomposer la lumière par dispersion, il faut donc combiner le processus de dispersion avec celui de réfraction.

ex. Un prisme est un système dispersif simple permettant de décomposer la lumière blanche.

- Par définition, on dit qu'il y a dispersion si la vitesse de propagation d'une radiation dans un milieu matériel dépend de sa fréquence.
 - Dans le cas d'un prisme, en vertu de la loi de la réfraction de Descartes, il y a réfraction de la lumière sur la face d'entrée du prisme et sur la face de sortie. Or si le milieu est dispersif alors on montre que l'ordre des couleurs à la sortie du prisme est du rouge vers le violet en allant du haut vers le bas (sommet en haut, base en bas).
 - Si la vitesse de propagation d'une radiation varie en fonction de sa fréquence, alors son indice de réfraction aussi, en vertu de la définition d'un indice de réfraction. En effet, si la lumière est freinée alors l'indice de réfraction du milieu pour cette radiation est grand ; si au contraire elle n'est pas ou peu freinée alors l'indice de réfraction de ce milieu pour cette radiation est petit.
- ex.** Parmi les rayons qui constituent une lumière blanche arrivant sur la première face d'un prisme, les rayons violets sont plus déviés que les rayons rouges car l'indice de réfraction du verre constituant le prisme est plus grand pour le violet que pour le rouge.



TOP CHRONO

C'est l'interro !

1. Longueurs d'onde dans le domaine visible (5 pts)  5 min

- Quelles sont les valeurs limites de longueur d'onde dans le domaine visible ?
- Quel est l'ordre de couleurs qui constituent le spectre de la lumière blanche ?

2. Système dispersifs (8 pts)  10 min

- On observe quelquefois de petits arcs-en-ciel dans une pièce ensoleillée. Que doit comporter la fenêtre par laquelle passent les rayons du soleil pour décomposer ainsi la lumière ?
- La décomposition de la lumière blanche à l'aide de la surface rainurée d'un CD se fait-elle par dispersion ?
- La décomposition de la lumière blanche à travers les fines mailles d'un rideau se fait-elle par dispersion ?

3. Loi de Cauchy (10 pts)  15 min

Le phénomène de dispersion peut être modélisé par la loi de Cauchy mettant en relation l'indice de réfraction n d'un milieu et la longueur d'onde

λ d'un rayonnement monochromatique $n = n_0 + \frac{a}{\lambda^2}$, où a et n sont constants

- Pour quelle couleur du domaine visible l'indice de réfraction est-il le plus petit ?
- Dans ce cas, la déviation de la lumière est-elle la plus grande ou la moins grande ?
- Conclure quant à l'ordre des couleurs à la sortie d'un prisme.

COMMENT DISTINGUER LES DIFFÉRENTS SPECTRES ?



Dès lors qu'il est possible de décomposer une lumière et d'obtenir son spectre, on peut classer ces derniers selon leur aspect. Certains se présentent sous la forme de raies brillantes sur fond noir cependant que d'autres ont l'aspect de raies sombre sur fond de continuum, ou plus exactement, sur fond d'un spectre continu.

On distingue les spectres d'émission des spectres d'absorption. Cette distinction se fait sur la base de l'allure du spectre. Un spectre d'émission caractérise une source lumineuse tandis qu'un spectre d'absorption caractérise une matière qui absorbe une partie de la lumière qu'elle reçoit.

- Le spectre continu est l'ensemble des raies caractérisant l'ensemble des radiations (visibles ou invisibles) susceptibles d'exister. Il est obtenu par décomposition d'une lumière dite blanche.
- ex. Si l'on considère la lumière du Soleil comme étant une lumière blanche, alors on peut considérer qu'un arc-en-ciel – obtenu par décomposition de la lumière du Soleil par dispersion des rayons à l'intérieur des gouttes de pluie – est un spectre continu.
- Un spectre d'émission présente une série de raies brillantes de différentes couleurs. Il est obtenu par l'émission de lumière par un gaz porté à haute température (ampoule spectrale). Dans ce cas, les raies brillantes sont caractéristiques de la nature du gaz rayonnant.
- ex. Il suffit de verser un peu de sel sur une flamme pour apercevoir une lumière jaunâtre à l'endroit des grains de sel. En effet, le sel est constitué en partie de sodium et le spectre d'émission du sodium présente deux raies jaunes dans le domaine visible.
- Un spectre d'absorption présente une série de raies sombres sur fond de spectre continu. Il est obtenu la présence d'un gaz froid situé sur la trajectoire de rayons lumineux issus d'une lumière blanche.
- ex. Le spectre obtenu par la décomposition de la lumière du Soleil est un spectre d'absorption dans la mesure où il présente des raies sombres sur fond de spectre continu. Il est caractéristique de la composition chimique de l'atmosphère du Soleil. Le cœur du Soleil est quant à lui, source de lumière blanche.



TOP CHRONO

C'est l'interro !

1. Spectre du sodium (5 pts)



On laisse tomber quelques grains de sel au dessus de la flamme. On observe alors une lumière jaune à l'endroit de chaque grain de sel. Si on l'observe à l'aide d'un spectroscopie ou d'un prisme on voit un spectre constitué de deux raies jaunes.

- S'agit-il d'un spectre émission ou d'absorption ? Justifier.
- Une lampe au sodium présente un spectre formé de deux raies sombres au même endroit que les précédentes. Quel est ce type de spectre ?
- Que peut-on conclure à propos de la composition chimique du sel ?

2. Spectre d'une étoile (8 pts)



Chaque étoile présente un spectre qui lui est propre.

- Pourquoi dit-on que le spectre d'une étoile est un spectre d'absorption et non d'émission ?
- Comment connaître la composition chimique de l'atmosphère d'une étoile à l'aide de son spectre ?

3. Expansion de l'Univers (10 pts)



- Rechercher la signification du terme « *Red shift* ».
- Comment interprète-t-on le *Red shift* d'une étoile ?
- Comment interprète-t-on le *Red shift* de toutes les étoiles ?

6

QU'EST-CE QU'UNE LONGUEUR D'ONDE ?



On a l'habitude de caractériser les différentes lumières colorées à l'aide de leurs longueurs d'ondes. Cette manière de faire doit être précisée car il existe d'autres manières de caractériser la lumière.

Une lumière monochromatique est une onde périodique c'est-à-dire qu'elle est associée à un phénomène de propagation d'énergie comparable à des vagues régulièrement espacées. La distance séparant ces vagues est appelée longueur d'onde.

En premier lieu, ce qui caractérise une lumière (c'est-à-dire un rayonnement) monochromatique est la période temporelle T du phénomène qui produit l'onde lumineuse. Deux vagues d'énergie successives émises par une source, sont séparées par une durée T . On peut aussi caractériser ce phénomène temporel à l'aide de la fréquence f qui est égale à l'inverse de la période :

$$f = \frac{1}{T}$$

ex. Par exemple, une lumière produite par une source qui émet une vague d'énergie toutes les 2 s, présente une fréquence de $\frac{1}{2}$ hertz.

- Une onde lumineuse se propage dans l'espace. Si on appelle v la vitesse de propagation de l'onde, alors deux vagues successives séparées dans le temps par une durée T (période temporelle), sont aussi séparées dans l'espace par une distance appelée longueur d'onde telle que :

$$\lambda = vT$$

ex. Par exemple, si la période d'une onde lumineuse vaut $T = 2$ s et si la vitesse de propagation de cette lumière vaut $v = 100$ m/s, alors la distance qui sépare deux fronts d'onde, c'est-à-dire la longueur d'onde vaut : $\lambda = 200$ m.

- D'après la définition de la fréquence, on peut alors exprimer une longueur d'onde de la manière suivante :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$