

P3 : Émission de lumière

Sommaire

Sources de lumière

Lumière émise par un corps chaud

- Spectre de la lumière émise par un corps chaud
- Domaines des ondes électromagnétiques
- Loi de Wien

Spectres de raies

- Spectres d'émission et d'absorption
- Énergie d'un photon
- Quantification des niveaux d'énergie de la matière
- Interaction lumière - matière
- Interprétation des spectres de raies

Les étoiles

- Spectre des étoiles
- Couleurs des étoiles
- Raies d'absorption dans le spectre d'une étoile

Sources de lumière

Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide.

Une source de lumière est un objet qui produit la lumière qu'il émet. Il existe principalement deux mécanismes d'émission de la lumière :

- Un objet chauffé émet des rayonnements électromagnétiques. S'il est assez chaud, il peut émettre de la lumière visible.



Morceau de fer chauffé

☛ **Exemples :** le soleil, une ampoule à filament, un morceau de métal chauffé au rouge.

- Dans certaines conditions, un corps qui reçoit de l'énergie peut transformer en lumière. Ce phénomène est dû à l'excitation des électrons des molécules ou atomes qui constituent le corps. Lorsque les électrons perdent cette énergie, ils peuvent émettre de la lumière. Cette énergie d'excitation est le plus souvent transmise par un courant électrique.
- Le spectre de la lumière ainsi émise n'est pas continu : il présente des raies.



☛ **Exemples :** lampe à décharge (vapeur de sodium, vapeur de mercure, tube fluorescent), laser, DEL.

Lumière émise par un corps chaud

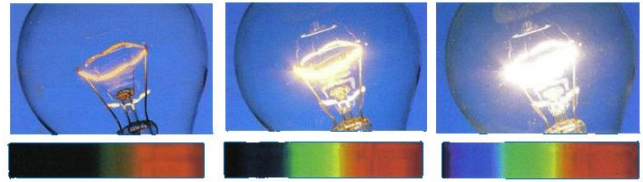
Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets. Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée.

Spectre de la lumière émise par un corps chaud

Selon sa température, un corps dense (solide, liquide ou gaz sous haute pression) émet un rayonnement électromagnétique dont le spectre est continu (son spectre ne présente pas de raie).

Plus la température de ce corps est élevée, plus il émet de rayonnements de courtes longueurs d'onde.

Un objet peu chaud émet des rayonnements dans le domaine des infrarouges (IR), alors qu'un corps suffisamment chaud (vers 800 °C) émet également de la lumière rouge. Une étoile peut également émettre des ultraviolets (le Soleil par exemple).

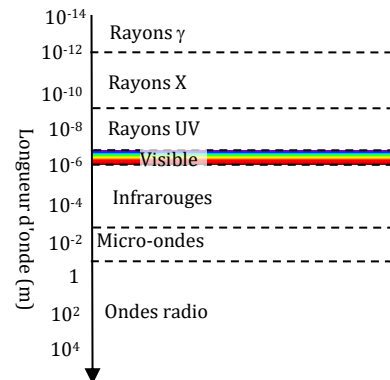


Couleur d'un filament pour différentes températures de fonctionnement



Photo infrarouge en fausses couleurs montrant l'émission IR de différentes parties du corps avec la température correspondante

Domaines des ondes électromagnétiques



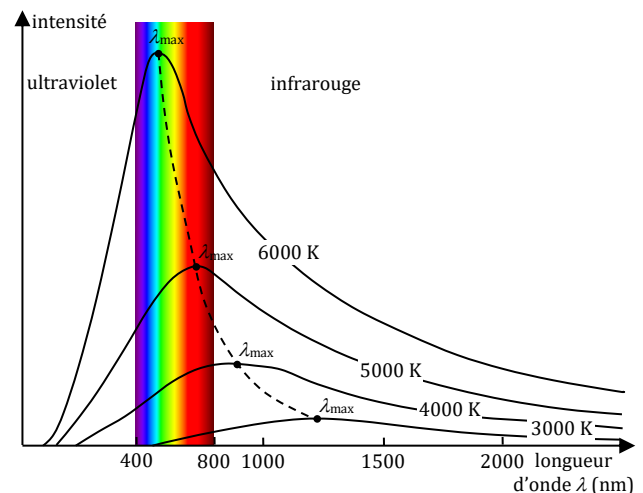
Loi de Wien

La loi de Wien permet de connaître la longueur d'onde du maximum d'émission λ_{max} selon la température, pour un corps noir.

Un **corps noir** est un objet théorique « parfaitement noir » qui ne diffuse pas de lumière. Le seul rayonnement qu'il émet est dû à sa température. La plupart des objets chaud se comportent comme des corps noirs.

$$\lambda_{max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T}$$

λ_{max} : longueur d'onde du maximum d'émission, en mètre
 T : température en kelvin (K)



Allure des émissions d'ondes électromagnétiques d'un corps noir en fonction de sa température

☛ **Exemple** : pour une étoile dont la température de surface est de 6000 K $\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} / 6000 = 4,8 \cdot 10^{-7}$ m. Cela signifie que l'étoile émet un maximum de rayonnement d'une longueur d'onde de voisine de 480 nm.

🔗 **Loi de Wien** (Animation)

🔗 **Changement de couleur d'un morceau de fer** (Vidéo – 30s)

Convertir des °C en K

Une température de 0 K correspond au « zéro absolu », soit -273 °C. Ensuite, une augmentation de 1 °C correspond à une augmentation de 1 K, donc :

$$\theta(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$$

$$T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Exercice 1 Loi de Wien

Exercice 2 Une lumière « chaude »

Exercice 3 Structure du soleil

Spectres de raies

Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.

Connaître les relations $\lambda = c/f$ et $\Delta E = h \cdot f$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.

Spectres d'émission et d'absorption

Un gaz à basse pression soumis à une décharge électrique émet une lumière dans le spectre est constitué d'un nombre limité de raies : c'est un **spectre de raies d'émission**.



Exemple de spectre de raies d'émission

Un spectre d'émission est caractéristique de l'atome qui le produit. On peut donc identifier l'atome qui a produit la lumière en observant son spectre de raies.

Lorsque la lumière blanche traverse certains milieux, certaines couleurs peuvent être absorbées. Dans le cas d'un gaz à basse pression, le spectre d'absorption est constitué de **raies noires** sur fond lumineux continu.



Exemple de spectre de raies d'absorption

Le spectre d'absorption d'un atome ou d'un ion comporte des raies sombres correspondant exactement aux mêmes longueurs d'onde que le spectre d'émission.

Énergie d'un photon

Il existe deux manières de décrire la lumière : soit comme une **onde électromagnétique** (aspect ondulatoire), soit comme un ensemble de **photons** (aspect corpusculaire). Ceci est une découverte qu'Einstein a faite en 1905 (on vous en dira un peu plus en TS).

Sous son aspect ondulatoire, l'onde est caractérisée par une fréquence f et une longueur d'onde λ .

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

λ : longueur d'onde en mètre
 c : vitesse de la lumière dans le vide
 f : fréquence en hertz (Hz)

Un photon est une particule de lumière. Sa masse est nulle (ce n'est pas une particule de matière !) et il se déplace à la vitesse de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^8$ m·s⁻¹.

Un photon transporte une énergie E qui dépend de la fréquence de l'onde électromagnétique à laquelle il est associé.

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

E : énergie en joule (J)
 h : constante de Planck en joule seconde (J·s)
 λ : longueur d'onde en mètre
 c : vitesse de la lumière dans le vide
 f : fréquence en hertz (Hz)

Constante de Planck : $6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s

Quantification des niveaux d'énergie de la matière

Les électrons présents dans un atome ou un ion sont en mouvement autour du noyau. Ils décrivent des « trajectoires » appelées orbites. Un certain nombre d'orbites sont permises aux électrons d'un atome donné.

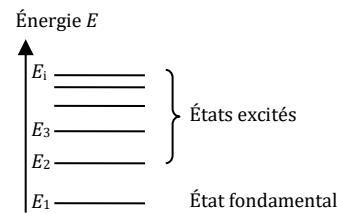
Un électron se trouvant sur une orbite donnée possède une certaine énergie. Plus cette orbite se trouve proche du noyau, plus cette énergie est faible.

L'énergie d'un atome ou d'un ion est la somme des énergies de chacun de ses électrons.

Sans apport d'énergie extérieure, les électrons vont occuper les orbites les plus proches possibles du noyau. On dit que l'atome se trouve dans son **état fondamental**. C'est un **état stable**.

Dans certaines conditions, un atome peut gagner de l'énergie et se retrouver dans un état **excité**. Les états excités sont des états instables.

Un atome ne peut avoir que certains états d'énergie bien définis : on dit que l'énergie d'un atome est **quantifié**. On peut représenter les différents niveaux d'énergie que peut prendre un atome (ou un ion, ou une molécule) par le diagramme ci-dessous :



Interaction lumière - matière

Un atome peut absorber un photon (grain de lumière) si l'énergie du photon lui permet d'atteindre **exactement** l'énergie d'un autre état.

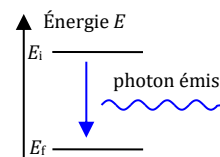
☛ **Exemple** : si l'atome est dans son état fondamental (E_1), il pourra absorber un photon dont l'énergie correspond exactement à la différence d'énergie entre E_1 et E_2 , ou E_1 et E_3 , etc.

Un atome excité va très rapidement perdre de l'énergie pour revenir à son état fondamental. Ce faisant, il va émettre un photon chaque fois qu'il change d'état. L'énergie du photon émis correspond exactement à l'énergie perdue par l'atome.

☛ **Exemple** : Un atome dans son état E_3 va revenir à son état E_1 soit directement ($E_3 \rightarrow E_1$) soit en passant par son état E_2 ($E_3 \rightarrow E_2$ puis $E_2 \rightarrow E_1$). Il émettra donc soit un photon dont l'énergie est $E_3 - E_1$ soit un photon dont l'énergie est $E_3 - E_2$ puis **un autre dont l'énergie est $E_2 - E_1$** .

Interprétation des spectres de raies

Une raie d'émission correspond à la désexcitation d'un atome avec émission d'un photon d'énergie $E = E_{\text{initiale}} - E_{\text{finale}}$



Une raie d'absorption correspond à l'absorption d'un photon d'énergie $E = E_{\text{finale}} - E_{\text{initiale}}$

L'énergie en électron-volt (eV)

Les énergies impliquées dans les échanges atomes - photons sont tellement faibles qu'elles ne sont jamais données en joule, mais en eV.

$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Cependant, tous les calculs doivent être faits en exprimant les énergies en joules. Il faudra donc toujours penser à convertir les eV en joule.

Exercice 4 Raies de l'atome d'hydrogène

Exercice 5 Raies du sodium

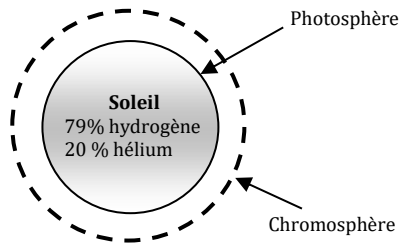
Les étoiles

Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.

Spectre des étoiles

Le spectre de la lumière émise par une étoile nous apporte 2 renseignements :

- Le fond du spectre nous indique la **température** de la photosphère de l'étoile (et donc sa classe et son âge).
- Les raies noires nous indiquent quels sont les **éléments présents** dans la chromosphère.



• **Photosphère** : correspond à la surface de l'étoile. C'est de là qu'est émise la lumière.

• **Chromosphère** : Il s'agit de l'« atmosphère » de l'étoile. C'est un gaz composé de nombreux éléments chimiques (fer, nickel, calcium, hydrogène, etc) capables d'absorber certaines radiations.

Couleurs des étoiles

Les étoiles **rouges** peuvent être :

- soit de petites étoiles (entre 0,08 et 0,8 masse solaire) relativement froides (température de surface entre 2500 et 5000 K), appelées **naines rouges**. Elles représentent au moins 80% des étoiles de notre galaxie.
- soit des étoiles plus massives en fin de vie. Appelées **géantes rouges** (voire supergéantes ou hypergéantes), elles ont presque épuisé leur carburant et sont en phase de refroidissement. La plus grosse connue (VY Canis Majoris) a un diamètre environ 2000 plus grand que celui du Soleil.

Les étoiles **jaunes** (naines jaunes) ont une masse voisine de celle du Soleil (0,7 à 1,2 masse solaire).

Les étoiles bleues sont des étoiles massives (entre 15 et 150 masses solaires) qui consomment très rapidement leur carburant nucléaire. Elles ont une température de surface très élevée (entre 30.000 et 50.000 K)



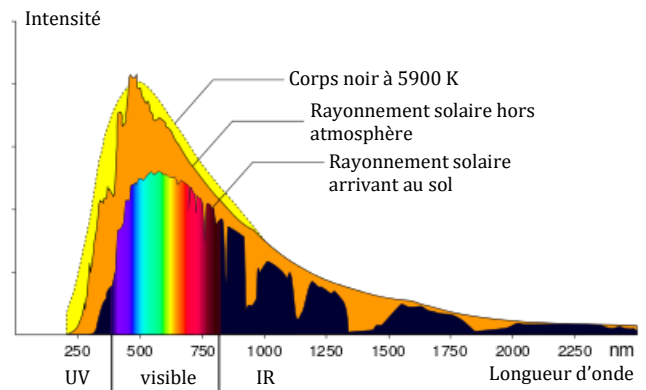
L'amas ouvert NGC 411 par le télescope spatial Hubble

Raies d'absorption dans le spectre d'une étoile

Une étoile hérite de la métallicité (teneur en élément plus lourd que l'hélium) du milieu à partir duquel elle s'est formée. Les étoiles plus anciennes que le Soleil ont ainsi une métallicité moindre, et les étoiles plus récentes une métallicité supérieure.

Les étoiles très anciennes (typiquement, d'âge supérieur à 12 Ga) ont une métallicité inférieure à 1% de celle du Soleil, car elles se sont formées à une époque où l'Univers était très pauvre en ces éléments.

L'analyse des raies d'absorption présentes dans le spectre d'une étoile permet de déterminer sa métallicité.



Spectre d'intensité lumineuse du soleil

• [Spectre du soleil](#) (Image haute résolution)

• [Analyser le spectre d'une étoile](#) (Animation)

Exercice 6 [Spectre du Soleil](#)