

Séance 3

I – Les différentes sources

1) Les sources à haute température

Tout corps chaud émet des rayonnements. Au début, ces derniers appartiennent aux infrarouges (non visibles) puis, lorsque le corps arrive à une température de 600°C, il se met à émettre dans le visible. Au fur et à mesure que sa température continue d'augmenter, son spectre s'enrichit de nouvelles couleurs et la lumière émise, d'abord rouge, devient orange puis jaune. Enfin, quand le spectre est complet, vers 1500°C, il émet de la lumière blanche.

Ex : soleil, lampes à incandescence, lave, flamme, braise,...

2) Les corps à basse température

Certains gaz, sous l'effet d'une décharge électrique, émettent de la lumière. Ce processus est utilisé dans les lampes à vapeur (hélium, mercure, sodium, etc...), les tubes fluorescents et les lampes fluocompactes. Les DEL (diodes électroluminescentes) émettent de la lumière quand elles sont traversées par un courant.

Ex : laser, luciole, éclairs (orage),...

3) Mono ou polychromatique

Une source de lumière monochromatique émet de la lumière qui ne peut être décomposée par un système dispersif (prisme). Elle est caractérisée par sa longueur d'onde notée λ , exprimée en m. Ex : laser

Une lumière polychromatique est composée par un ensemble plus ou moins important de radiations de longueurs d'onde différentes. Ex : lumière blanche, lampe à vapeurs de mercure

Le spectre du visible est limité par deux lumières non visibles :

- les infrarouges ($\lambda > 780 \text{ nm}$) ; - les ultraviolets ($\lambda < 380 \text{ nm}$).

4) Composition colorée d'une source

La couleur d'une lumière polychromatique résulte de la superposition (**synthèse additive**) de l'ensemble des lumières monochromatiques qui la composent. Elle est indifféremment perçue d'une lumière monochromatique de même couleur.



II – La loi de Wien et les corps à incandescence

1) Le corps noir

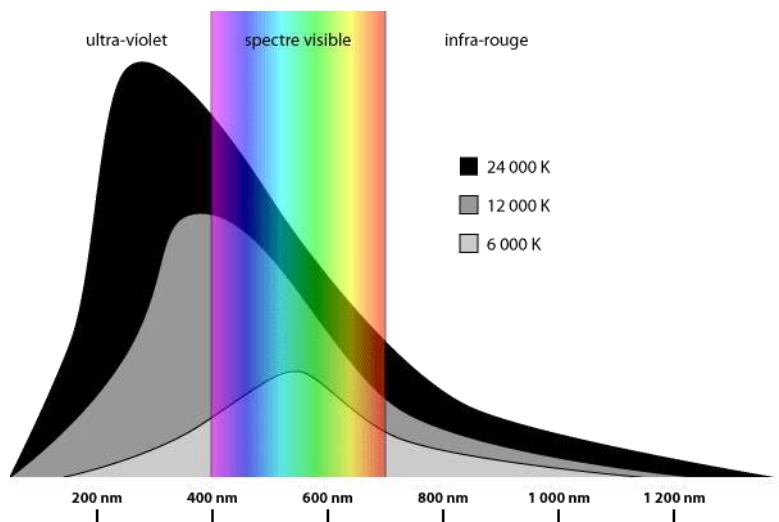
Le spectre émis est continu et représente toute ou une partie du spectre de la lumière blanche selon la température. Ainsi, au fur et à mesure que sa température augmente, le spectre s'enrichit de nouvelles radiations en partant du rouge (basses températures) vers le violet (hautes températures) et la lumière émise, d'abord rouge, devient orange, puis jaune, puis, enfin, quand le spectre est complet, vers 1500°C, la lumière est blanche.

Les corps incandescents sont décrits par un modèle théorique, le **corps noir**, qui a la capacité d'absorber toutes les ondes qu'il reçoit avant de les réémettre lorsqu'il est chauffé sous la forme d'un **spectre continu** qui ne dépend que de la température. Il suit la loi de Wien.

Toutes les radiations du spectre ne sont pas émises avec la même intensité. Parmi elles, il en existe une de longueur d'onde λ_{max} qui est celle pour laquelle **l'intensité d'émission est maximum**.

2) Loi de Wien

Elle lie λ_{max} et la température T du corps : **$\lambda_{\text{max}} \times T = A$** avec $A = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$, λ_{max} en m, T en K, unité légale de température
Relation de conversion : $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$



3) Exploiter cette loi

Un profil spectral donne l'intensité lumineuse de chaque radiation lumineuse constituant le spectre d'une lumière et permet de déterminer λ_{\max} et donc de calculer la température de l'étoile.

À savoir-faire : exploiter un profil spectral et appliquer cette loi.

III – Émission et absorption de lumière pour la luminescence

1) Les niveaux d'énergie

Certains gaz, sous l'effet d'une décharge électrique, émettent de la lumière. Le spectre obtenu est un spectre de raies, caractéristique d'un élément chimique. Ces spectres s'expliquent par l'existence de **niveaux d'énergie** dans les atomes.

Important : un corps ne peut émettre que ce qu'il peut absorber.

À chaque radiation (λ , ν) correspond un type de **photon** transportant l'énergie : $E = h \nu = h \times c / \lambda$

2) Les diagrammes d'énergie

C'est un diagramme qui donne la valeur en énergie de chaque niveau.

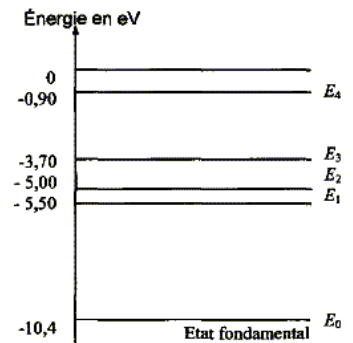
Le niveau de plus faible énergie est le **niveau fondamental**, celui où l'atome est le plus stable.

Le niveau d'énergie nulle correspond l'état d'ionisation de l'atome.

Quand l'atome n'est pas dans son état fondamental, il est dit **excité**.

Le savoir-faire : exploiter le diagramme d'énergie d'un atome dans lequel les énergies sont exprimées en eV. **Conversion** : $\Delta E \text{ (J)} = \Delta E \text{ (eV)} \times 1,6 \cdot 10^{-19}$ car $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Un atome (ou un ion) peut absorber ou émettre un photon en respectant la contrainte suivante : **l'énergie E du photon absorbé ou émis correspond à la variation d'énergie ΔE existant entre deux niveaux de l'atome.**



3) Absorption

• L'atome **absorbe** un photon d'énergie E

L'atome passe d'un niveau d'énergie plus stable E_i à un plus grand état d'excitation E_f d'où $E_i < E_f$. Cette absorption n'est possible que si $\Delta E = E_f - E_i = E = h c / \lambda$

$$Rq : E_f - E_i > 0$$

Dans un spectre d'absorption, on observera une raie noire d'absorption correspondant à cette transition pour la longueur d'onde $\lambda = h c / \Delta E$



4) Émission

• L'atome **émet** un photon d'énergie E

L'atome passe d'un niveau d'énergie plus excité E_i à un niveau d'énergie plus stable E_f d'où $E_i > E_f$. Cette émission n'est possible que si $|\Delta E| = |E_f - E_i| = E = h c / \lambda$

$$Rq : E_f - E_i < 0$$

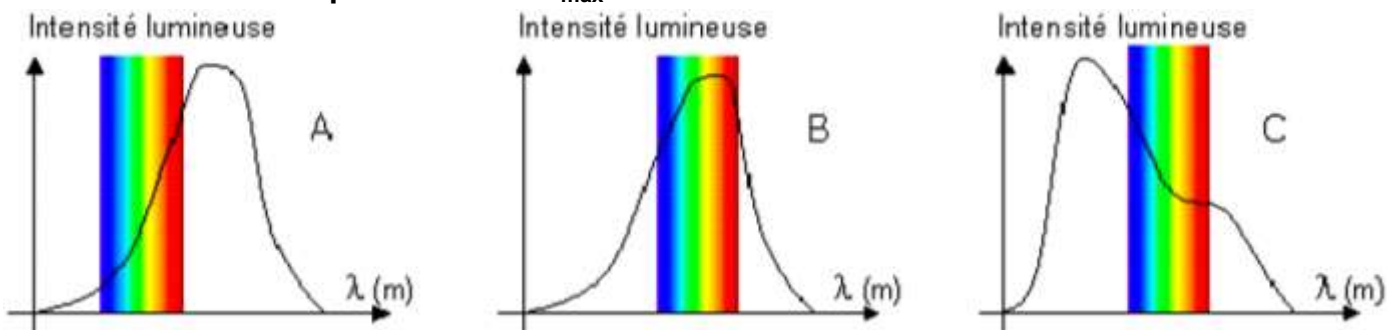
Dans un spectre d'émission, on observera une raie colorée d'émission correspondant à cette transition pour la longueur d'onde $\lambda = h c / |\Delta E|$



IV – Exercices

Exercice 1

Déplacement de λ_{\max}



Trois étoiles de couleurs différentes, jaune, bleu et rouge ont les profils spectraux suivants.

1) Quelle loi lie la longueur d'onde λ_{\max} correspondant à l'intensité maximale du rayonnement à la température de l'étoile T ?

2) Indiquer comment évolue λ_{\max} lorsque la température T de l'étoile augmente.

3) Associer chacune des étoiles à sa couleur. Expliquer.

4) Classer ces étoiles par température de surface décroissante.

Correction

- 1) C'est la loi de Wien. Le produit de λ_{\max} et de T est égale à une constante : $T \times \lambda_{\max} = \text{cte}$
- 2) Comme le produit $\lambda_{\max} = A/T$ cela signifie que quand T augmente, λ_{\max} diminue et inversement.
- 3) La couleur de la lumière émise par l'étoile est liée au nombre de radiations émises par cette étoile. De fait, le spectre s'enrichit en radiations en partant du rouge vers le violet et la couleur de la lumière va du rouge au blanc, voire au bleu, en passant par l'orange et le jaune. Dans le premier cas, le pic d'intensité se situe dans les infrarouges et l'intensité la plus grande dans le spectre du visible est dans le rouge, donc l'étoile est rouge. Dans le deuxième cas, le pic d'intensité au cœur du spectre du visible (dans le rouge et le vert) donc l'étoile émet de la lumière jaune ($R + V = J$). Dans le troisième cas, le pic d'intensité se situe dans les ultraviolets et l'intensité la plus grande dans le spectre du visible est dans le bleu, donc l'étoile émet de la lumière bleue.
- 4) $\lambda_{\max}(\text{rouge} - 800 \text{ nm}) > \lambda_{\max}(\text{jaune}) > \lambda_{\max}(\text{bleu} - 400 \text{ nm})$ donc, grâce à la loi de Wien, il est possible d'en déduire les températures de chaque étoile : $T(\text{rouge} - 800 \text{ nm}) < T(\text{jaune}) < T(\text{bleu} - 400 \text{ nm})$ car T et λ_{\max} évoluent de façon inverse.

Exercice 2 Loi de Wien

Une "lampe halogène" produit de la lumière, comme une lampe à incandescence classique, en portant à haute température un filament de tungstène, mais des gaz halogénés (iode et brome) à haute pression ont été introduits dans l'ampoule à la place du vide.

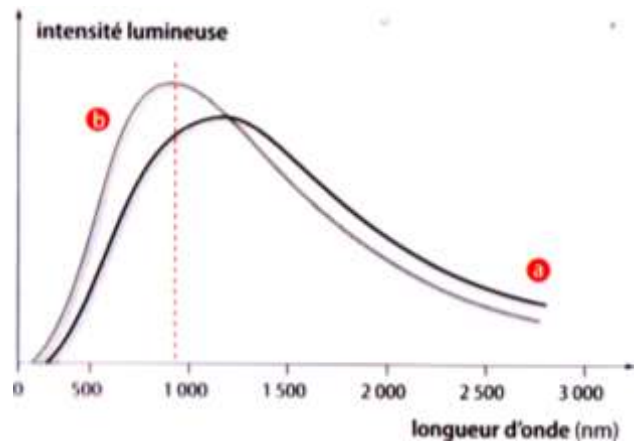
Voici les courbes d'émission de 2 lampes de même puissance électrique :

courbe a : classique courbe b : halogène

On rappelle la loi de Wien :

$$T \times \lambda_{\max} = A = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ K.m} \quad \text{avec } T = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$

- 1) Décrivez l'allure de la courbe donnant l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde.
- 2) Quelle est la température du filament de la lampe halogène ?
- 3) Laquelle de ces deux lampes émet le plus de lumière dans le visible? Justifiez votre réponse.
- 4) Laquelle de ces deux lampes possède le filament le plus chaud ?
- 5) Quels avantages des lampes halogènes peut-on déduire de cette étude ?



Correction

- 1) Cette courbe donne l'intensité lumineuse pour chaque radiation. Elle a l'allure d'une courbe presque en cloche avec un pic d'intensité pour une valeur particulière de λ appelée λ_{\max} , avec une décroissance progressive des intensités de part et d'autres du pic (plus rapide dans les faibles longueurs d'onde).
- 2) Graphiquement, on détermine $\lambda_{\max} = 900 \text{ nm} = 9,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ donc, en appliquant la loi de Wien :
 $T = A / \lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} / 9,0 \cdot 10^{-7} = 3,3 \cdot 10^3 \text{ K}$
 $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273 = 3,0 \cdot 10^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- 2) Le spectre du visible se situe entre 400 et 800 nm. La lampe halogène émet plus de lumière dans le visible car ses intensités lumineuses sont plus élevées dans cette partie que la lampe a.
- 3) La lampe halogène est plus chaude car l'intensité lumineuse maximale est émise pour une longueur d'onde plus courte (900 nm au lieu de 1200 nm). D'après la loi de Wien, si λ_{\max} augmente, alors T diminue.
- 4) Les infrarouges correspondent à la partie de l'énergie émise par un corps sous forme de chaleur et donc non rayonnée. Comme la lampe halogène émet moins d'énergie dans l'infrarouge et davantage dans le visible (entre 400 et 800nm), son rendement est meilleur et elle éclaire davantage pour une même consommation électrique. Enfin, son spectre se rapproche davantage de celui du soleil auquel notre vision est habituée.

Exercice 3

Le diagramme ci-contre représente certains niveaux d'énergie de l'atome de l'hélium.

Données : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

1) Que représentent le niveau d'énergie E_0 ? les niveaux d'énergie E_1 , E_2 , E_3 , E_4 ?

2) a. Quelle est, en électronvolt, la plus petite énergie que peut absorber l'atome d'hélium initialement dans l'état d'énergie E_0 ?

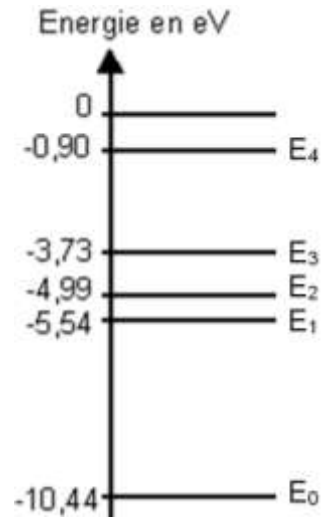
b. Convertir cette énergie en joule.

c. En déduire la longueur d'onde dans le vide de la radiation correspondante.

d. S'agit-il de la plus grande ou de la plus petite longueur d'onde des radiations que peut absorber l'atome de mercure initialement dans l'état d'énergie E_0 ?

3) a. Quelle est l'énergie, en joule puis en électronvolt, d'un photon de longueur d'onde $\lambda_1 = 2,26 \mu\text{m}$ dans le vide ?

b. À partir du diagramme ci-dessus, expliquer l'émission d'un photon de longueur d'onde $\lambda_1 = 2,26 \mu\text{m}$ dans le vide.



Correction

1) E_0 est le niveau d'énergie fondamental, les niveaux d'énergie E_1 , E_2 , E_3 , E_4 sont des états excités de l'atome.

2) a. Elle correspond à l'excitation de l'atome lorsqu'il passe de E_0 à E_1 .

$$\Delta E = E_f - E_i = E_1 - E_0 = -5,54 - (-10,44) = 4,9 \text{ eV}$$

$$b. \Delta E = 4,9 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 7,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

c. Dans le cas d'une absorption, $E = h \times c / \lambda = \Delta E$

$$\lambda = h \times c / \Delta E = (3,00 \cdot 10^8 \times 6,63 \cdot 10^{-34}) / 7,8 \cdot 10^{-19} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

d. Ce ΔE correspondant à la plus petite valeur en énergie que peut échanger l'atome à partir de E_0 . Il sera naturellement plus grand entre E_2 et E_0 . Donc si ΔE augmente, λ diminue.

3) a. $\lambda_1 = h \times c / E_1$ d'où $E_1 = h \times c / \lambda_1 = (3,00 \cdot 10^8 \times 6,63 \cdot 10^{-34}) / 2,26 \cdot 10^{-6} = 8,80 \cdot 10^{-20} \text{ J}$

$$E_1 = 8,80 \cdot 10^{-20} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,5 \cdot 10^{-1} \text{ eV}$$

b. Cette valeur de 0,55 eV se retrouve entre les niveaux d'énergie E_1 et E_2 . Comme c'est une émission, l'atome passe d'un niveau d'énergie plus élevé vers un niveau d'énergie moins élevé :

$$\Delta E_1 = E_f - E_i = E_1 - E_2 = -5,54 - (-4,99) = -5,5 \cdot 10^{-1} \text{ eV}$$

Ce résultat correspond, car $E_1 = |\Delta E_1|$

Exercice 4 Nébuleuse d'Orion

La grande nébuleuse d'Orion est une des nébuleuses les plus brillantes du ciel. Elle est constituée en majorité d'atomes d'hydrogène, dont certains sont dans un état excité. La couleur rose de la nébuleuse est due à une transition de l'atome d'hydrogène entre les niveaux d'énergie E_2 et E_1 .

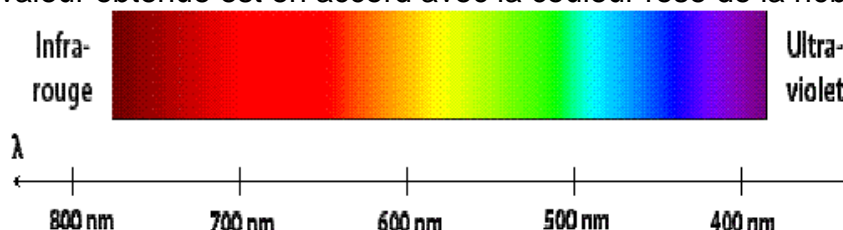
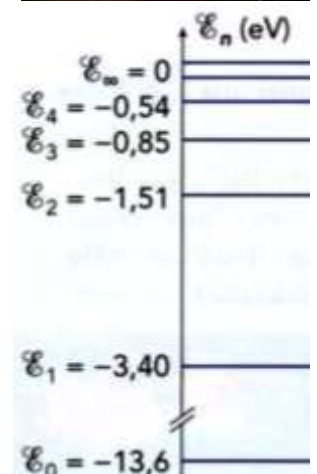
Données : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

1) Cette transition correspond-elle à une émission ou une absorption de lumière ?

2) Représenter cette transition sur un diagramme.

3) Calculer la longueur d'onde dans le vide de la radiation correspondante.

4) En utilisant le spectre de la lumière blanche ci-dessous, montrer que la valeur obtenue est en accord avec la couleur rose de la nébuleuse.



Correction

1) Puisque des radiations de couleur rose sont perceptibles, c'est que c'est une émission.

2) Voir ci-contre

$$3) \Delta E = E_f - E_i = E_1 - E_2 = -3,40 - (-1,51) = -1,89 \text{ eV}$$

$$\Delta E = -1,89 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = -3,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = h \times c / |\Delta E| = (3,00 \cdot 10^8 \times 6,63 \cdot 10^{-34}) / 3,0 \cdot 10^{-19} = 6,58 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

soit 658 nm.

4) Cette longueur d'onde se situe dans la partie rouge du spectre de la lumière blanche, ce qui, de loin, peut nous apparaître plus rose que rouge.

