

LP11 - Sources de Lumière

Lise Boutenègre & Raphaël Rullan

Introduction Pédagogique

| **Niveau :** Première Spécialité

Pré-requis

- Spectre d'absorption et d'émission **seconde**
- Source monochromatique/polychromatique **seconde**
- Lumière colorée **première**
- Ondes mécaniques **première**
- Optique géométrie **seconde/première**
- Caractéristique des ondes électromagnétiques, observation de figures de diffractions/interférences **première**
- modèle ondulatoire de la lumière. **première**

Difficultés

- Faire la différence entre l'aspect ondulatoire et corpusculaire de la lumière.
- Faire la différence entre une source continue et une source spectrale et les dissocier de leur considération calorique.
- Faire le lien entre spectre d'absorption et spectre d'émission et quantification de l'énergie.
- Conversion entre joule et électrons-volts

Applications

- TD : exercice sur les aurores boréales, nébuleuse d'Orion (M42)
- TP : utilisation du spectrophotomètre

Objectif : savoir identifier les domaines spectraux. Connaître l'ordre de grandeur en fréquence ou en longueur d'onde de la vie quotidienne. Connaître l'expression de l'énergie d'un photon. Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.

| **Source** – Physique Chimie 1ère S Dulaurans, Physique chimie 2nde nouveau programme Belin, Dictionnaire de la Physique

Introduction

Petite manipulation introductive autour de deux sources de lumières - une jolie ampoule à incandescence et une lumière émise par une réaction chimique.

Peut être partir d'un constat pas très logique. Présenter plusieurs autres sources de lumière : lumière chaude mais source froide, lumière froide mais source chaude. Et à partir de là travailler sur les deux.

1 Retour sur l'ampoule émission de lumière par une source continue

1 Observations

Très bien, nous allons pouvoir reprendre nos exemples du début. Nous avons parlé de sources spectrales et sources continues. Nous avons parlé de sources continues. Mais de quoi je parle ? Tout corps ayant une température non nul émet un rayonnement sous forme de lumière. (Montrer un exemple avec la caméra thermique), même si comme vous il n'est pas à plusieurs centaines de degrés.

Vous avez commencé par voir le cours précédent les ondes électromagnétiques. Comment on avait montré le caractère ondulatoire avec les expériences de diffraction et d'interférences et enfin la vitesse de propagation d'une telle onde : la vitesse de la lumière soit $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Nous avons également vu qu'une radiation peut être décrite comme une variation périodique de nature électromagnétique : on parle d'onde électromagnétique.

Aujourd'hui, nous allons voir différentes caractéristiques de ces ondes monochromatique :

- la fréquence : nombre de périodes ou de vibrations par seconde
- la longueur d'onde, distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période T

La longueur d'onde λ et la fréquence ν sont reliées dans le vide par l'expression :

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

Retenez bien deux choses de cela, tout d'abord que la fréquence ne dépend pas du milieu de propagation, et qu'aucun objet connu ne peut pas dépasser la vitesse de la lumière.

On peut classer à partir de cela en différents domaines les ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde.

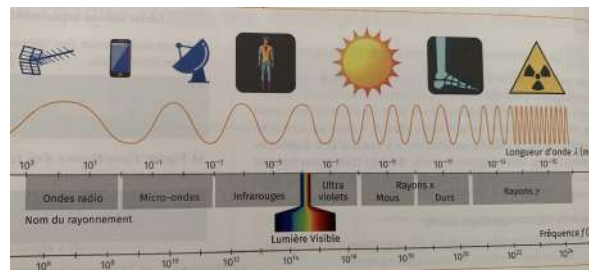


Figure 1 – 7 domaines des ondes électromagnétiques

On se concentre nous principalement ici dans la zone entre 400 et 800nm qui correspondent au spectre visible de la lumière.

Maintenant que nous avons bien fait cette séparation, nous allons pouvoir utiliser des exemples où en effet on parle de hautes températures, c'est plus visible.

2 Mécanisme et dépendance en température

Définition – Corps incandescent : corps chaud qui émet un rayonnement. La longueur d'onde dépend de la température. Plus on chauffe plus on va vers le bleu

Le mécanisme d'émission de lumière d'un corps incandescent peut être décrit comme celui d'un corps noir. C'est un objet théorique qui absorbe toute la lumière et qui quand on le chauffe émet un spectre continu à toutes les longueurs d'onde.

Le physicien Wien a en 1896 a montré empiriquement que la température de surface d'un corps chaud et la longueur d'onde maximale d'émission étaient reliés par la relation :

$$\lambda_{max} \times T(K) = 2.898 \times 10^{-3} m.K \quad (1)$$

De là on peut déterminer la température de différents corps dont celui de la lampe incandescente que nous avons présenté plus tôt.

3 Spectre d'une lampe incandescente

On réalise le spectre de la lampe incandescente. On mesure λ_{max} pour déterminer la température. On montre que c'est un spectre continu.

3.1 Caractéristique de l'appareil

Ne pas dépasser 60% de l'intensité avec le rhéostat. Incertitude de 8 nm sur la lecture de λ_{max} . Caractéristiques : Plage spectrale 350-900nm, précision de mesure 0.8 nm. Montage Czerny-Turner : nécessite 2 miroirs, un réseau blazé, une fibre-optique et un détecteur. Grosse discontinuité noir : raie de Fraunhofer : élément qui absorbe, raies de Balmer pour le soleil.

3.2 Résultats

On mesure un $\lambda_{max} = 676,7 \text{ nm}$. Si on applique la loi de Wien on trouve :

$$T = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{676,7 \times 10^{-9}} = 4282K = 4009C \quad (2)$$

Les incertitudes principales sont liées à la lecture sur le spectre de la longueur d'onde maximale qui peut être étalée.

Transition : nous avons vu un premier type de sources de lumières. Ces spectres sont des outils très puissants, notamment utilisés en astronomie pour déterminer la température des étoiles. Néanmoins cette observation des étoiles peut dans certains cas voir apparaître de nouveaux phénomènes. En effet l'observation de spectres d'émission d'étoile de Wolf-Rayet voit apparaître des bandes très fines superposées au spectre. Or ce sont ces bandes très fines, discrètes qui caractérisent le second type de source de lumière que nous allons étudier, les sources de lumière froide.

Bien que l'on puisse expliquer à partir de ce modèle électromagnétique un bon nombre de phénomènes dont la formation des images, certains phénomènes ne peuvent être expliqués par ce phénomène, par exemple l'effet photoélectrique. C'est ça qui a nécessité l'introduction d'un second modèle : le modèle corpusculaire de la matière.

2 Émission de lumière par une source

Attention, tout corps chaud a un comportement de corps noir. Il faut juste regarder quel phénomène a la contribution la plus importante.

1 Modèle corpusculaire de la lumière

En effet, le premier modèle n'explique pas les interactions énergétiques entre la lumière et la matière. C'est devant ces problèmes là que le physicien Allemand Max Planck introduit en 1900 un tout nouveau concept qui change totalement la vision de la physique : la quantification de l'énergie. C'est à dire que l'énergie d'une particule, d'une radiation ne peut pas prendre n'importe quelle valeur, mais que certaines valeurs discrètes. Ces travaux lui valurent le prix nobel 1918. Cette théorie connue sous le nom de théorie des quanta propose de quantifier l'énergie de l'onde à partir d'un paquet invisible : le quantum.

C'est à partir de cela qu'un autre scientifique très connu développa sa théorie un peu plus tard : je parle d'Albert Einstein un autre physicien Allemand. Physicien très connu, non pas pour son mariage avec sa cousine mais pour ses travaux sur la relativité, la mécanique quantique et l'effet qui nous intéresse ici : l'effet photoélectrique pour lequel il regut le prix nobel 1921.

En effet en 1905 pour expliquer l'effet photoélectrique (que vous reverrai plus en terminale spécialité pour ceux qui continueront dans cette voie) :

Définition – Effet photoélectrique : Il s'agit de l'émission d'un courant électrique par un métal en présence de lumière. La vitesse des électrons arrachés ne dépend pas du flux lumineux mais uniquement de la longueur d'onde

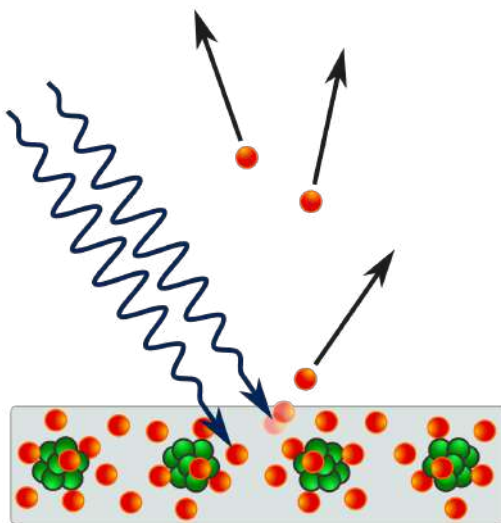


Figure 2 – effet photoélectrique

il introduit la notion de quantum d'énergie introduite par Planck par une structure particulière de la lumière : le photon.

Définition – photon : particule élémentaire qui transporte le quantum d'énergie lumineuse

Le rayonnement est donc constitué d'un flux de photons possédant chacun une énergie. Énergie étant exprimée par :

$$E_{\text{photon}} = h.\nu \quad (3)$$

Avec E en joule, ν la fréquence en Hz et h la constante de Planck, $6.63.10^{-34}$ J.s.

Deux caractéristiques du photon sont à retenir : c'est une particule de masse nulle et de charge nulle qui se déplace à la vitesse de la lumière.

Ainsi nous avons introduit deux concepts différents de la lumière : un aspect ondulatoire et un aspect particulaire. Attention, il faut bien voir que ces deux modèles expliquent des interactions entre la lumière et son environnement qui sont de natures différentes. Et il ne faudrait pas les voir comme contradictoire mais plutôt comme soulignant la dualité onde corpuscule.

2 Vers une quantification de l'énergie des atomes

Vous n'êtes pas sans savoir que les atomes ont une structure électronique en couches 1s, 2s et 2p. exemple : C $1s^2 2s^2 2p^2$ ou le mercure $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^2$. A chaque sous couche est affectée une énergie et que l'on peut placer sur un diagramme énergétique comme voir tableau.

On se sert du principe de Niels Bohr (1913) disant que l'atome n'est stable que pour certains niveaux d'énergie donc que son énergie est quantifiée.

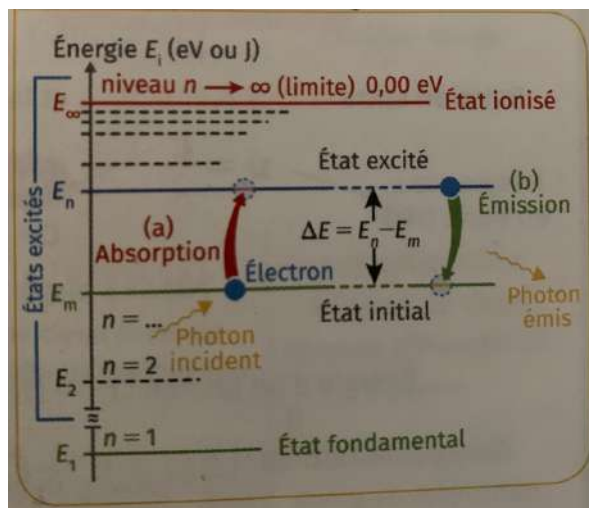


Figure 3 – Niveaux d'énergie

Deux états sont particulièrement intéressants : l'état fondamental qui correspond au niveau le plus bas d'énergie donc l'état le plus stable. Et l'état ionisé associé à $E = 0V$. Entre les deux on parle d'états excités.

Définition – état fondamental : état le plus stable de plus faible énergie de l'atome

L'énergie d'un électron augmente ou diminue par absorption ou émission d'un photon. La valeur absolue de la variation d'énergie correspond à l'énergie du photon.

$$|\Delta E_{\text{atome}}| = |E_n - E_m| = E_{\text{photon}} \quad (4)$$

La variation d'énergie nous donne des informations. En effet si elle est négative, alors on a émission et sinon on a absorption.

Attention : une transition n'est pas si possible que si l'énergie du photon coïncide avec la différence d'énergie entre deux niveaux. Sinon ce n'est pas possible.

L'énergie du photon est le joule, mais souvent on parle aussi en électrons volt. On a un facteur de conversion de $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Voilà ouf, maintenant qu'on a posé le cadre on peut revenir expliquer nos deux exemples introductifs.

3 Spectre d'une lampe à vapeur de mercure

On fait le spectre de la lampe à Mercure. On remarque des raies. Discontinues. On mesure les différents λ et on calcule les écarts entre les bandes pour calculer l'énergie des photons.

Définition – Une lampe spectrale émet une série de longueurs d'onde caractéristique de l'élément qu'elle contient. Le spectre est constitué de pics fins appelés raies spectrales.

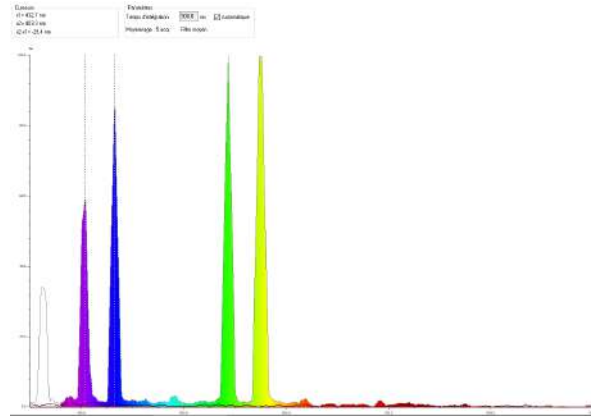


Figure 4 – Caption

On peut calculer les transitions auxquelles correspondent ces bandes. Parce qu'on a pu calculer les niveaux théoriques de l'atome de mercure.

La première bande est à 403 nm. On calcule l'énergie associée avec $E = h\nu$ et on trouve une énergie de 3.08 eV et on regarde à quoi ça correspond sur le spectre. Ça correspond à la transition entre E_1 et E_5 . La bleue correspond à la transition entre E_2 et E_5 .

Et on remonte aux valeurs des transitions.

3 Conclusion

En conclusion nous avons différents types de sources de lumières qui ont chacune leurs caractéristiques.

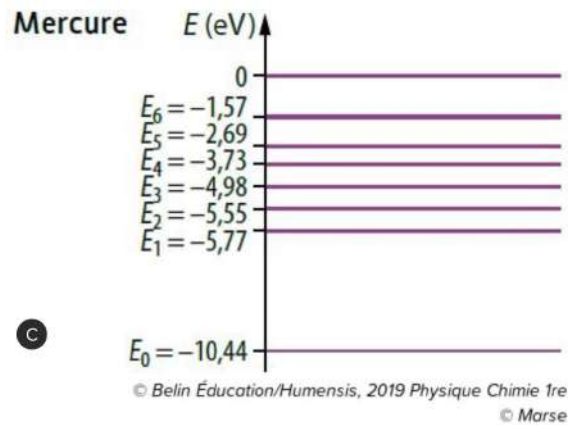


Figure 5 – Caption

Annexe

Corps Noir

Définition – Corps noir :

Un corps noir est un corps qui absorbe l'intégralité du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit.

Définition – Loi de planck :

$$u_{\lambda}^0(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_b T}\right) - 1} \quad (5)$$

Loi de stephan

$$\phi^0(T) = \sigma T^4 \quad (6)$$

Effet photoélectrique

Différentes lampes

Lampe à vapeur de mercure

On a un gaz particulière dans lequel on fait passer un arc électrique, ça excite les atomes et ça induit l'émission de photons.

Etoiles de Wolf-Rayet

Etoile chaude de plusieurs masses solaires. se met à expulser la matière entourant son noyau sous forme de vents stellaires à haute vélocité, laissant celui-ci à nu. Après la séquence principale, combustion de l'He, de C et O. On a des bandes d'émissions.