

Fiche 1

Spectres (secondaire)

Ressources utilisées

- Lelivrescolaire, 1^{re} physique chimie
- Lelivrescolaire, 1^{re} enseignement scientifique
- Belin, 1^{re} physique chimie
- Sites internet...
- Fiche de M. LECONTE pour des illustrations alternatives.

Pré-requis

- Ondes électromagnétiques (phénomène, vitesse)
- Ondes mécaniques (relations entre λ , T , f et v)
- Constitution de la matière (atomes, noyaux, électrons)

Introduction pédagogique

Remarque Élément imposé : température de couleur d'une ampoule commerciale

Niveau Première (spécialité, nouveau programme).

Remarque Possibilité de travailler en Première STL, Physique-Chimie et Mathématiques. Voir fiche de M. LECONTE pour cela.

Difficultés — dualité onde-corpuscule et quantification $\rightarrow$ pour l'amener aux élèves, on décrit d'abord des spectres continus, puis on se demande pourquoi certains spectres présentent des raies ;
— unités et conversion, en particulier l'introduction de l'électron-volt.

Travaux dirigés — étude de différentes ampoules et température de couleur ;
— étude de documents sur les types spectraux des étoiles ;
— étude de lampes à vapeur (hydrogène, sodium, ...) ;
— étude d'autres domaines que le visible : production de rayons X ;
— étude de documents sur le principe de la ChemCam (caméra utilisée sur Curiosity pour déterminer les éléments constitutifs de Mars).

Travaux pratiques

La leçon clôt le thème « Ondes et signaux ». Les élèves commencent à aborder la dualité onde-corpuscule de la lumière. Il faut pouvoir la justifier expérimentalement : on présente les spectres atomiques et on les exploite.

Avant de s'attacher à une partie sur les spectres atomiques, on reviendra sur l'étude des spectres de corps chauffés, qui est normalement vue en enseignement scientifique, mais qui permet de re-situer les concepts pour les élèves.

On fait le choix de ne traiter les spectres des ondes électromagnétiques uniquement, pour lesquelles on rappellera les propriétés en introduction de la leçon.

Remarque En TS, on aurait pu s'attacher à l'étude des spectres IR, RMN, UV-visible, ou encore les spectres de Fourier pour les signaux sonores (aussi vus en 1^{re} Ens.Sci.).

Introduction

Onde électromagnétique (oem) : phénomène vibratoire qui peut se propager dans le vide (ou dans un milieu matériel) à une vitesse $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Projection

À une oem sont associés un champ électrique et un champ magnétique orthogonaux entre-eux et orthogonaux à la direction de propagation (**Source** : Lelivrescolaire (p. 365)).

Une oem est caractérisée par une longueur d'onde λ . Comme pour les ondes mécaniques, on peut relier λ à la période T ou à la fréquence f :

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}. \quad (1.1)$$

Spectre : description d'un signal (par exemple une oem) en fonction de sa ou ses longueurs d'onde ou fréquences.

On va rencontrer plusieurs types de spectres au cours de la leçon, mais uniquement dans le domaine des ondes électromagnétiques.

Projection

Spectre électromagnétique (**Source** : Belin (p. 336)). *Identifier les différents domaines et rappeler les applications des rayonnements associés.*

Objectifs Utiliser des spectres pour décrire et expliquer des phénomènes physiques ou des sources d'oem visibles.

1.1 Étude des corps chauffés

La première source de lumière qui nous vient à l'esprit est la lampe à incandescence. Quels points communs a-t-elle avec le soleil ? Comment comparer les lumières issues de ces deux sources ?

Nous considérons ici des corps chauffés, c'est à dire des corps dont on va augmenter la température. À l'intérieur de ceux-ci donc, l'agitation thermique augmente : les atomes se mettent en mouvement sous l'effet de la température. Ce sont ces mouvements qui provoquent le rayonnement d'une onde électromagnétique, que l'on va étudier par la suite, à l'aide du spectre associé au corps chauffé.

1.1.1 Le modèle du corps noir

Corps noir : corps idéal qui absorbe toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit.

On peut tracer le spectre associé à un corps noir, à savoir la variation de l'intensité lumineuse émise en fonction de la longueur d'onde.

Projection

Spectre d'un corps chauffé (**Source** : phet.colorado.edu).

On voit sur ces simulations la variation de λ_{max} lorsque l'on fait varier T : le maximum d'intensité se déplace, et est d'autant plus fort que la température augmente.

Cette observation est faite par WIEN pour l'étude du corps noir, qui conduit à la loi de WIEN : le corps noir émet un rayonnement qui ne dépend que de sa température de surface T . On peut alors écrire :

$$\lambda_{max}T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ K}. \quad (1.2)$$

où λ_{max} est la longueur d'onde du maximum d'émission du corps noir.

Les spectres associés à des corps noirs sont des spectres **continus**.

1.1.2 Sources lumineuses usuelles

Projection

Spectre du Soleil : comparaison entre ce qui est mesuré et le modèle du corps noir.

Le modèle du corps noir semble être validé pour le Soleil. On peut donc lui appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de sa surface. On lit : $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$, ce qui correspond à $T = 5800 \text{ K}$.

Projection

Spectre d'une lampe halogène, reprendre l'animation PHET.

On peut voir que la lampe halogène suit aussi le modèle du corps noir. On peut faire la même application numérique pour déterminer la température du filament. On voit que $\lambda_{max} = 950 \text{ nm}$ (dans l'IR), donc $T = 3050 \text{ K}$.

Mais attention ! En réalité, le corps noir est un **modèle**. La température de l'objet émetteur n'est donc pas toujours égale, ni même parfois proche, à la température prévue par la loi de WIEN, appelée **température de couleur**. C'est par exemple le cas des DEL, des lampes fluorocompactes, ...

Projection

Spectres continus de différentes lampes (**Source : energie-environnement.ch**).

On peut se demander pourquoi le spectre des lampes fluorocompactes a une allure si piquée. C'est l'objet de la seconde partie.

1.2 Les spectres atomiques et l'aspect particulaire de la lumière

1.2.1 Mise en évidence

Projection

Comparaison du spectre d'une lumière blanche et de celui d'une lampe à vapeur d'hydrogène (**Source : web-labosims.org**). On pourra aussi décrire le montage expérimental.

Au lieu d'un spectre continu, on observe un **spectre de raies**. Cela est dû à une autre description de la lumière.

En 1905, Einstein postule que la lumière est constituée de « grains », appelés photons aujourd'hui, présentant des énergies quantifiées. Leur énergie suit la loi :

$$E = h\nu, \quad (1.3)$$

où $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$ est la constante de PLANCK.

Bohr introduit alors en 1913 la quantification des niveaux d'énergie des atomes pour expliquer les spectres de raies. Cela permet alors de faire correspondre l'énergie des grains de lumière, les photons, avec les niveaux énergétiques des atomes !

Projection

Diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène (**Source** : Belin (p. 333)).

Sur ces diagrammes énergétiques, on peut alors mettre en valeurs plusieurs transitions énergétiques : on change le niveau d'énergie de l'atome, fondamental ou excité. [on présente schématiquement émission et absorption]. On a alors :

$$|\Delta E| = h\nu, \quad (1.4)$$

où $|\Delta E|$ correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux de l'atome.

1.2.2 Spectres d'émission

Les niveaux d'énergie correspondent au placement des électrons dans l'atome.

L'état de plus faible énergie est appelé **état fondamental**. Pour l'hydrogène, son énergie vaut $E_1 = 13.6 \text{ eV} = 13,6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. L'électron-volt eV est l'unité utilisée pour donner l'énergie des électrons. Elle est plus pratique que le joule car on s'affranchit des puissances de 10. Il faudra cependant faire attention aux conversions dans les exercices !

Les autres états d'énergies supérieures sont appelés **états excités**.

Dans la lampe à vapeur d'hydrogène, les atomes sont excités par une décharge électrique. On suppose par exemple qu'ils sont donc initialement à l'état excité $n^\circ 3$. Ils se dés excitent ensuite vers les états $n^\circ 2$ ou $n^\circ 1$. On peut faire l'application numérique pour une transition vers l'état excité $n^\circ 2$:

$$|\Delta E| = |E_f - E_i| = |-3,4 - (-1,51)| = 1.89 \text{ eV} \quad (1.5)$$

puis, on utilise la relation 1.3 :

$$\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|} = 657 \text{ nm}. \quad (1.6)$$

Remarque Il faut convertir $|\Delta E|$ en joule pour obtenir la bonne valeur de λ !

Cette transition est caractérisée par l'**émission d'un photon** de longueur d'onde λ . Si on la compare au spectre de la lampe, on reconnaît l'une des raies.

1.2.3 Spectres continus et spectre d'absorption

Les spectres de raies ont été découverts bien avant Einstein, en 1802 par WOLLASTON.

Projection

Spectre d'absorption du Soleil.

On observe des raies noires sur le spectre continu, voir Belin.

Les raies noires correspondent au phénomène opposé de l'émission vue précédemment : l'**absorption**. En effet, l'atmosphère du Soleil est constituée de gaz qui absorbent les longueurs d'onde qui leur sont caractéristiques. On peut alors remonter à la composition de l'atmosphère du Soleil en connaissant son spectre d'absorption !

Remarque On pourra faire voir aux élèves cette subtilité avec l'animation https://web-labosims.org/animations/App_spectre_etoile/App_spectre.html.

Pour l'hydrogène, on s'attend aux mêmes bandes que celles décrites dans la sous-partie précédente et on les retrouve dans le spectre du Soleil. On en déduit que son atmosphère est constituée d'hydrogène.

Conclusion

Projection

Bilan

On a vu d'une part que le modèle du corps noir permettait de décrire la lumière du Soleil ou des lampes halogènes (des corps chauffés). Les spectres de ces sources sont continus et suivent la loi de Wien, qui définit une température de couleur.

D'autre part, l'excitation d'atome peut conduire à des sources de lumière spectrale, et donc à des spectres discrets.

Projection

Montage permettant d'obtenir un spectre d'émission ou un spectre d'absorption (**Source** : Belin (pp. 334-335)).

[On pourra éventuellement ouvrir sur les spectres sonores, Spectres sonores, ensciences.]

Questions et débrief

Questions	Réponses
<i>Rayonnement du corps noir.</i>	
Comment expliquer l'origine du rayonnement d'un corps ?	Il s'agit d'un des trois transferts thermiques.
D'où vient ce rayonnement électromagnétique ?	De l'agitation thermique.
Pourquoi utilise-t-on une caméra IR pour détecter des humains dans le noir ?	La température de la peau est proche de 30 ° C. Les humains rayonnent donc dans l'IR d'après la loi de Wien.
D'où vient théoriquement la loi de Wien ?	Elle est la dérivée de la loi de Planck.
Quelle autre loi est typique du rayonnement ?	La loi de Stefan, obtenue en intégrant la loi de Planck.
<i>Lampes.</i>	
Comment le filament d'une lampe à incandescence est-il chauffé ?	Par un courant électrique qui engendre de l'effet Joule.
Comment fonctionne une DEL ?	Il s'agit d'un semi-conducteur. La recombinaison des paires trou-électron implique l'émission d'un photon d'énergie proche de celle du gap.
Quelle lampe utilise-t-on en TP pour obtenir une lumière blanche ?	La lampe quartz-iode.
Comment fonctionne-t-elle ?	Un filament de tungstène se sublime dans une ampoule en verre de quartz. L'iode permet de régénérer le tungstène.
À quoi sert le filtre anticalorique ?	À empêcher les transferts thermiques dus aux rayonnements IR qui peuvent abîmer les lentilles en les chauffant.

Décomposition de la lumière.

Qu'est-ce qu'un prisme ?	Matériau transparent d'indice optique élevé (ex : verre, plexiglas, ...).
Quelle loi donne n en fonction de λ ?	La loi de Cauchy : $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$
Donner des ordres de grandeur d'indices optiques ?	Connaître ceux de l'eau, du verre, de l'air (respectivement 1.3, 1.5 et 1).
Qui a découvert la décomposition de la lumière blanche ?	Newton en 1666.
Que se passe-t-il si on utilise un milieu biréfringent ?	On observe une double réfraction.
Donner des exemples de matériaux biréfringents.	Le spath, le quartz, la calcite, le rubis, le saphir, ...

Lampes spectrales et spectres de raies.

Quelle est la différence entre émissions spontanée et stimulée ?

L'une sans photon incident, l'autre avec ; une avec émission aléatoire, l'autre avec émission cohérente. Quel objet utilise l'émission stimulée ?

Le laser.

Comment fonctionne une lampe spectrale ?

Décharge électrique au sein du gaz, les électrons en passant dans le gaz excitent les atomes, qui se dés excitent ensuite.

A quoi ressemble le spectre d'une lampe à vapeur de sodium ?

Comment fonctionne un spectromètre ? Prisme ou réseau (dans un ensemble calibré, formule des réseaux permet de remonter à λ).

Comment caractériser la composition atomique de l'atmosphère terrestre ? On peut proposer de comparer le spectre en absorption du soleil depuis la surface terrestre et depuis un satellite.

La leçon était bien positionnée et l'introduction pédagogique bonne.

Le titre "Spectres" indique qu'il faut présenter plusieurs types de spectres. Cependant, ce n'est pas forcément une bonne idée de mélanger différents domaines (par exemple mélanger spectres de Fourier et spectres EM).

Partie I Il manque dans le I l'origine du rayonnement (l'agitation thermique). Il faut également savoir que la loi de Wien n'est pas à retenir par les élèves (pas la valeur de la constante).

La leçon aurait pu être plus visuelle en introduisant d'abord les spectres et ensuite la théorie.

C'était une très bonne chose de différencier température réelle et température de couleur.

Partie II Il faudrait d'abord définir le photon et seulement après montrer la quantification d'énergie. Il faudrait également d'abord définir l'émission et l'absorption avant de présenter les spectres.

Il faut vraiment prendre le temps de faire la conversion $\text{eV} \rightarrow \text{J}$ pendant la leçon, d'autant plus que ça a été énoncé comme une difficulté. On pourrait d'ailleurs ajouter comme difficulté la conversion $^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{K}$.

Conclusion Les schémas de la conclusion étaient très bien !

On pourrait introduire en ouverture les spectres de Fourier pour montrer que les spectres ne sont pas spécifiques aux oem.