

Spectres et niveaux d'énergie

A. Le spectre électromagnétique

Notre compréhension de la nature de la lumière fait un bond de géant dans la seconde moitié des années 1800 avec l'aide du physicien écossais James Clerk Maxwell. Maxwell s'intéresse à une foule de problèmes scientifiques dont l'électricité et le magnétisme. Il commence à publier des articles sur ces sujets en 1855, et synthétisera l'ensemble en 1873 dans son livre intitulé *Treatise on Electricity and Magnetism* (ou *Traité sur l'Électricité et le Magnétisme*, en français), un classique en la matière. En 1863, Maxwell découvre qu'en manipulant ses équations sur l'électricité et le magnétisme, il est capable d'extraire une valeur qui correspond à la vitesse de propagation de la lumière. Surpris par un tel résultat, il commence alors à soupçonner que lumière, électricité et magnétisme ne font qu'un. Poursuivant sur sa lancée, il développe davantage ses équations sur l'électricité et le magnétisme et aboutit à la conclusion que la lumière doit être une onde, comme l'avait démontré Thomas Young plus de cinquante ans auparavant, mais une onde électromagnétique, c'est-à-dire possédant une composante électrique et magnétique, ce qui est en soit une découverte capitale. De plus, il n'y a aucune raison, selon lui, pour qu'il n'existe pas d'ondes électromagnétiques invisibles au-delà du spectre de la lumière visible et de l'ultraviolet. Par malheur, Maxwell ne vivra pas assez longtemps pour vérifier si sa prévision s'avère exacte car il meurt en 1879, peu de temps après avoir élaboré sa théorie. En 1888, ce sera pourtant la consécration pour lui : le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz parvient en effet à démontrer que l'électricité peut être transmise par ondes électromagnétiques, que celles-ci voyagent à la vitesse de la lumière et que leur longueur d'onde est un million de fois plus grande que celles de la lumière visible et de l'ultraviolet. Hertz donne à ces nouvelles ondes le nom « d'ondes radio ». Elles joueront plus tard, on s'en doute bien, un rôle de premier plan dans le développement du télégraphe et de la radio.



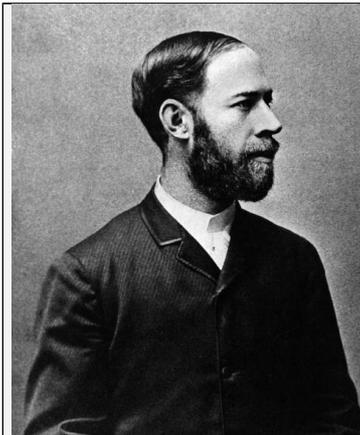
Thomas **Young** (1773–1829)

Physicien britannique réputé pour avoir mis en évidence le caractère ondulatoire de la lumière. Il s'intéressera à de nombreux domaines de la science, des mathématiques, à la médecine en passant par l'égyptologie.



James Clerk **Maxwell** (1831–1879)

Grand scientifique du XIX^{ème} siècle, les travaux de Maxwell sur la théorie de l'électromagnétisme ont été à la base des plus grandes théories du XX^{ème} siècle. Il a également contribué à la théorie ondulatoire de la lumière, à l'étude de la cinétique des gaz et à la théorie des couleurs.



Heinrich **Hertz** (1857–1894)

Physicien allemand spécialiste de l'électromagnétisme. Comme Maxwell il s'est intéressé au caractère ondulatoire de la lumière, notamment dans le domaine des ondes radiométriques. Il est à l'origine de la télégraphie et de la téléphonie.

Aujourd'hui, le spectre électromagnétique est connu pour s'étendre bien au-delà des couleurs de l'arc-en-ciel. Le spectre électromagnétique est continu mais les scientifiques l'ont divisé de façon artificielle pour des raisons de commodité. Les divisions ont surtout été établies à l'aide des techniques utilisées pour détecter les différentes longueurs d'onde. Par exemple, les limites du domaine de la lumière visible sont définies par ce que nos yeux peuvent détecter. La portion du spectre électromagnétique que nous pouvons percevoir avec nos yeux est infime par rapport à son étendue totale. Si on faisait correspondre le spectre électromagnétique à une fenêtre de 30 millions de kilomètres de long, il ne faudrait ouvrir la fenêtre que de 3 centimètres pour laisser passer la lumière visible. Bien que les ondes radio, infrarouges, ultraviolettes, X et gamma soient toutes des « couleurs » invisibles, ce sont toutes, comme les ondes visibles, de la lumière.

Données : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

1. Quel est le rapport entre l'électricité, le magnétisme et la lumière d'après Maxwell ?

.....

.....

2. Quelle relation y a-t-il entre la longueur d'onde et la fréquence d'un rayonnement électromagnétique ?

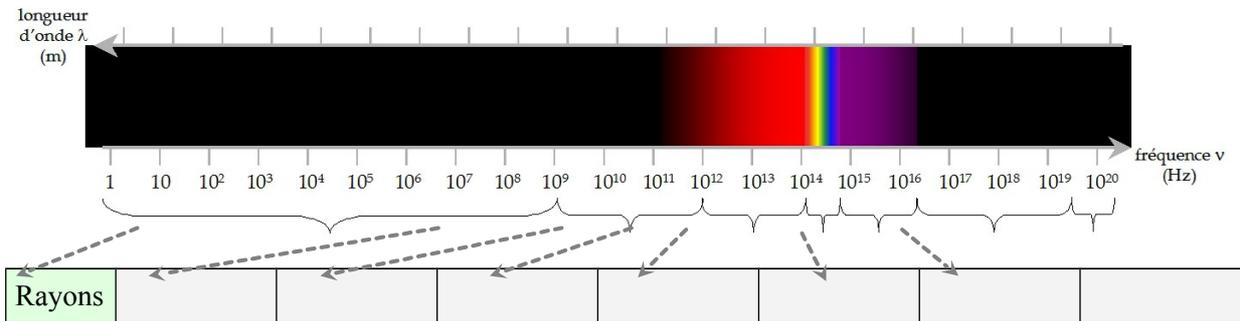
.....

.....

3. Calculer la longueur d'onde correspondant aux différents domaines de fréquence, puis compléter le tableau ci-dessous :

<i>Rayons cosmiques et rayons γ</i>	$5 \cdot 10^{19} \text{ Hz} \leq \nu \leq 5 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons X</i>	$3 \cdot 10^{16} \text{ Hz} \leq \nu < 5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons UV</i>	$8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \leq \nu < 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons visibles</i>	$4 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \leq \nu < 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons infra-rouge</i>	$1 \cdot 10^{12} \text{ Hz} \leq \nu < 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons micro-onde</i>	$1 \cdot 10^9 \text{ Hz} \leq \nu < 1 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ $< \lambda <$
<i>Rayons radio</i>	$0 \text{ Hz} \leq \nu < 1 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ $< \lambda <$

4. Compléter la légende du schéma suivant :



5. En vous aidant du texte, quel pourcentage représente le domaine visible par rapport au spectre électromagnétique total ?

.....

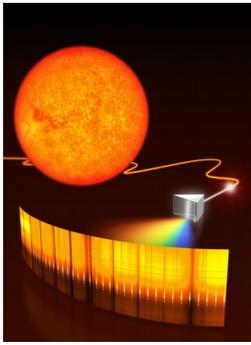
6. Quelles sont, dans ce spectre, les radiations les plus énergétiques ?

.....

Caractéristiques du spectre solaire

B. Spectre de Fraunhofer et éléments chimiques

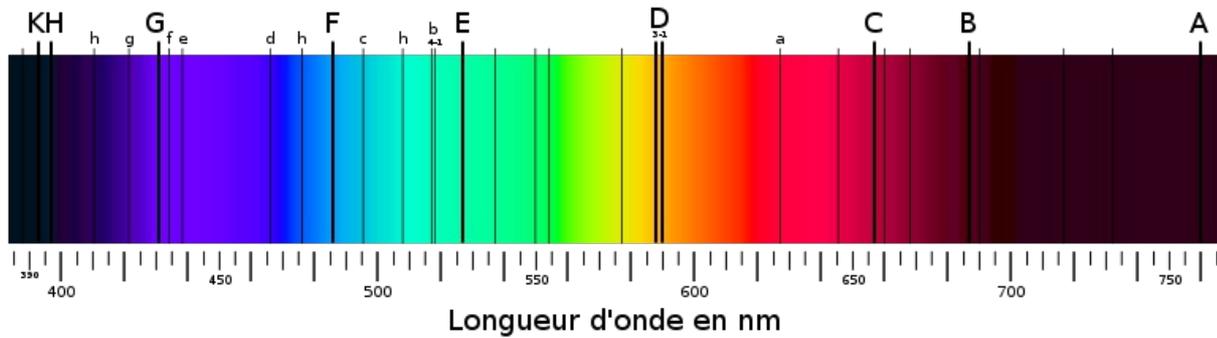
Au XIX^{ème} siècle le physicien allemand, Joseph Fraunhofer, a étudié le spectre visible de la lumière du soleil décomposée par un prisme. Il a pu en déduire la composition chimique de l'atmosphère solaire. Nous allons voir comment, à partir de l'observation des raies solaires, on a pu vérifier la théorie de quantification des niveaux d'énergie des atomes, notamment l'atome d'Hydrogène.



Dès 1814, le physicien allemand Fraunhofer (1787 – 1826) remarque la présence de raies noires dans le spectre du Soleil. Kirchhoff mesure la longueur d'onde de plusieurs milliers de ces raies et montre qu'elles coïncident avec celles émises par diverses entités chimiques : hydrogène, calcium, cuivre, fer, zinc, Il publie, en 1861, le premier atlas du système solaire.



Voici le spectre de la lumière solaire obtenu par Fraunhofer :



1. Dans le spectre du soleil ci-dessus, s'agit-il de raies d'émission ou d'absorption ?
.....
2. En vous aidant du tableau ci-dessous identifier les raies principales (en majuscule) du spectre solaire de Fraunhofer.

Longueurs d'onde, exprimées en nm de certaines raies caractéristiques de quelques éléments chimiques

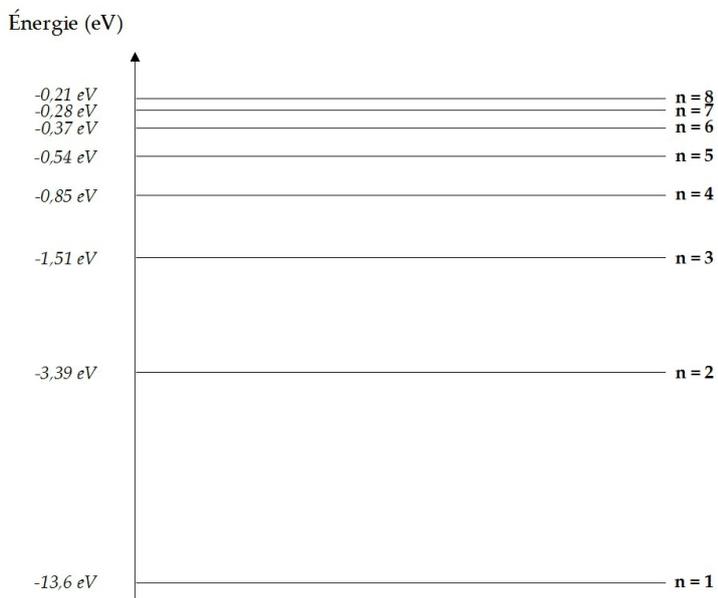
Élément	H	Na	Mg	Ca	Fe	Ti	Mn	O ₂
Longueurs d'onde (nm)	434	589,0	470,3	396,8	438,3	466,8	403,6	686,7
	486,1	589,6	516,7	422,7	489,1	469,1		762,1
	656,3			458,2	491,9	498,2		
				526,2	495,7			
				527	532,8			
					537,1			
				539,7				

Raie d'absorption	A	B	C	D ₁	D ₂	E	F	G	H	K
Élément chimique										

C. Diagrammes d'énergie

Pour expliquer le spectre solaire, en particulier la présence des raies d'absorption, il faudra attendre le début du XXème siècle avec l'avènement de la mécanique quantique. Dans l'atome d'Hydrogène que nous allons étudier, tous les niveaux d'énergie ne sont pas accessibles, seuls certains le sont, on parle de quantification. Un atome excité émettra un photon possédant une certaine énergie, donc à une certaine fréquence.

Voici le diagramme d'énergie de l'atome d'Hydrogène :



1. Calculer la variation d'énergie ΔE_{n_2} correspondant aux transitions entre les niveaux d'énergie E_n et E_2 , pour $n=3$ à $n=8$.

.....

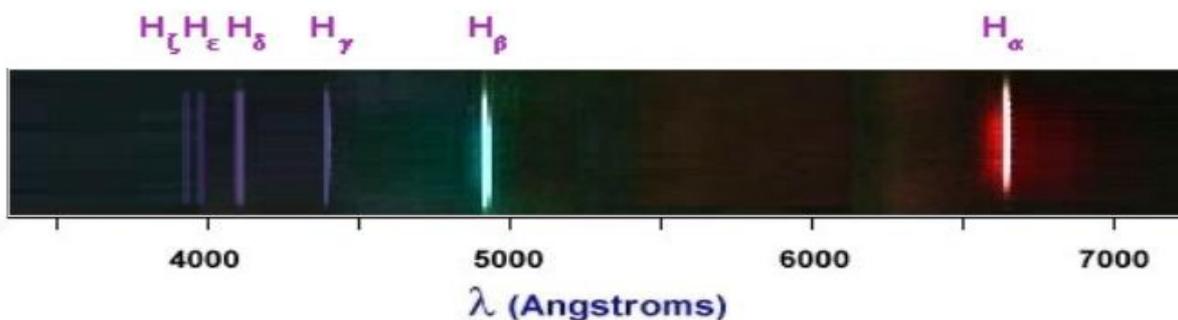
.....

2. En déduire la fréquence ν_{n_2} du photon émis par l'atome d'Hydrogène pour chaque transition, puis calculer la longueur d'onde λ_{n_2} correspondante.

.....

.....

3. En observant le spectre d'émission de l'atome d'Hydrogène, identifier les raies en fonction des longueurs d'onde calculées précédemment. (1 Angstrom = 0,1 nanomètre)



Raies	H_α	H_β	H_γ	H_δ	H_ϵ	H_ζ
Longueur d'onde (nm)						

Ces raies sont appelées « raies de Balmer ». Il existe d'autres raies, invisibles à l'œil nu, appelées « raies de Lyman » dans l'ultra-violet (transitions E_{n_1}) et les « raies de Paschen » dans l'infra-rouge (transitions E_{n_3}).

Retrouver les raies de Balmer dans le spectre solaire de Fraunhofer.

Fiche professeur

Thème du programme : **Observer**

Sous-thème : **Sources de lumière colorée**

Spectres et niveaux d'énergie

Type d'activité : Activité documentaire

Conditions de mise en œuvre : (application, durée indicative : 1h30 min, le document est composé de deux parties, une partie sur le spectre électromagnétisme, une autre partie sur le spectre solaire et les niveaux d'énergie de l'atome d'Hydrogène).

Pré-requis :

Savoir que la lumière blanche est composée de lumières colorées.

Connaître la relation entre la fréquence et la longueur d'onde.

Connaître l'expression de l'énergie d'un photon en fonction de la fréquence.

Savoir différencier un spectre d'émission et un spectre d'absorption.

NOTIONS ET CONTENUS

COMPETENCES ATTENDUES

Interaction lumière matière : émission et absorption.
Quantification des niveaux d'énergie de la matière
Modèle corpusculaire de la lumière : le photon.
Energie d'un photon.
Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie.
Spectre solaire.

Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière.
Connaître les relations $\lambda=c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.
Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.

Compétences transversales : (préambule du programme et socle commun)

Rechercher, extraire, organiser des informations utiles.

Raisonner, argumenter, démontrer.

Présenter la démarche suivie, les résultats obtenus, communiquer à l'aide d'un langage adapté.

Histoire des Sciences

Mots clés de recherche : matière, couleurs, spectres, lumière, absorption, émission, niveaux énergie, raies, photon, fréquence, longueur d'onde

Provenance : Académie de Strasbourg

Adresse du site académique : <http://www.ac-strasbourg.fr/disciplines/physchim>

1S TP4
 AUTO-EVALUATION
 NOM :
 prénom :

Compétences évaluées TP4	Niveau atteint			
	A	B	C	D
ANA Rechercher, extraire, organiser des informations utiles.				
REA observations, mesures et calculs, utilisation tableur grapheur				
VAL exploiter et interpréter des observations , des mesures <ul style="list-style-type: none"> • Connaître les relations $\lambda=c/v$ et $\Delta E = hv$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie. • Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire. 				
COMM <ul style="list-style-type: none"> • Présenter la démarche suivie, les résultats obtenus, communiquer à l'aide d'un langage adapté. 				
TOTAL				