

## AP Séance 3 - Rayonnement du corps noir – spectroscopie de l'atome d'Hydrogène (Extraits de la composition n°1 du 16 novembre 2012)

### Doc 1 : Le Soleil est un corps noir !

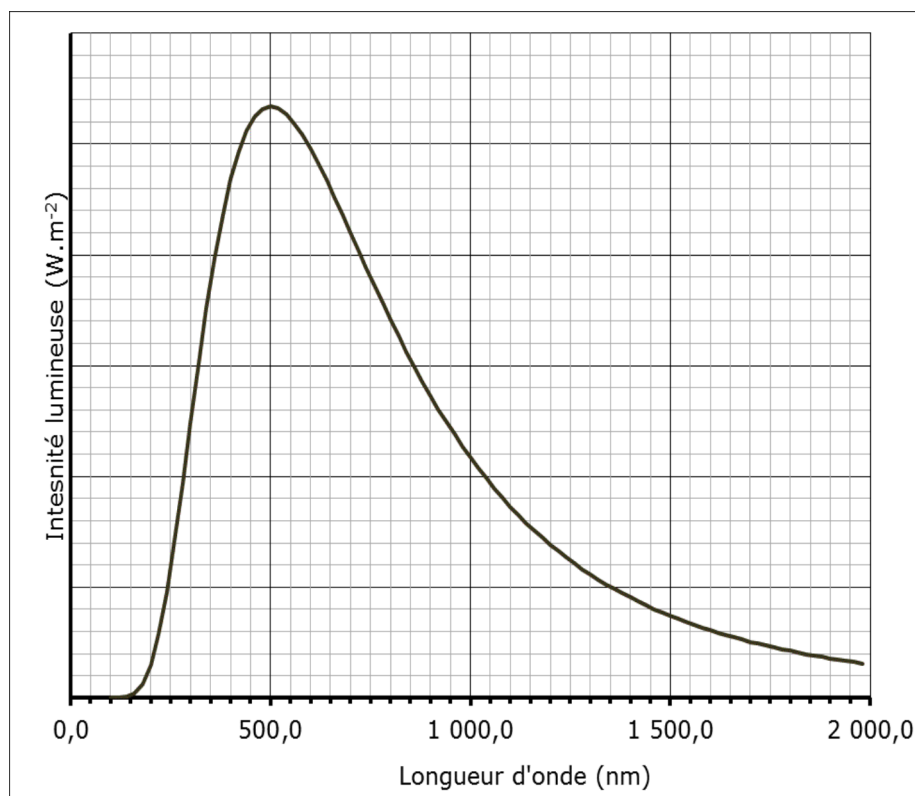
Le Soleil nous apparaît visuellement jaune, il émet de la lumière blanche, on dit que c'est un corps noir à la température de 5 800 K (soit environ 5 500°C). Il y a matière à s'interroger... Pourquoi dit-on que « c'est un corps noir à la température de 5 800 K » ?

Un corps noir est un corps qui absorbe, sans la réfléchir ni la diffuser, toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit. La meilleure façon de visualiser cela est d'imaginer une boîte dont les parois seraient parfaitement réfléchissantes vers l'intérieur, afin qu'aucun rayonnement émis par les atomes contenus dans la boîte ne s'échappe, ce qui constituerait une perte d'énergie, et donc entraînerait une baisse de la température. Une telle boîte est appelée « corps noir » par les physiciens, et le « rayonnement du corps noir » est la lumière qui baigne la boîte. Pourquoi noir ? Parce qu'aucune lumière ne s'échappe, vu de l'extérieur l'objet apparaît donc... noir ! Si on fait un petit trou dans la boîte, alors de la lumière s'échappera, et l'observateur pourra analyser le rayonnement perçu, un peu comme si l'on ouvrait la porte d'un four contenant du fer en fusion. C'est d'ailleurs un four qui fut utilisé par W.Wien pour déterminer les lois d'émission électromagnétique en fonction de la température et trouver sa loi de déplacement :

$$\lambda_{\max} T = 2,98.10^{-3} (m.K)$$

Evidemment, il s'agit d'une expérience de pensée. Par exemple, dans un four, un peu de rayonnement s'échappe : cette perte d'énergie est compensée en chauffant, afin de maintenir la température constante. Dans une étoile, ce sont les réactions de fusion nucléaire qui compensent la perte d'énergie due à l'immense quantité de rayonnement émis, de sorte que la température reste constante et que la surface de l'étoile peut être modélisée par un corps noir à la température de 5800 K.

### Doc 2 - Profil spectral d'un corps noir à la température de surface du Soleil



### Doc 3 – Spectre de Fraunhofer

- Vers 1802, le chimiste britannique *William Hyde Wollaston* remarque un fait surprenant : le spectre de la lumière solaire n'est pas continu. En effet, de nombreuses raies noires entrecoupent les couleurs du spectre. Malheureusement, il n'y porte pas une grande attention et aucune tentative n'est avancée pour expliquer leur présence.
- Quelques années plus tard, en 1814, l'opticien allemand *Josef von Fraunhofer* remarque les mêmes raies dans le spectre de la lumière solaire. Ignorant leur signification, il se met quand même à mesurer leurs positions et en catalogue 324.



W H  
Wollaston  
1766-1828



J von  
Fraunhofer  
1787-1826

• En 1859, le chimiste allemand *Robert Wilhelm Bunsen* (qui améliora et popularisa le brûleur qui porte le même nom) utilise un moyen d'analyse plutôt original : il introduit des sels minéraux dans la flamme de son brûleur et observe les couleurs générées par le gaz produit. Il parvient ainsi à déduire si un constituant est présent ou non dans un minéral en observant la couleur qui, selon lui, le caractérise.



R W Bunsen  
1811-1899

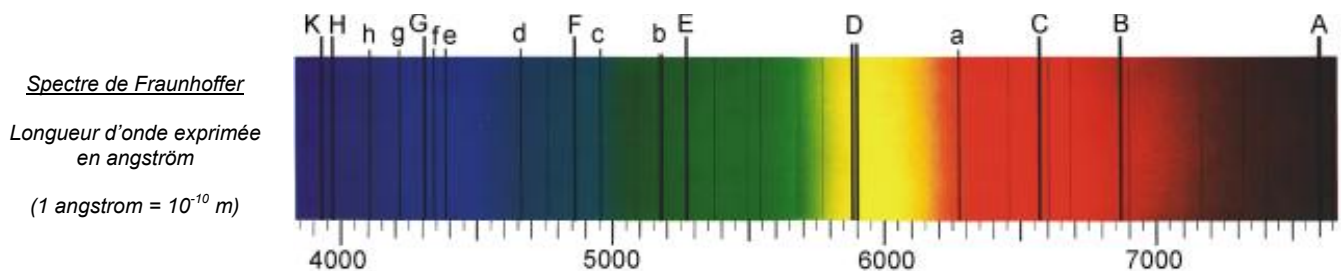


G R Kirchhoff  
1824-1887

• *Gustav Robert Kirchhoff*, un physicien allemand et ami de Bunsen, propose plutôt de disperser la lumière produite par le gaz avec un prisme de façon à générer un spectre. S'intéressant alors au spectre de la lumière solaire, Kirchhoff constate que les raies noires de Fraunhofer correspondent exactement à des raies brillantes émises par certains éléments chimiques.

*Il comprend alors que la lumière blanche produite depuis la surface chaude du soleil est en partie absorbée par certains éléments chimiques présents dans son atmosphère qui elle, est plus froide, ce qui génère les raies noires.*

Les deux chercheurs font alors une découverte majeure : ils constatent que chaque élément chimique génère une série de raies spectrales qui le caractérise de façon unique, comme une empreinte digitale.



#### Doc 4 – L'atome d'hydrogène

Pour expliquer le spectre solaire, en particulier la présence des raies d'absorption, il faudra attendre le début du XX<sup>ème</sup> siècle et l'avènement de la mécanique quantique.

Dans l'atome d'Hydrogène, tous les niveaux d'énergie ne sont pas accessibles. *L'énergie de l'atome est quantifiée.*

Un atome excité émettra un photon possédant une certaine énergie, donc une fréquence bien précise.

• Les raies visibles sur le spectre de l'hydrogène sont appelées « raies de Balmer ».

Il existe d'autres raies, invisibles à l'œil nu :

- Les « raies de Lyman » dans l'ultra-violet correspondant aux transitions  $E_{n1}$
- Les « raies de Paschen » dans l'infrarouge correspondant aux transitions  $E_{n3}$ .

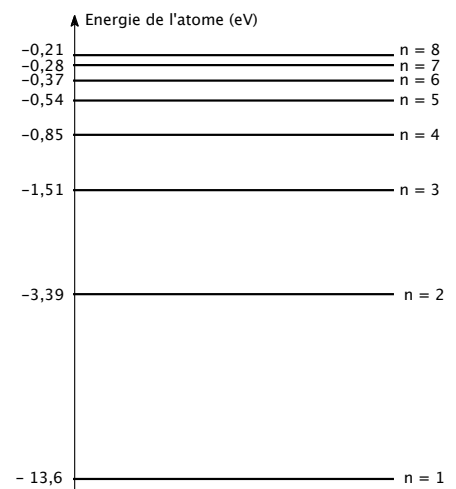
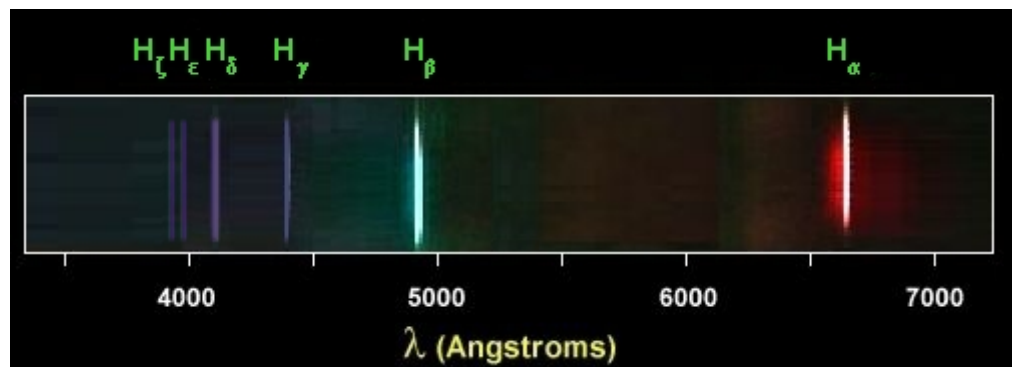


Diagramme énergétique de l'hydrogène

Spectre de raies d'émission de l'atome d'hydrogène

Longueur d'onde exprimée en angström

(1 angström =  $10^{-10}$  m)



## QUESTIONNAIRE

Données

Constante de Planck  
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

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

### I . Questions sur les documents 1 et 2

1. Que signifie la loi de déplacement de Wien ?
2. Déterminer la longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse émise par le Soleil est maximale. A quelle gamme de couleur cela correspond-il ?
3. Montrer que le profil spectral du *document 2* correspond bien à l'émission de lumière par un corps à 5800 K.
4. Quel est la longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité pour un filament de tungsten à la température de 2700 K ?

### II . Questions sur les documents 3 et 4

1. Expliquer succinctement la phrase en italique du *document 3*.

Pour les questions 2 et 3, vous détaillerez un seul calcul, puis vous remplirez le tableau ci-dessous.

2. On appelle  $\Delta E_{n2}$  la variation d'énergie correspondant aux transitions entre les niveaux d'énergie  $E_n$  et  $E_2$ . Calculer  $\Delta E_{n2}$  pour  $n = 3$  à  $n = 8$ .
3. En déduire la fréquence  $\nu_{n2}$  du photon émis par l'atome d'Hydrogène pour chaque transition. Puis calculer la longueur d'onde  $\lambda_{n2}$  correspondante.
4. En observant le spectre d'émission de l'atome d'Hydrogène (*document 4*), identifier les raies ( $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$ ,  $H_{\epsilon}$  et  $H_{\zeta}$ ) en fonction des longueurs d'onde calculées précédemment (compléter l'avant-dernière ligne du tableau).
5. A l'aide du *document 3*, identifier par leur lettre les raies de Balmer dans le spectre solaire de Fraunhofer. (compléter la dernière ligne du tableau). Que peut-on en déduire ?

n	3	4	5	6	7	8
$\Delta E_{n2}$ (eV)						
Longueur d'onde $\lambda$ (nm)						
Fréquence $\nu$ (Hz)						
Raie						
Raie de Fraunhofer						

\_\_\_\_\_

## AP Séance 3 - CORRECTION

### I . Questions sur les documents 1 et 2

1 . Que signifie la loi de déplacement de Wien ?

**La loi de déplacement de Wien concerne le profil spectral du corps noir. Lorsque la température du corps noir augmente, la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  de la radiation émise avec le maximum d'intensité par le corps diminue. Le  $\lambda_{\max}$  « se déplace » ainsi vers les courtes longueurs d'onde.**

2 . Déterminer la longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse émise par le Soleil est maximale. A quelle gamme de couleur cela correspond-il ?

**L'énoncé précise que le soleil peut-être considéré comme un corps noir à la température de 5800 K. On applique donc la loi de Wien :**

$$\lambda_{\max} T = 2,98.10^{-3} (m.K)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2,98.10^{-3}}{5800} = 5,14.10^{-7} m$$

**514 nanomètres correspondent à la gamme de couleur verte**

3 . Montrer que le profil spectral du *document 2* correspond bien à l'émission de lumière par un corps à 5800 K.

**Le profil spectral du document 2 correspond bien à l'émission de lumière par un corps noir porté à 5800 K puisque  $\lambda_{\max} = 514 \text{ nm}$  environ.**

4 . Quel est la longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité pour un filament de tungsten à la température de 2700 K ?

**Le filament de tungsten peut-être considéré, avec une bonne approximation comme un corps noir. On peut à nouveau appliquer la loi de Wien à un tel corps :**

$$\lambda_{\max} = \frac{2,98.10^{-3}}{2700} = 1,10.10^{-6} m$$

### II . Questions sur les documents 3 et 4

1 . Expliquer succinctement la phrase en italique du *document 3*.

**La lumière, produite par la surface chaude de l'étoile, traverse l'atmosphère du Soleil (la chromosphère) avant de parvenir sur Terre et d'être analysée au spectroscopie. Les atomes présents dans la chromosphère vont absorber une partie des photons émis par l'étoile. Selon les transitions possibles au sein des atomes de la chromosphère, seules certaines radiations vont être absorbées. Les atomes de la chromosphère ainsi excités finissent par restituer l'énergie absorbée sous forme de photons mais ceux-ci partent dans toutes les directions et ne sont donc plus captés sur Terre par le spectroscopie. On observe ainsi un spectre de raies d'absorption, raies noires sur fond de spectre de la lumière blanche.**

2 . On appelle  $\Delta E_{n2}$  la variation d'énergie correspondant aux transitions entre les niveaux d'énergie  $E_n$  et  $E_2$ . Calculer  $\Delta E_{n2}$  pour  $n = 3$  à  $n = 8$ .

$$\Delta E_{3-2} = E_2 - E_3 = -3,39 - (-1,51) = -1,88 \text{ eV}$$

$\Delta E_{3-2} < 0$  l'atome perd de l'énergie qu'il transmet au photon émis lors de cette transition.

3 . En déduire la fréquence  $\nu_{n2}$  du photon émis par l'atome d'Hydrogène pour chaque transition puis calculer la longueur d'onde  $\lambda_{n2}$  correspondante.

$$\begin{aligned} \text{Le photon émis a pour énergie : } E_{\text{photon}} &= h \cdot \nu_{32} = |\Delta E_{3-2}| \\ \nu_{n2} &= |\Delta E_{3-2}| / h = 1,88.1,60.10^{-19} / 6,63.10^{-34} = 4,54.10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\text{donc : } \lambda_{32} = c / \nu_{32} = 3,00.10^8 / 4,54.10^{14} = 6,61.10^{-7} m$$

4 . En observant le spectre d'émission de l'atome d'Hydrogène (*document 4*), identifier les raies ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ,  $H_\epsilon$  et  $H_\zeta$ ) en fonction des longueurs d'onde calculées précédemment (compléter l'avant-dernière ligne du tableau).

5 . A l'aide du *document 3*, identifier par leur lettre les raies de Balmer dans le spectre solaire de Fraunhofer. (compléter la dernière ligne du tableau). Que peut-on en déduire ?

n	3	4	5	6	7	8
$\Delta E_{n2}$ (eV)	-1,88	-2,54	-2,85	-3,02	-3,11	-3,18
Longueur d'onde $\lambda$ (nm)	661	489	436	412	400	391
Fréquence $\nu$ (Hz)	$4,54.10^{14}$	$6,13.10^{14}$	$6,88.10^{14}$	$7,29.10^{14}$	$7,51.10^{14}$	$7,67.10^{14}$
Raie	$H_{\alpha}$	$H_{\beta}$	$H_{\gamma}$	$H_{\delta}$	$H_{\epsilon}$	$H_{\zeta}$
Raie de Fraunhofer	C	F	f	h	H	K

---