

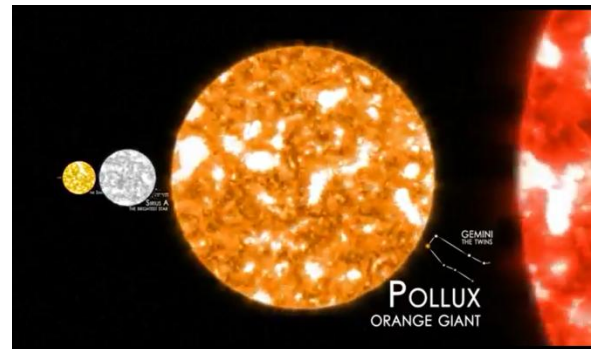
Le soleil - Source d'énergie

Loi de Wien

Problématique

Dans la vidéo décrivant les tailles comparées des astres de notre Galaxie, nous voyons des étoiles de différentes tailles et de différentes couleurs. Cette vidéo peut-elle nous permettre de connaître la température de chaque étoile ?

Source de la vidéo :



<https://www.youtube.com/watch?v=NKyay1W0xmk>

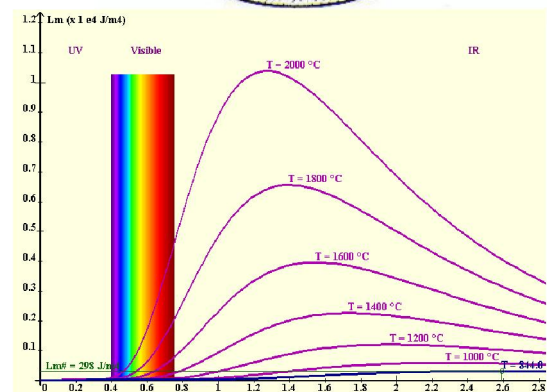
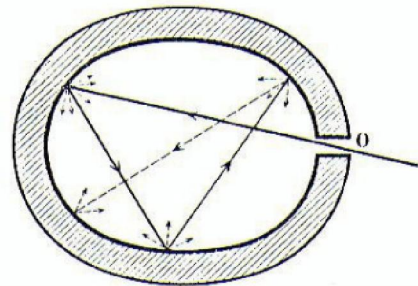
Document : Rayonnement d'un « corps noir »

Le corps noir est un concept qui fait son apparition au début du 19^{ème} siècle avec Kirchhoff : c'est un objet idéal qui absorberait toute l'énergie électromagnétique qu'il recevrait, sans en réfléchir ni en diffuser (c'est pour cela qu'il est qualifié de noir). S'il émet de la lumière, c'est seulement parce qu'il est chaud.

Les physiciens du 19^{ème} siècle utilisèrent en guise de corps noir un récipient du genre thermos, parfaitement isolé thermiquement et dont les parois intérieures réfléchissent tous les rayonnements. Un tout petit trou percé dans la boîte permettait de mesurer le rayonnement qui s'en échappe, sa couleur et son intensité et tout le problème était de tirer des lois à partir de ces mesures.

C'est à la fin du XIX^{ème} siècle que Max Planck décrit l'émission énergétique d'un corps noir aux différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique. Il montre que cette émission correspond à un même profil spectral qui ne dépend que de la température.

Modèle de la loi de Planck <http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr/java/planck/planck.htm>



En 1893, Wilhem Wien simplifie cette loi et l'exprime sous la forme suivante :

$$\lambda_{\max} \times T = 3.10^{-3} \text{ m.K}$$

avec $\lambda_{\max}$: longueur d'onde de la radiation d'intensité maximale émise par le corps en mètres (m) et T : température du corps en KELVIN (K).

Information : le Kelvin est l'unité du système international de la température. La température T en Kelvin est reliée à la température Θ en °C par la relation : $T = \Theta + 273,15$

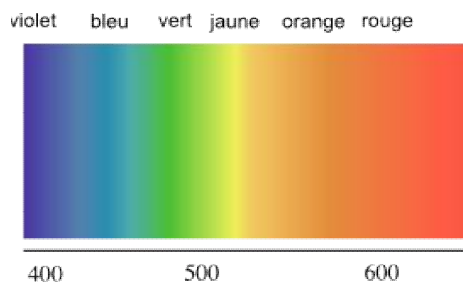
Atelier 1 : Filament chauffé (presque un corps noir)

Matériel : Générateur de tension variable, lampe à filament 6V, spectroscopie à main.

Observez comment évolue la couleur et le spectre d'émission d'un filament d'une lampe à incandescence lorsque la tension à ses bornes augmente et remplir le texte à trous suivant :

Un corps chauffé est : il émet des radiations électromagnétiques. Plus la température d'un corps, plus son spectre s'enrichit en radiations de longueur d'onde.

Ordre des couleurs dans le spectre de la lumière blanche.



Atelier 2 : Soleil et corps noir

On souhaite comparer le rayonnement du Soleil à celui d'un corps noir. Pour cela, vous tracerez le profil spectral de la lumière du soleil et celui d'un corps noir pour différentes températures.

- ✓ Afficher les courbes du rayonnement du corps noir. Ces courbes représentent la puissance rayonnée P en ordonnée en fonction de la longueur d'onde λ en abscisse pour des corps noirs de température différente ($T = 4000\text{K}$, $T = 5000\text{K}$, $T = 6000\text{K}$). Elles sont issues du tableau 1.
- ✓ Repérer la longueur d'onde d'émission maximale λ_{max} de chaque corps noir.
- ✓ Calculer la valeur du produit $\lambda_{\text{max}} \cdot T$ pour chaque corps noir. Conclure sur la loi de Wien.
- ✓ Sur le même graphique, tracer la courbe du rayonnement solaire à partir des valeurs du tableau 2.
- ✓ Exploiter cette courbe pour déterminer la température de surface du Soleil.

Tableau 1 :

Puissances rayonnées (en unités SI) par un corps noir pour différentes températures

$\lambda(\text{nm})$	4000K	5000K	6000K
300	0,3	3,3	16,5
350	0,8	6,1	24
400	1,4	8,7	29
450	2,2	10,8	31,3
500	2,9	12,1	31,5
550	3,4	12,6	30,2
600	3,8	12,7	28,1
650	4	12,3	25,6
700	4,1	11,6	23
800	4	9,96	18,1
900	3,7	8,24	14
1000	3,3	6,7	10,8

Tableau 2 :

Puissances rayonnées (SI) par le Soleil

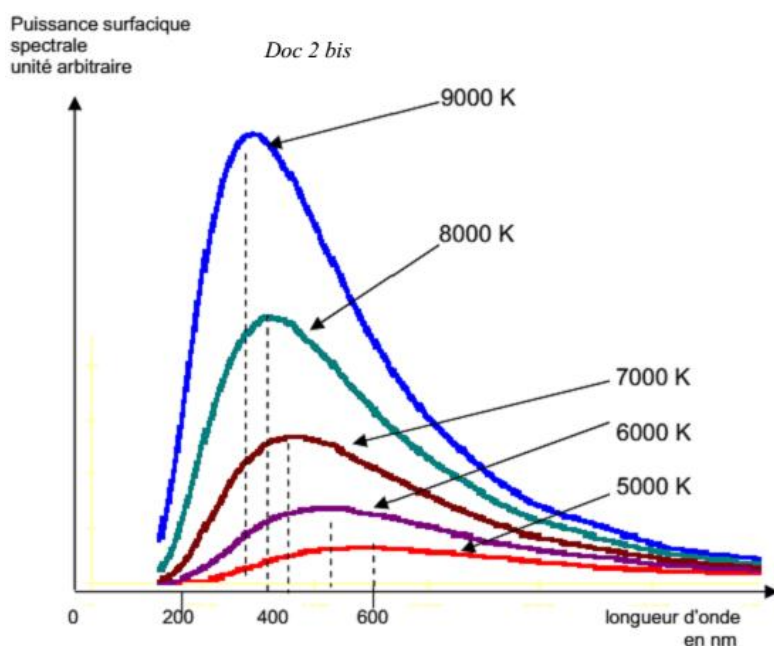
$\lambda(\text{nm})$	Soleil
300	3,2
350	7,6
400	16
450	32
500	35,6
550	33,5
600	30,10
700	21,7
800	15,9
1000	9,9

Atelier 3 : Retrouvons la loi de Wien

Wien montra expérimentalement la relation entre la longueur d'onde λ_{max} du pic d'intensité lumineuse maximale d'un corps chauffé et sa température absolue T (en Kelvin). Tentons de retrouver cette relation.

1- Simulation : L'animation « Rayonnement du corps noir » accessible à l'adresse suivante : http://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_en.html simule l'intensité lumineuse d'un corps chauffé en fonction de sa température absolue T .

a- Placer sur la graphique suivant les limites du domaine visible. <http://www.jf-noblet.fr/noir2/noir2.htm#>



b- Le maximum des courbes se situe-t-il toujours dans le domaine du visible ?

c- Indiquer comment évolue $\lambda_{\max}$ (pic d'intensité lumineuse maximale) lorsque la température T varie.

Un corps noir à une température de 9000K apparaît bleuté car sa puissance surfacique spectrale est maximale dans la partie bleue du spectre.

d- Quelle est la couleur apparente d'un corps noir à 5000K ?

2- Mesures : A partir de la simulation <http://www.jf-noblet.fr/noir2/noir3.htm>

déterminer la valeur de la longueur d'onde $\lambda_{\max}$ afin de compléter le tableau ci dessous.

T (en)	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
$\lambda_{\max}$ (en nm)								

3-Exploitation : A l'aide d'un logiciel tracer les graphiques suivants :

- $\lambda_{\max} = f(T)$
- $\lambda_{\max} = f(T^2)$
- $\lambda_{\max} = f(1/T)$

e- Quel est le graphe le plus simple à exploiter ?

f- Peut-on déduire une relation entre T et $\lambda_{\max}$?

g- La loi de Wien s'écrit $\lambda_{\max} \times T = 2,89 \times 10^{-3}$ m.K avec $\lambda_{\max}$ en mètre et T en kelvin. Cette relation est-elle en accord avec l'équation déterminée à la question précédente ?

4- Application de la loi de Wien : A l'aide de la loi de Wien, compléter le tableau suivant et en utilisant le spectre de la lumière blanche en déduire la couleur des étoiles suivantes.

Étoile	Soleil	Bételgeuse	Altair
$\lambda_{\max}$ en nm	485		360
Couleur associée à $\lambda_{\max}$ de la radiation dans le vide			
Température (en K)		3600	
Couleur perçue	jaune-blanc		Blanche (reflet bleuté)

h- Pour le Soleil, comment expliquer que la couleur perçue dans l'espace ne corresponde pas à la couleur de la radiation associée à $\lambda_{\max}$?

i- Le corps humain a une température d'environ 37°C.

- A quel domaine de radiation correspondent les ondes électromagnétiques émises ?
- Expliquer alors le principe des lunettes à vision nocturne.

Atelier 4 : Rayonnement invisible IR

L'observation des rayonnements infrarouges (IR) émis par notre galaxie montre les différences notables de température présente dans ses différentes zones.



Figure : Notre Galaxie vue dans le domaine visible et dans le proche infrarouge

Manipulation 1 : Un exemple de capteur infrarouge

On utilise en général une caméra infrarouge. L'appareil photo de votre téléphone portable a la particularité d'être sensible aux rayonnements invisibles IR émis par une télécommande et peut par la suite les afficher sur son écran avec une couleur particulière. Vérifiez-le !

Manipulation 2 : Sur la paillasse du fond sont placées 3 becs électriques : l'un éteinte, l'autre réglé à 500°C (thermostat 5), l'autre enfin à 1000°C (thermostat 10). Les températures indiquées sont celles de la résistance chauffante et non celle du flux d'air chaud.

En utilisant le modèle de Planck décrit sur le simulateur <http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr/java/planck/planck.htm>, interpréter les couleurs de chaque résistance chauffante en traçant l'allure de leur profil spectral sur le graphique ci-dessous. On attend un commentaire d'interprétation.

Puissance
lumineuse

400

800

longueur d'onde λ (en

Atelier 5 : Oh Be A Fine Girl/Guy Kiss Me !

Les étoiles sont classées selon leur température de surface. On parle de la **classe spectrale** d'une étoile. Il existe 7 classes spectrales qui sont, par ordre de température décroissante : O, B, A, F, G, K, M. Les scientifiques anglo-saxons utilisent la petite phrase « Oh Be A Fine Girl/Guy Kiss Me » pour se souvenir de l'ordre.

- Compléter le tableau ci-dessous en vous aidant de la loi de Wien

CLASSE	Température de surface	Longueur d'onde du maximum d'intensité	COULEUR	Exemple	
				nom	Luminosité
O	30 000 K		Bleue/violette	rare	
B	20 000 K		Bleutée	Rigel	55 000
A	10 000 K		Blanche	Véga	50
F	8 000 K		Jaunâtre	Etoile polaire	6
G	6000 K		Jaune	Soleil	1
K	4 000 K		Jaune/orange	Acturus	10^2
M	3 000 K		Rouge	Antarès	10^4

- Les longueurs d'ondes du maximum d'intensité correspondent-elles à la couleur de l'étoile ? Justifier en utilisant le profil spectral d'un corps noir.

Conclusion

Rédiger un paragraphe de conclusion répondant à ces questions :

- ✓ Expliquer en quoi diffère la lumière émise par les différentes sources de lumière.
- ✓ Expliquer comment la lumière permet de classer les étoiles présentes dans l'univers.
- ✓ Tracer sur un axe des longueurs d'onde les domaines visibles, ultraviolet (UV) et infrarouge (IR).