

Le Rayonnement Solaire

1 Origine du rayonnement solaire

Dans cette section, nous présentons l'origine du rayonnement des étoiles. Nous montrons qu'il en découle plusieurs phénomènes, en particulier la diminution de masse de l'astre, et avec cette perte de masse la promesse de l'existence finie de l'étoile.

1.1 Approche documentaire

ACTIVITÉ : "La machine Soleil" p.68 *Le Livre Scolaire*.

Comme nous l'avons vu dans le Thème 1, les étoiles sont le siège de réactions de fusion nucléaire. Ces réactions dégagent de l'énergie, ce qui maintient l'étoile à une température très élevée (6000°C en surface, des millions de degrés Celsius dans la couronne solaire). Comme tout corps dense lorsqu'on le chauffe, l'étoile émet un rayonnement. Ce rayonnement est à l'origine de la perte d'énergie de l'étoile. Cette perte d'énergie est à l'origine de la perte de masse de l'étoile.

1.2 La relation d'Einstein

Afin d'expliquer la perte de masse de l'étoile, nous allons utiliser une relation qui a révolutionné la physique en son temps (en 1905) : la relation d'Einstein

Propriété 3.1: Relation d'Einstein (1905)

La relation d'Einstein stipule que pour tout système physique au repos :

$$E = mc^2$$

où E est l'énergie du système en J, m sa masse en kg et $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (PAR CŒUR) est la vitesse de la lumière dans le vide.

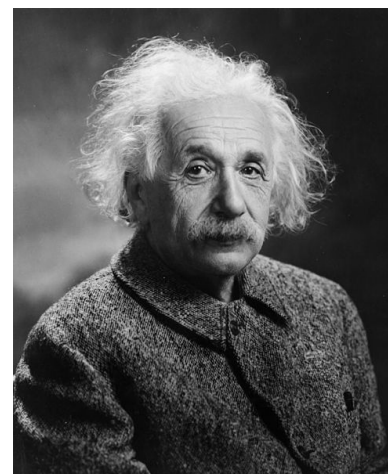


FIGURE 3.1: Albert Einstein en 1947
Prix Nobel de physique 1921, inventeur de la
théorie de la relativité générale.
CRÉDITS PHOTO : Oren Jack Turner

DISCUSSION/EXEMPLES : Cette relation est fondamentale car elle exprime une équivalence entre masse et énergie. Elle nous mène à renoncer à l'idée de conservation de la masse au cours d'une transformation. Cette loi de conservation nous semble pourtant très naturelle au quotidien : si l'on cuisine un gâteau avec 1 kg de farine et 1 kg de lait, on obtient un gâteau de 2 kg; de façon plus générale au cours d'une réaction chimique, la masse des produits égale la masse des réactifs.

Ce principe de conservation de la masse n'est pourtant plus vérifié dans les réactions nucléaires : avec des particules élémentaires, tout se passe comme si, en faisant entrer en collision deux balles de 500g, on obtenait une balle de 2kg! Comment est-ce possible? C'est parce que les balles possèdent une énergie cinétique, qui est convertie en masse à la suite de la réaction. Ce résultat est extrêmement déroutant, pourtant il est très bien vérifié expérimentalement, dans les accélérateurs de particules, qui génèrent des particules à partir de collisions!

En résumé : renonçons à la conservation de la masse, vive la conservation de l'énergie!

EXEMPLE : En quoi cette loi nous concerne-t-elle dans l'étude du rayonnement Solaire me direz vous? Eh bien justement, sachez, qu'un rayonnement transporte de l'énergie mais n'a pas de masse : le Soleil peut convertir une partie de sa masse en rayonnement, sans éjecter de matière!

(Correction de l'activité :) Le Soleil rayonne une puissance constante $P_{\text{Soleil}} = 3.85 \times 10^{26} \text{ W}$, on cherche la masse qu'il perd chaque seconde. Pour cela on note m sa masse initiale et $m - \Delta m$ sa masse après une seconde. L'énergie perdue par le Soleil sous forme de rayonnement : $E = P_{\text{Soleil}} \Delta t$.

Comme L'ÉNERGIE est conservée pendant cette transformation :

$$mc^2 - P_{\text{Soleil}} \Delta t = (m - \Delta m)c^2$$

$$\frac{P_{\text{Soleil}} \Delta t}{c^2} = \Delta m$$

Soit numériquement : $\Delta m = 4.3 \times 10^9 \text{ kg}$. La masse du Soleil diminue chaque seconde de 4.3 milliards de kilogrammes sous le seul effet du rayonnement, alors qu'on n'a considéré aucune éjection de matière!

2 Caractéristiques du rayonnement solaire

Cette section est consacrée à l'étude spectrale du rayonnement solaire, c'est-à-dire la distribution du rayonnement entre les différentes longueurs d'onde. Cette étude est l'occasion d'introduire une loi de portée universelle, car elle régit le comportement de tout corps dense chauffé : la loi de Wien.

2.1 Approche documentaire

ACTIVITÉ : "À la surface du Soleil" p.69 *Le Livre Scolaire*.



FIGURE 3.2: Pour les transformation nucléaires, il faut renoncer à l'idée de conservation de la masse, qui nous est pourtant si naturelle en cuisine! On lui préfère la conservation de l'énergie.

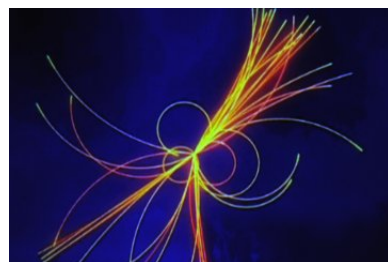


FIGURE 3.3: Trace d'une collision de particules au LHC : des particules sont générées à partir d'énergie.

CRÉDITS PHOTO : Photo by Pier Marco Tacca/Getty Images

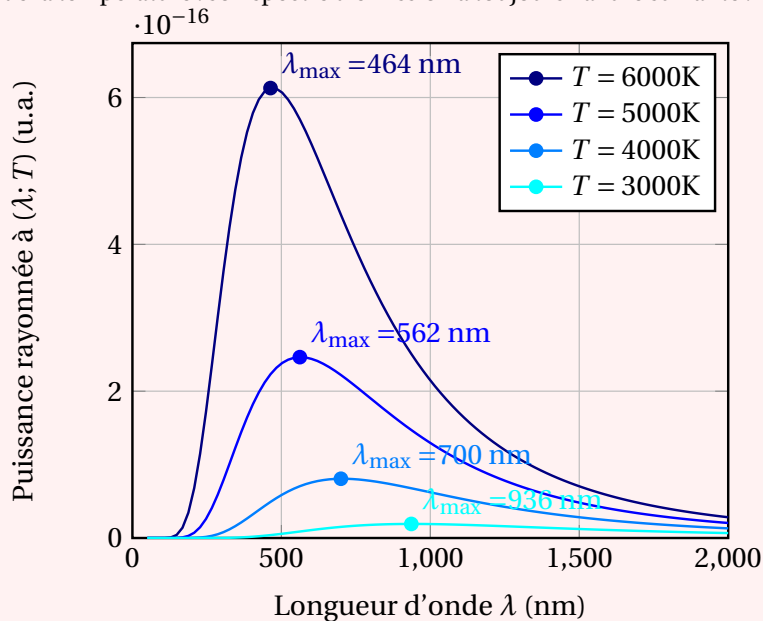
En observant le spectre de différentes étoiles, on s'aperçoit qu'elles émettent toutes un spectre semblable, qui ne dépend que de la température à la surface de l'étoile. Cette similitude entre les spectres s'explique par le fait que toutes ces étoiles rayonnent grâce au même procédé. En effet les étoiles sont des corps denses chauffés, et comme tous corps denses chauffés, elles émettent un spectre continu.

Principe de l'ampoule à incandescence : Le filament d'une ampoule, chauffé, émet de la lumière

2.2 Loi de Planck

Propriété 3.2: Loi de Planck

Le rayonnement émis par un corps dense chauffé ne dépend que de la température : son spectre d'émission a toujours l'allure suivante :



Pour caractériser l'évolution de ce spectre avec la température, on peut repérer la longueur d'onde d'émission maximale en fonction de la température.

EXEMPLE :

- Voir les valeurs de λ_{\max} sur les courbes de la loi de Planck.
- Si l'on trace λ_{\max} en fonction de la température absolue T , on obtient le graphe figure 3.4.

Dans cette section, nous utilisons la température absolue, exprimée en Kelvin par la relation

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

La température absolue mesure directement l'agitation thermique des atomes de la matière. Lorsqu'on atteint le zéro absolu, la matière est dans un état cristallin parfait, et les atomes sont parfaitement immobiles.

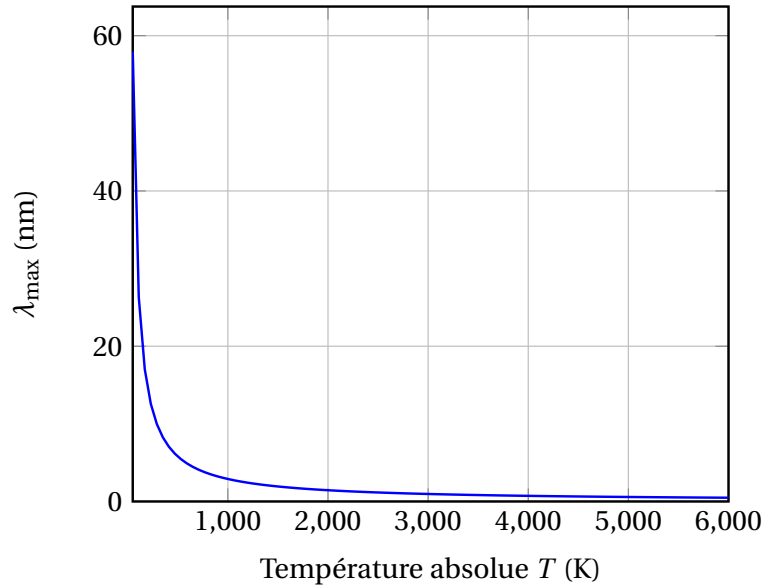


FIGURE 3.4: Graphe de λ_{\max} en fonction de la température absolue T . On remarque que $\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$: c'est la loi de Wien.

Propriété 3.3: Loi de Wien

La longueur d'onde d'émission maximale d'un corps dense chaud obéit à :

$$\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$$

Où $T = 273.15 + \theta(^{\circ}\text{C})$ est la température absolue du corps, en Kelvin K et $k = 2.898 \times 10^{-3} \text{ Km}$ est une constante universelle.

3 Le rayonnement terrestre sur Terre

3.1 Approche documentaire

ACTIVITÉ : p.70 Le Livre Scolaire.

À la fin de ce chapitre, je sais (extrait du B.O.) :: Savoirs

- L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles les maintient à une température très élevée.
- Du fait de l'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein), ces réactions s'accompagnent d'une diminution de la masse solaire au cours du temps.
- Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et donc perdent de l'énergie par rayonnement.
- Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de corps noir) dépend seulement de la température de surface de l'étoile.
- La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface de l'étoile (loi de Wien).
- La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

De ce fait, la puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend :

- De l'heure (variation diurne)
- Du moment de l'année (variation saisonnière)
- De la latitude (zonation climatique).

À la fin de ce chapitre, je sais (extrait du B.O.) :: Savoir-faire

- Déterminer la masse solaire transformée chaque seconde en énergie à partir de la donnée de la puissance rayonnée par le Soleil.
- À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir à une température donnée, déterminer la longueur d'onde d'émission maximale.
- Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'une étoile à partir de la longueur d'onde d'émission maximale.
- Sur un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface est maximale ou minimale.
- Analyser, interpréter et représenter graphiquement des données de températures. Calculer des moyennes temporelles de températures. Comparer des distributions temporelles de températures.