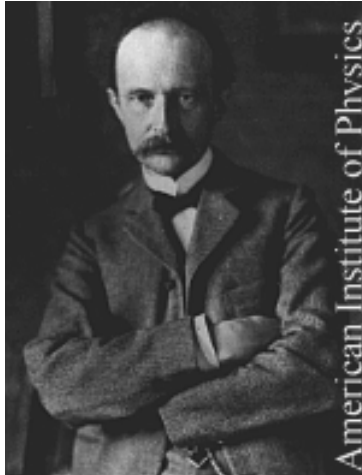


## Max Planck et le rayonnement du corps noir : le premier pas vers la physique quantique



**Max Planck (1858-1947)**

### 1. Les faits

Tout le monde sait qu'un morceau de fer chauffé devient incandescent à partir d'une certaine température : il émet d'abord dans le rouge, puis dans l'orange, puis dans le jaune, au fur et à mesure que sa température augmente. On réalisa à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle que ce phénomène ne dépend pas de la nature du corps en question mais uniquement de sa température.

De grands efforts furent accomplis au XIX<sup>e</sup> siècle pour dériver une formule rendant compte des variations de l'intensité du rayonnement émis par un corps chauffé en fonction des longueurs d'onde du rayonnement émis (dont les couleurs) et des températures<sup>1</sup>. Tel était le *problème du rayonnement du corps noir*. Pour mieux comprendre cette expression, voici quelques définitions.

---

<sup>1</sup> Les couleurs, au sens ordinaire du terme, ne sont pour les physiciens que les effets perceptibles de certaines longueurs d'onde électromagnétique. Avant d'émettre dans le rouge, un morceau de fer que l'on chauffe émet dans l'infrarouge. Or l'infrarouge n'est pas visible par l'être humain, mais correspond néanmoins à une plage de longueurs d'onde — plus longues que les ondes correspondant au rouge.

## 2. La notion de corps noir

Les physiciens appellent *corps noir* un corps idéal qui absorbe *toute* l'énergie thermique auquel il est exposé et qui en ré émet une partie sous forme de rayonnement électromagnétique.

La meilleure approximation concrète du corps noir est la *cavité*, que l'on prépare en laboratoire. Il s'agit d'un corps solide, massif et creux que l'on perce d'un petit trou et que l'on chauffe (figure 1).

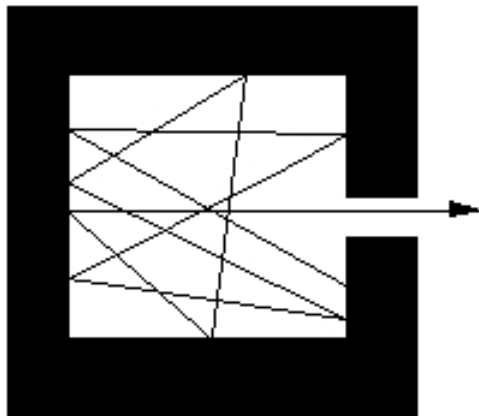


figure 1 : Schéma d'une cavité

Si la cavité était fermée, les radiations émises n'auraient aucune issue, elles seraient constamment absorbées et ré émises par les parois. Or le petit orifice permet une sortie aux radiations, que l'on peut alors étudier. Il y a *condition d'équilibre* lorsque les radiations absorbées totalisent la même énergie que celles qui sont émises. Dans cette condition d'équilibre, les radiations (les ondes électromagnétiques) sortant de la cavité ne dépendent que de la température de celle-ci, comme le montrent les courbes ci-dessous (figure 2).

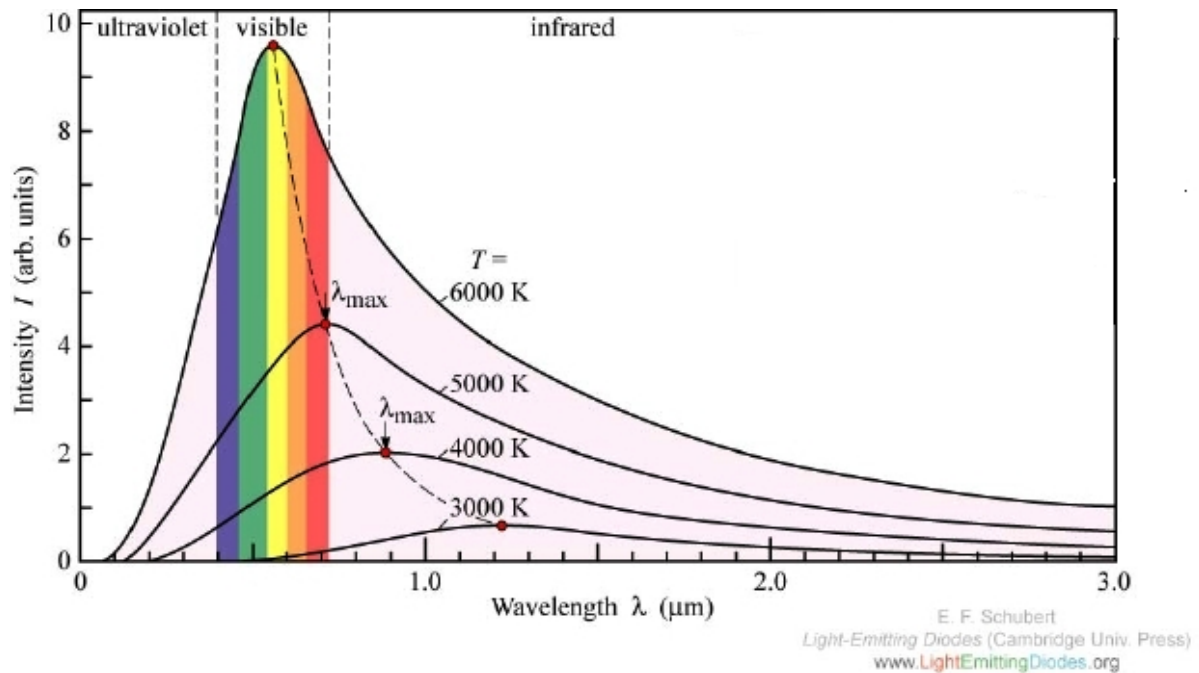


figure 2 : Les courbes du rayonnement du corps noir, établies expérimentalement<sup>2</sup>.

Comme on le constate sur ce graphique, plus le corps est chaud, plus le maximum de l'intensité de son rayonnement ( $\lambda_{\text{max}}$ ) se déplace vers les courtes longueurs d'onde ou autrement dit, vers les hautes fréquences.

Le problème du rayonnement du corps noir revenait donc à formuler une loi mathématique rendant exactement compte de ces courbes — et prédisant celles au-delà.

<sup>2</sup> Source : <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap18/chap18.htm>

### 3. Anomalies sérieuses

Hélas ! Personne au XIX<sup>e</sup> siècle ne réussit à formuler une loi satisfaisante de la radiation du corps noir. Deux formules étaient sur la table. L'une — la formule de Rayleigh-Jeans — était excellente pour les basses températures et les basses fréquences, mais elle donnait une intensité divergeant à l'infinie pour les hautes températures et les hautes fréquences de la gamme de l'ultraviolet (c'est la fameuse « catastrophe ultraviolet »). L'autre — la formule de Wien et Paschen — était très satisfaisante pour les hautes températures et les hautes fréquences mais inadéquate pour les basses températures et les basses fréquences. Deux formules donc, chacune d'elles bonne à moitié seulement !

Toutes ces tentatives malheureuses s'inscrivaient cependant dans le même cadre théorique classique, où il est supposé que l'énergie absorbée ou émise par le corps noir peut varier de façon *continue* — c'est-à-dire varier selon des valeurs aussi petites que l'on veut. Il s'avéra que c'est cette supposition qu'il fallait abandonner.

### 4. La petite révolution de Max Planck

En 1900, le physicien allemand Max Planck découvre que le problème du rayonnement du corps noir a une solution si, contrairement à la théorie classique, l'énergie absorbée ou émise varie seulement selon certaines *valeurs discrètes*. Il retrouva en effet par le calcul les courbes expérimentales en considérant que cette énergie est toujours égale à un *multiple entier*  $n$  ( $= 0, 1, 2, \dots$ ) d'une quantité fondamentale  $h$  multipliée par la fréquence  $\nu$  de l'onde électromagnétique considérée, d'où l'équation :

$$E = n.h\nu$$

où  $h$  est la quantité désormais appelée *constante de Planck*. C'est la plus petite quantité d'énergie physiquement possible, qui s'exprime en Joule fois le temps<sup>3</sup>. Sa valeur est extrêmement petite mais indivisible :

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{seconde}$$

Pour une fréquence  $\nu$  donnée, la plus petite quantité non nulle d'énergie est  $h\nu$  et est appelée un *quantum* d'énergie. Pour émettre ce même quantum d'énergie, Planck postulat qu'un corps noir d'une température  $T$  donnée doit déjà avoir reçu l'équivalent de ce quantum. Or, ce dernier est d'autant plus énergétique et donc *rare* que  $\nu$  est *élevée*. Il en résulte que l'éventail des radiations émises à une température précise présente à la fois un pic bien déterminé et une quantité finie d'énergie, conformément aux résultats expérimentaux.

## 5. Bibliographie

BARNETT, Lincoln, *Einstein et l'univers*, Paris, Gallimard, 1951.

BIÉMONT, Émile, *La lumière*, Paris, Presses Universitaires de France, 1996.

EINSTEIN, Albert et Léopold Infeld, *L'évolution des idées en physique* (1936), Paris, Flammarion, 1983.

HOFFMANN, Banesh, *Albert Einstein, créateur et rebelle*, Paris, Éditions du Seuil, 1975.

HOFFMANN, Banesh et Michel Paty, *L'étrange histoire des quanta*, Paris, Éditions du Seuil, 1967.

MAITTE, Bernard, *La lumière*, Paris, Éditions du Seuil, 1981.

McEVOY, J.P. et Oscar Zarate, *La physique quantique sans aspirine*, Paris, Flammarion, 2002.

---

<sup>3</sup> Le **joule (J)** est l'unité servant à mesurer le travail, l'énergie et la quantité de chaleur, dans le système international (SI).

1 J = le travail produit par une force de 1 N dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.

L'unité doit son nom au physicien James Prescott Joule (1818-1889). On peut se l'imaginer approximativement comme le travail nécessaire pour soulever un objet tel une pomme d'une hauteur d'un mètre (la pomme doit alors peser près de 102 grammes).