

Loi de Stefan-Boltzmann

But du TP

La loi empirique de Stefan-Boltzmann stipule que, l'énergie émise par un corps noir par unité de temps et unité de surface est proportionnelle à la puissance quatrième de sa température. Dans ce TP, on s'intéresse au filament d'une ampoule à incandescence considéré dans une première approximation comme un corps noir. Plus particulièrement on cherche les variations de l'énergie émise par ce filament, lorsque sa température varie.

A/ Principe

I- Loi de Planck et loi de Stefan-Boltzmann

D'après la loi de Planck pour le rayonnement du corps noir, la densité spectrale d'énergie (énergie par unité de volume et unité de longueur d'onde) émise par un corps noir en équilibre à la température absolue T est donnée par :

$$u_{\lambda}(T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

où $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ est la constante de Planck, $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ est la vitesse de la lumière dans le vide et $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ est la constante de Boltzmann.

L'énergie totale $E(T)$ émise par le corps noir par unité de temps et unité de surface s'obtient en intégrant la luminance spectrale, $L_{\lambda}(T) = \frac{c}{4\pi} u_{\lambda}(T)$, sur toutes les directions du demi-espace et sur toutes les longueurs d'onde. On obtient alors la loi de Stefan-Boltzmann suivante pour le rayonnement du corps noir :

$$\boxed{E(T) = \sigma T^4}$$

avec $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ qui est la constante de Stefan-Boltzmann.

II- Principe de l'expérience

Une lampe à incandescence est alimentée par un générateur de tension alternative. Le filament de la lampe chauffe et envoie dans l'espace un rayonnement thermique assimilé au rayonnement du corps noir.

Une thermopile connectée à un amplificateur de mesure délivre une tension continue U_{therm} qui est proportionnelle au flux d'énergie reçue.



Figure 1 : Montage de l'expérience

Si la loi de Stefan-Boltzmann était vérifiée, on devrait avoir la relation de proportionnalité $U_{therm} \propto T^4$, où T est la température absolue du filament. Ceci conduirait donc à l'égalité suivante :

$$\boxed{\text{Log}U_{therm} = 4\text{Log}T + cste}$$

La température absolue du filament peut se calculer à partir de sa résistance électrique $R(t)$ d'après :

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

où t est la température en degré Celsius et R_0 la résistance à 0°C . R_0 est reliée à la valeur de la résistance à température ambiante t_a par :

$$R_0 = \frac{R(t_a)}{1 + \alpha t_a + \beta t_a^2}$$

Les constantes α et β ont pour valeur respective : $\alpha = 4,82 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ et $\beta = 6,76 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Dans un premier temps, on cherchera à déterminer R_0 puis, dans la manipulation, $R(t)$ sera calculée d'après la loi d'Ohm en utilisant les valeurs de la tension aux bornes du filament et de l'intensité qui le traverse.

B/ TRAVAIL A EFFECTUER

➤ **Question 1:** Montrer que la température absolue du filament est reliée à sa résistance électrique par la relation suivante :

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right]$$

➤ **Question 2:** Brancher la lampe en série avec une résistance $R = 100 \Omega$ aux bornes d'un générateur de tension continue (voir figure 2). Pour les deux valeurs suivantes de tension aux bornes de la lampe ($U_{lampe} = 10 \text{ mv}$ et $U_{lampe} = 20 \text{ mv}$), mesurer les intensités correspondantes dans le circuit.

En déduire la valeur moyenne de la résistance électrique du filament à température ambiante t_a . Calculer finalement R_0 après avoir relevé la température ambiante de la salle.

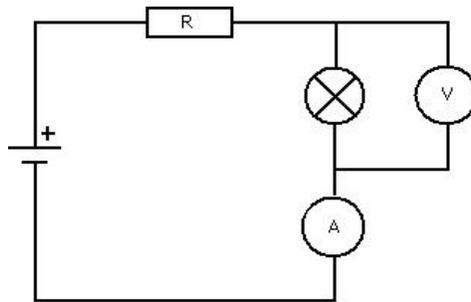


Figure 2 : Montage pour calculer la résistance du filament à température ambiante

➤ **Question 3:** Revenir au montage de la figure 1. Mettre le générateur de tension en mode alternatif. La tension aux bornes de l'ampoule et l'intensité qui la traverse sont mesurées à l'aide de deux multimètres qui remplacent les appareils de mesure de la figure 1. **Le multimètre servant à mesurer l'intensité qui traverse l'ampoule doit nécessairement être brancher en 12 A maximum.**

La distance entre l'ampoule et l'extrémité du tube de la thermopile est maintenue à 30 cm . Un autre multimètre est branché en sortie de l'amplificateur de mesure, afin d'enregistrer la tension continue de sortie.

(Attention : ne jamais laisser l'ampoule sous tension pour une longue période)

- Agir sur le bouton de calibration pour régler le zéro de l'amplificateur de mesure en l'absence de tension.
- Faire croître la tension du générateur par pas de 1 V , entre 0 V et 8 V .
- Relever les valeurs de l'intensité correspondante qui traverse le filament et la tension de sortie de l'amplificateur de mesure.

Question 4: Passer sur le logiciel Origin (installé sur l'ordinateur qui se trouve dans la grande salle):

- Créer cinq colonnes pour la tension d'entrée, l'intensité d'entrée, la résistance électrique du filament, la tension de sortie et la température du filament.
- Tracer la tension de sortie en fonction de la température, en échelle logarithmique.
- En déduire que l'on a une relation de type $U_{therm} \propto \sigma T^\gamma$.
- Déterminer γ .

Question 5: La loi de Stefan-Boltzmann est-elle vérifiée ? Commenter.
