

Loi de Stefan-Boltzmann avec amplificateur



Physique

Thermodynamique

Énergie thermique

science appliquée

Ingénierie

Énergies
renouvelables

Énergie solaire

 Niveau de difficulté
difficile

 Taille du groupe
-

 Temps de préparation
45+ procès-verbal

 Délai d'exécution
45+ procès-verbal



Informations générales

Application



Fig 1 : Dispositif expérimental

Les connaissances sur le comportement radiatif de la matière en fonction de la température sont largement utilisées dans des domaines tels que l'astronomie ou dans l'industrie sidérurgique pour vérifier la température du matériau sur lequel on travaille.

Autres informations (1/2)



Priorité

connaissances



Principal
principe

Les connaissances préalables à cette expérience se trouvent dans la section Théorie.

Selon la loi de Stefan-Boltzmann, l'énergie émise par un corps noir par unité de surface et par unité de temps est proportionnelle à la puissance "quatre" de la température absolue du corps. La loi de Stefan-Boltzmann est également valable pour un corps dit "gris" dont la surface présente un coefficient d'absorption indépendant de la longueur d'onde inférieur à un. Dans l'expérience, le corps "gris" est représenté par le filament d'une lampe à incandescence dont l'émission d'énergie est étudiée en fonction de la température.

Autres informations (2/2)



Apprentissage

Objectif



Tâches

Le but de cette expérience est de vérifier la loi de Stefan-Boltzmann sur le rayonnement.

1. Mesurer la résistance du filament de la lampe à incandescence à température ambiante et déterminer la résistance du filament, R_0 , à zéro degré centigrade.
2. Mesurer la densité du flux d'énergie de la lampe à différentes tensions de chauffage. Les courants de chauffage correspondants sont relevés pour chaque tension de chauffage et la résistance du filament correspondante est calculée. En anticipant une dépendance à la température du second ordre de la résistance du filament, la température peut être calculée à partir des résistances mesurées.

Théorie (1/4)

Si la densité du flux d'énergie L d'un corps noir, c'est-à-dire l'énergie émise par unité de surface et par unité de temps à la température T et la longueur d'onde λ dans l'intervalle $d\lambda$ est désignée par $dL(T, \lambda)/d\lambda$. La formule de Planck s'énonce ainsi :

$$\frac{dL(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc^{-1}}{\lambda kT}}}$$

avec c = vitesse de la lumière = $(3.00 \cdot 10^8 \text{ [m/s]})$ h = constante de Planck = $(6.62 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]})$ k = constante de Boltzmann = $(1.381 \cdot 10^{-23} \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1}])$

L'intégration de l'équation (1) sur la plage totale de longueurs d'onde de $\lambda = 0$ à $\lambda = \infty$ donne la densité de flux $L(T)$, (loi de Stefan-Boltzmann).

$$L(T) = \frac{2\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4}{c^2 h^3} \cdot T^4$$

Théorie (2/4)

Respectivement $L(T) = \sigma \cdot T^4$ avec $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-4}]$

La proportionnalité $L \sim T^4$ est également valable pour un corps dit "gris" dont la surface présente un coefficient d'absorption indépendant de la longueur d'onde inférieur à un.

Pour prouver la validité de la loi de Stefan-Boltzmann, nous mesurons le rayonnement émis par le filament d'une lampe à incandescence, qui représente assez bien un corps "gris". Pour une distance fixe entre le filament et la thermopile, le flux d'énergie ϕ qui atteint la thermopile est proportionnelle à $L(T)$.

$$\phi \sim L(T)$$

En raison de la proportionnalité entre ϕ et la f.m.e. thermoélectrique, U_{therm} de la thermopile, on peut aussi écrire :

$$U_{\text{therm}} \sim T^4$$

Théorie (3/4)

si la thermopile est à une température de zéro degré Kelvin. Puisque la thermopile est à température ambiante T_R il rayonne également grâce à la T^4 . Nous sommes donc obligés d'écrire :

$$U_{\text{therm}} \sim (T^4 - T_R^4)$$

Dans les circonstances actuelles, nous pouvons négliger T_R^4 contre T^4 de sorte que nous devrions obtenir une ligne droite avec une pente de "4" lorsque nous représentons la fonction $U_{\text{therm}} = f(T)$ doubler de façon logarithmique.

$$\lg U_{\text{therm}} = 4 \lg T + \text{const.}$$

La température absolue $T = t + 273$ du filament est calculé à partir des résistances mesurées $R(t)$ du filament de tungstène (t = température en centigrades). Pour la résistance du filament de tungstène, nous avons la dépendance de température suivante :

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad \text{Avec } R_0 = \text{résistance à } 0^\circ\text{C}, \alpha = 4.82 \cdot 10^{-3} \cdot K^{-1}, \\ \beta = 6.76 \cdot 10^{-7} \cdot K^{-2}$$

Théorie (4/4)

La résistance R_0 à 0°C peut être calculée à l'aide de la relation :

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

Résoudre $R(t)$ en ce qui concerne t en utilisant la relation $T = t + 273$ donne :

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

$R(t_R)$ et $R(t)$ sont déterminés en appliquant la loi d'Ohm, par exemple en mesurant la tension et le courant à travers le filament.

Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Banc optique expert l = 60 cm	08283-00	1
2	Pied pour banc optique expert, réglable	08284-00	2
3	Curseur pour banc optique expert, h = 80 mm	08286-02	2
4	Amplificateur de mesure universel	13626-93	1
5	Thermopile selon Moll	08480-00	1
6	PHYWE Transformateur variable avec redresseur DC: 12 V, 5 A / AC: 15 V, 5 A	13540-93	1
7	Douille, E14, sur tige	06175-00	1
8	Lampe à incandescence 6V / 5A, E14	06158-00	3
9	Boîte de Connexion	06000-00	1
10	Résistance 100 ohm 2%, 1w, G1	06057-10	1
11	Multimètre digital 3 1/2 digit avec thermocouple NiCr-Ni	07122-00	3
12	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, bleu	07361-04	4
13	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, rouge	07361-01	4
14	Tube de protection pour 08480.00	08480-01	1



Configuration et procédure

Mise en place

L'expérience commence par la mise en place du circuit de la figure 2 pour mesurer la résistance du filament à température ambiante. Une résistance de 100Ω est connectée en série avec la lampe pour permettre un réglage fin du courant. Pour 100 mADC et 200 mADC, les chutes de tension à travers le filament sont lues et la résistance à température ambiante est calculée. Les intensités de courant sont suffisamment faibles pour négliger les effets de chauffage.

Le montage expérimental de la figure 1 est alors mis en place. La résistance de 100Ω ne fait plus partie du circuit. Le filament est maintenant alimenté par une source de tension alternative variable via un ampèremètre, permettant de mesurer des courants alternatifs allant jusqu'à 6 ampères. Le voltmètre est branché sur le filament et la tension alternative est augmentée par pas de 1 volt jusqu'à un maximum de 8 V AC.

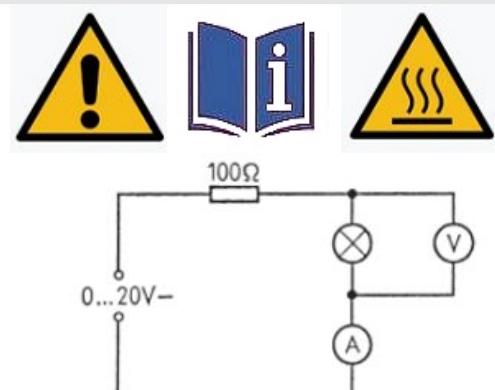


Figure 2 : Circuit de mesure de la résistance du filament à température ambiante.

Procédure

Remarque : la tension d'alimentation de la lampe à incandescence est de 6 V CA. Une tension allant jusqu'à 8 V CA peut être appliquée si la durée d'alimentation est limitée à quelques minutes.

Au départ, une tension de 1 V CA est appliquée à la lampe et la thermopile de Moll, qui se trouve à une distance de 30 cm du filament, est tournée (montage à glissière fixe) vers la droite et vers la gauche jusqu'à ce que la f.e.m. thermoélectrique présente un maximum. L'axe du filament cylindrique doit être perpendiculaire à l'axe du banc optique. La f.m.e. thermoélectrique étant de l'ordre de quelques millivolts, il faut utiliser un amplificateur pour obtenir des mesures précises. Le facteur d'amplification sera de 102 ou 103 si l'on utilise le voltmètre connecté à l'amplificateur dans la gamme des 10 V. Avant d'effectuer une lecture de la f.e.m. thermoélectrique, il faut procéder à un réglage correct du "zéro". Pour ce faire, il faut éloigner la lampe et sa monture du banc pendant quelques minutes. L'amplificateur est utilisé en mode LOW DRIFT ($104\ \Omega$) avec une constante de temps de 1 s.

Après avoir replacé la lampe sur le banc, on peut lire si la thermopile de Moll a atteint son équilibre. Cela prend environ une minute. Il faut veiller à ce qu'aucun rayonnement de fond ne vienne perturber la mesure.



L'évaluation

Tâche 1

En utilisant la sortie de tension continue du bloc d'alimentation, un courant continu de 100 mA, respectivement 200 mA, a été fourni au filament par l'intermédiaire d'une résistance de 100Ω . Les chutes de tension correspondantes sont de 16,5 mV et 33,0 mV. Le doublement du courant double la chute de tension. Ceci montre que l'influence de la température sur la résistance est encore négligeable pour les valeurs DC choisies. On trouve dans ce cas

$$R(t_R) = 0.165 \Omega$$

$$\text{et donc } R_0 = 0.15 \Omega$$

De petites variations dans les R_0 n'influencent la pente S , qui doit être trouvée, que de manière négligeable.

Tâche 2

L'augmentation de la tension de chauffage par paliers de 1 V AC de 0 à 8 volts a donné les résultats suivants :

La représentation graphique doublement logarithmique du flux d'énergie en fonction de la température absolue est illustrée à la figure 3. La pente S de la droite est calculée, par régression, comme étant :

$$S = 4.19 \pm 0.265$$

	U [V]	I [A]	U_{therm} [mV]	T [K]
1	2.20	0.15	672	
2	2.80	0.62	983	
3	3.45	1.30	1160	
4	4.00	2.20	1300	
5	4.45	3.20	1430	
6	4.90	4.45	1540	
7	5.30	5.90	1630	
8	5.70	7.50	1720	

La valeur réelle de S qui est de 4, se trouve dans les limites de l'erreur.

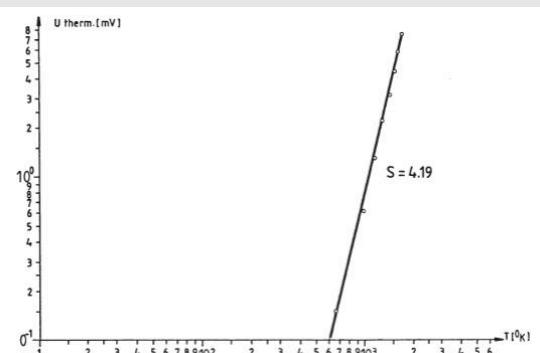


Figure 3 : f.e.m. thermoélectrique de la thermopile en fonction de la température absolue du filament.