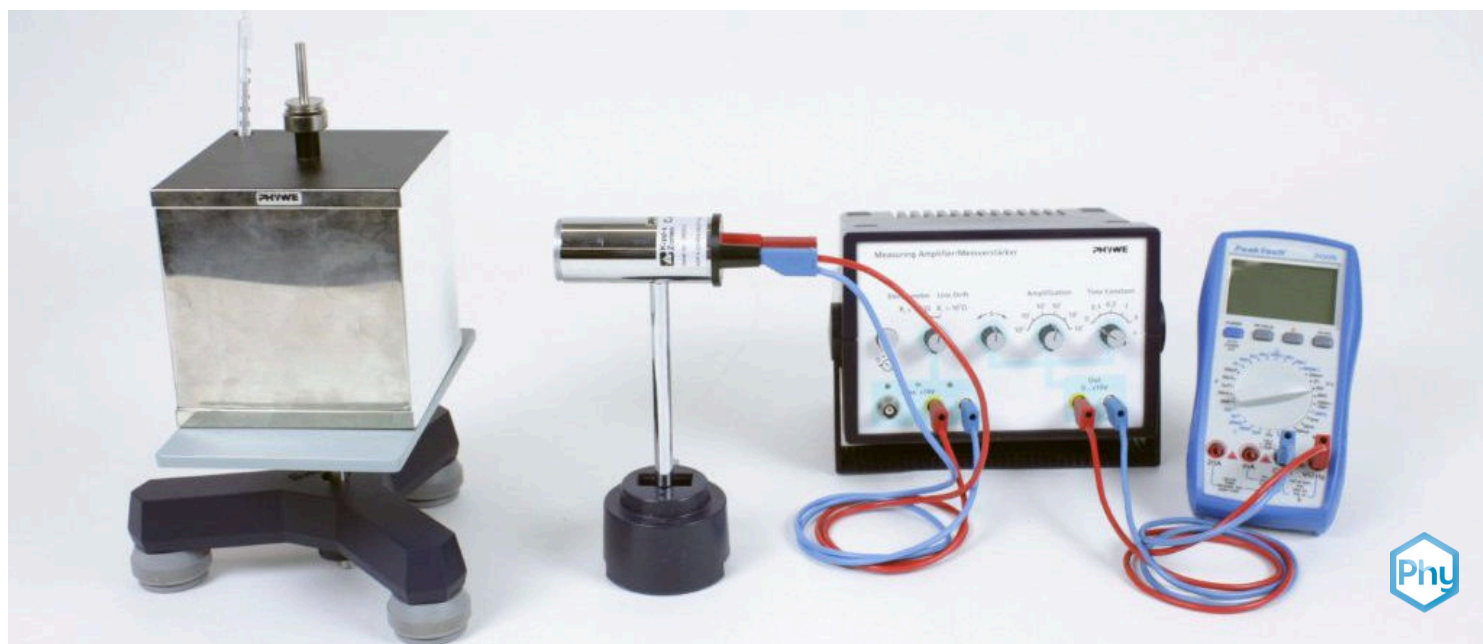


# Rayonnement thermique des corps chauds (cube de Leslie)



Le but de cette expérience est d'étudier la dépendance en température de l'émission radiative d'un corps noir.

Physique

Thermodynamique

Température et chaleur



Niveau de difficulté

moyen



Taille du groupe

-



Temps de préparation

10 procès-verbal



Délai d'exécution

10 procès-verbal

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/65d865fd8408a20002f2480f>

PHYWE

# Informations générales

## Application

PHYWE



Mise en place

Le cube de Leslie est un dispositif utilisé pour mesurer ou démontrer les variations du rayonnement thermique émis par différentes surfaces à la même température.

Cette expérience permet d'étudier les dépendances entre la température et le rayonnement émis.

## Autres informations (1/2)

PHYWE

Connaissances  
préalablesPrincipe  
scientifique

Aucune connaissance préalable n'est requise.

Le rayonnement thermique peut être mesuré sur toutes les surfaces dès lors que leur température diffère de celle de l'environnement. Par conséquent, plus un objet est chaud, plus il émet de rayonnement. La couleur de la surface influe également sur le comportement : les surfaces sombres émettent plus de rayonnement thermique que les surfaces claires. Un exemple d'application de cet effet est le dissipateur thermique (voir figure de droite) qui est souvent recouvert d'une couche noire afin d'émettre plus de rayonnement thermique.

## Autres informations (2/2)

PHYWE

## Objectif

d



## Tâches



Le but de cette expérience est d'étudier la dépendance en température de l'émission radiative d'un corps noir.

1. Mesure de la température ambiante  $T_0$  (en Kelvin) avant de commencer l'expérience.
2. Détermination et comparaison de l'émittance des quatre faces du cube de Leslie à une température élevée constante. Le rayonnement thermique d'un cube rempli d'eau bouillante est donc mesuré à l'aide d'une thermopile de type Moll.
3. Détermination et comparaison de l'émittance des quatre faces du cube de Leslie en fonction de la température.
4. Tracé de la tension thermoélectrique  $V_{th}$  en fonction de la température absolue  $T$  ou plutôt  $T^4 - T_0^4$  pour chaque face du cube et validation de la loi de Kirchhoff sur le rayonnement thermique pour le cube de Leslie utilisé avec les données collectées.

## Théorie (1/2)

PHYWE

Tout corps chaud émet un rayonnement thermique. L'émittance ne dépend pas seulement de la température, mais aussi de la texture de la surface de l'objet. La loi de Kirchhoff sur le rayonnement thermique implique que plus un corps peut absorber de rayonnement, plus il peut en émettre.

Dans cette expérience, on utilise un cube de Leslie avec quatre surfaces de textures différentes. Ainsi, chaque surface A (avec une température absolue T) émet un rayonnement avec la puissance

$$P_{\text{surface}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

avec l'émissivité  $\epsilon$  comme facteur de pondération de la surface respective ( $0 \leq \epsilon \leq 1$ ) et  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzmann. En outre, il faut tenir compte du fait que le cube absorbe également le rayonnement de son environnement (avec la température  $T_0$ ) avec la puissance

$$P_{\text{ambient}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_0^4.$$

## Théorie (2/2)

PHYWE

Pour cette raison, ce n'est pas l'émittance totale qui est mesurée dans cette expérience, mais la différence entre la puissance émise et l'émittance totale.  $P_{\text{surface}}$  et la puissance d'irradiation  $P_{\text{ambient}}$ . Pour la différence  $\Delta P$  suit :

$$\Delta P = P_{\text{surface}} - P_{\text{ambient}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_0^4)$$

Cette différence  $\Delta P$  est en corrélation avec la puissance qu'un corps à la température T libère dans son environnement à la température  $T_0$  par rayonnement thermique.

En utilisant une thermopile de type Moll, ce rayonnement thermique peut être détecté en mesurant la chute de tension thermoélectrique  $V_{th}$  de la thermopile, qui est proportionnelle à la puissance de rayonnement  $\Delta P$  du cube et donc proportionnelle à  $T^4 - T_0^4$ :

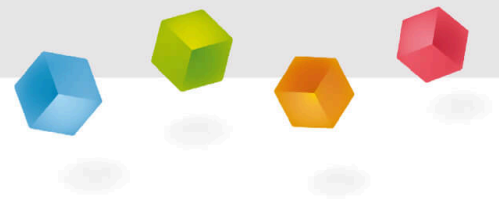
$$V_{th} \propto T^4 - T_0^4$$

## Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Trépied PHYWE	02002-55	1
2	Embase expert	02004-00	1
3	Tablette sur tige	08060-00	1
4	Thermopile selon Moll	08480-00	1
5	Tube de protection pour 08480.00	08480-01	1
6	Chauffe-eau 1000w, 220a 250v DC / ca	04020-93	1
7	Amplificateur de mesure universel	13626-93	1
8	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, rouge	07362-01	2
9	Fil de connexion, 32 A, 750 mm, bleu	07362-04	2
10	Cube de Leslie	04556-00	1
11	Thermomètre pour TD, -10...+110 C	38005-02	1
12	Entonnoir, ds 50 mm	34457-00	1
13	Becher DURAN®, forme haute, 2000 ml	36010-00	1
14	Multimètre digital 3 1/2 digit avec thermocouple NiCr-Ni	07122-00	1

PHYWE

# Configuration et procédure



## Configuration (1/3)

PHYWE



L'expérience se déroule comme indiqué à la figure 1 :

- Connecter la thermopile de type Moll à l'entrée de l'amplificateur de mesure et le voltmètre à la sortie de l'amplificateur de mesure.
- Réglez l'amplificateur de mesure en mode "faible dérive". De cette manière, une faible impédance d'entrée est utilisée pour que la dérive de l'amplificateur en fonction de la température soit suffisamment faible pour déterminer des tensions de l'ordre du microvolt.



Fig. 1 : Dispositif expérimental

## Configuration (2/3)

PHYWE

- Choisissez une amplification adaptée à la détection de la tension mesurée avec le voltmètre ( $10\text{-}1000\ \mu\text{V}$  comme signal d'entrée, une amplification de  $10^3$  donne des tensions de sortie comprises entre  $10\text{ mV}$  et  $1\text{ V}$ ).
- Placez le cube Leslie à une distance appropriée ( $3\text{-}10\text{ cm}$ ) de la thermopile. Le cube est placé au centre de la table qui est posée sur un trépied. Ensuite, le thermomètre et l'agitateur sont insérés dans les ouvertures respectives du couvercle du cube.

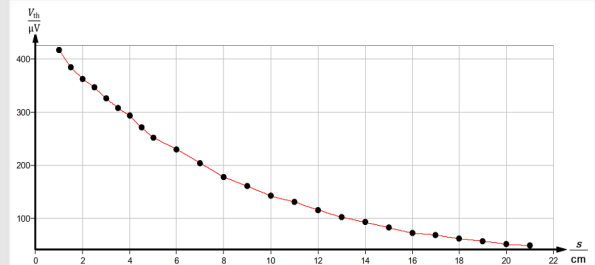


Fig. 2 : Dépendance de la distance de l'émittance de la surface noire à une température  $\vartheta = 93\text{ °C}$

## Mise en place (3/3)

PHYWE

### Notes concernant la mise en place :

L'objectif de l'expérience est de déterminer l'émittance des corps chauds. On étudie donc l'intensité du rayonnement de quatre surfaces cubiques différentes en fonction de la température de chacune d'entre elles. La tension thermoélectrique attendue étant relativement faible, il convient de respecter les consignes suivantes :

- Les signaux parasites (provenant par exemple de sources lumineuses) doivent être évités. Il est recommandé d'obscurcir la salle de laboratoire. Alternativement, le tube de protection (n° de commande 08479-01) peut être fixé à la thermopile pour supprimer le bruit.
- La distance entre la thermopile et la surface du cube doit être maintenue constante pour chaque série de mesures. La figure 2 montre à titre d'exemple la tension thermoélectrique mesurée.

Dans cette expérience, le rayonnement thermique (dépendant de la température) doit être déterminé pour chacune des quatre surfaces du cube, qui diffèrent par leur texture.  $V_{th}$

## Procédure (1/3)

PHYWE

### Détermination de la tension thermoélectrique à température constante :

- Au début de l'expérience, prendre la température ambiante  $T_0$  nécessaire à l'évaluation.
- Ensuite, remplissez le cube Leslie d'eau bouillante. Pour ce faire, utilisez un grand bécher et chauffez l'eau à l'aide du thermoplongeur. Utilisez l'entonnoir pour transférer l'eau bouillante dans le Leslie cube (volume d'environ 1,4 l). Il est également possible de verser l'eau directement dans le cube lorsque son couvercle est ouvert.
- Mesurez maintenant la tension thermoélectrique  $V_{th}$  à une distance constante pour les quatre surfaces à une température stable. À cette fin, enregistrez la tension (amplifiée) du voltmètre pour la première surface. Ensuite, faites pivoter le plateau de 90° avec précaution pour mesurer le rayonnement de la deuxième surface, et ainsi de suite. **ATTENTION** : Ne pas toucher le cube chaud à mains nues ! Vérifiez que le cube est aligné perpendiculairement à la thermopile. Sachez que les quatre mesures doivent être effectuées en peu de temps pour maintenir le cube à une température presque constante.  $V_{th}$

## Procédure (2/3)

PHYWE

### Détermination de la dépendance de la tension thermoélectrique par rapport à la température :

- Si l'eau n'est plus assez chaude (moins de 90 °C), la vider du cube et le remplir à nouveau d'eau bouillante. Alignez la face du cube, dont le rayonnement doit être déterminé en premier, perpendiculairement à la thermopile.
- Pendant le refroidissement de l'eau, enregistrer la tension du voltmètre et la température de l'eau correspondante pour la surface étudiée à des intervalles appropriés (par exemple, tous les 5 °C ou toutes les 30 s). Pour maintenir une température de l'eau équilibrée, utilisez régulièrement l'agitateur.
- Après avoir étudié le rayonnement de la première surface (par exemple, la surface noire), retirez l'eau refroidie du cube. Repositionnez le cube sur la table de manière à ce que la surface suivante (par exemple, la surface blanche) puisse être mesurée. Veillez à ce que la surface soit centrée sur la table et perpendiculaire à la thermopile.  $V_{th}$



## Procédure (3/3)

PHYWE

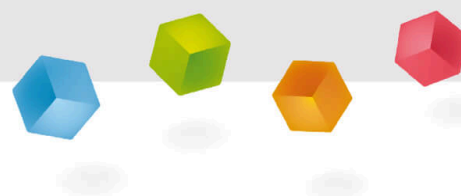
- Procédez comme précédemment pour mesurer la tension thermoélectrique et la température des trois autres surfaces du cube. Il est recommandé d'effectuer chaque série de mesures dans une plage de température de l'eau allant d'environ 100 °C à 50 °C (la dissipation thermique de la surface polie est assez faible).
- Il est conseillé de déterminer la température ambiante  $T_0$  avant chaque série de mesures.

### Remarque :

Il est également possible de collecter rapidement les données de la mesure de la dépendance de la température en enregistrant les quatre séries à la fois. Après chaque valeur mesurée, tourner le plateau de 90° vers la surface suivante, comme cela a été fait dans la première partie de l'expérience. De cette manière, un seul cycle de refroidissement doit être étudié. Soyez conscient que la précision de la mesure peut diminuer en raison du repositionnement fréquent de la surface concernée par rapport à la thermopile.

PHYWE

## L'évaluation



## Résultats (1/4)

PHYWE

La première partie de l'expérience montre déjà que les quatre surfaces différentes du cube possèdent une émittance différente, bien qu'elles soient constituées du même matériau (laiton). Les surfaces revêtues de noir et de blanc provoquent une tension thermoélectrique aussi élevée, tandis que les faces non revêtues (mates et polies) affichent des valeurs nettement inférieures (voir le tableau 1). La texture de la surface a donc un impact considérable sur le rayonnement thermique émis, même si l'on néglige l'influence de la température. Ainsi, l'émissivité  $\epsilon$  est une propriété intrinsèque de la texture du corps.

surface tension thermoélectrique $V_{th}$ [ $\mu V$ ]	
noir	254
blanc	226
terne	42
poli	26

Tableau 1 : Comparaison des données mesurées à une distance de 5 cm à  $T = 366$  K et  $T_0 = 293$  K.

## Résultats (2/4)

PHYWE

Pour une évaluation graphique des données mesurées, la tension thermoélectrique doit être tracée en fonction des éléments suivants  $T^4 - T_0^4$  pour chaque surface de cube, respectivement. Les résultats peuvent ensuite être comparés entre eux. Ce diagramme montre que pour une température ambiante constante  $T_0$  le rayonnement émis augmente linéairement à la puissance 4 de la température absolue de la surface  $T$  pour chaque côté du cube. Cela signifie que plus la température de la surface est élevée, plus la tension mesurée à l'aide de la thermopile est élevée. La figure 3 illustre cette dépendance pour les quatre surfaces. Les conclusions de la première partie de l'expérience sont ainsi confirmées.

En comparant les mesures de la surface noire et de la surface blanche (lignes noires et vertes dans la figure 3), on constate que l'émittance dépend non seulement de la température, mais aussi de la texture de la surface. Les résultats obtenus révèlent qu'une surface plus foncée rayonne avec une puissance plus élevée qu'une surface plus claire. Cette constatation confirme la loi de Kirchhoff sur le rayonnement thermique, car une surface noire absorbe plus de rayonnement thermique qu'une surface blanche.

## Résultats (3/4)

PHYWE

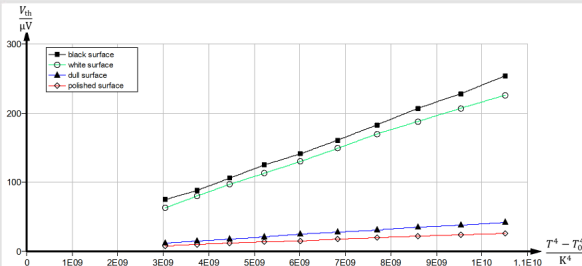


Fig. 3 : Diagramme de la tension thermoélectrique mesurée  $V_{th}$  en fonction de  $T^4 - T_0^4$  pour les quatre surfaces à une distance de 5 cm.

Cependant, l'émittance de la surface noire est très similaire à celle de la surface blanche dans la plage de température étudiée. Cela peut s'expliquer par le fait que les corps émettent un rayonnement thermique dont la longueur d'onde se situe dans la région infrarouge pour ces températures. Par conséquent, les couleurs des surfaces du cube (qui se situent dans le domaine des longueurs d'onde visibles) sont insignifiantes pour le rayonnement thermique dans la plage de température étudiée, et il n'y a pas de différence notable entre la surface noire et la surface blanche. Néanmoins, la surface recouverte de noir présente une émittance légèrement supérieure, car elle absorbe davantage de lumière visible que la surface recouverte de blanc, qu'elle émet à nouveau conformément à la loi de Kirchhoff sur le rayonnement thermique.

## Résultats (4/4)

PHYWE

L'étude et la comparaison du rayonnement de la surface terne et de la surface polie (lignes bleues et rouges de la figure 3) permettent de conclure qu'un corps dont la surface est plus brillante émet moins de rayonnement thermique.

Ces résultats sont en accord avec la loi de Kirchhoff sur le rayonnement thermique. Selon cette loi, l'émittance de la surface du cube est le produit de l'émissivité spécifique du matériau et de l'émittance spectrale d'un corps noir. Par conséquent, l'émission et l'absorption d'un objet sont identiques. Étant donné que la surface terne absorbe plus de rayonnement que la surface polie, elle émet également plus que l'autre.

Les résultats des mesures permettent de conclure que toutes les surfaces étudiées sont des corps gris. Un corps gris est reconnaissable à son émittance, qui est inférieure d'un certain facteur (émissivité  $\epsilon$ ) par rapport à un corps noir ( $\epsilon = 1$ ). Selon la loi de Stefan-Boltzmann, la puissance rayonnée d'un corps noir est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue. Comme les tensions thermoélectriques mesurées  $V_{th}$  dans la figure 3 montrent également un comportement linéaire lorsqu'elles sont tracées en fonction de la puissance 4 de la température absolue, les surfaces du cube de Leslie doivent être des corps gris.