Leslie-Würfel

MESSUNG DER WÄRMESTRAHLUNG EINES LESLIE-WÜRFELS.

- Nachweis der Wärmestrahlung eines Leslie-Würfels mit einer Thermosäule nach Moll.
- Relativmessung der abgestrahlten Intensität für vier verschiedene Oberflächen in Abhängigkeit von der Temperatur *T*.
- Bestätigung der T^4-Abhängigkeit der abgestrahlten Intensität

UE2020205

09/16 JS

Fig. 1: Experimentelle Anordnung zur Messung der Wärmestrahlung eines Leslie-Würfels.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Der Wärmeaustausch eine Körpers mit der Umgebung erfolgt auch durch Emission und Absorption von Wärmestrahlung. Die Strahlung hängt von der Temperatur des Körpers und seiner Oberflächenbeschaffenheit ab, wie sich mit einem Leslie-Würfel zeigen lässt.

Die abgestrahlte Intensität wird durch das Emissionsvermögen *E* des Körpers beschrieben. Das Absorptionsvermögen *A* ist das Verhältnis von absorbierter zur auftreffenden Strahlungsintensität. Es zeigt sich nun, dass das Absorptionsvermögen besonders hoch ist, wenn dies auch für das Emissionsvermögen gilt. Genauer besagt das Kirchhoff'sche Gesetz, dass für alle Körper bei gegebener Temperatur das Verhältnis von Emissionsvermögen zu Absorptionsvermögen gleich ist und dem Emissionsvermögen E_{SB} des schwarzen Körpers bei dieser Temperatur entspricht:

$$(1) \quad \frac{E(T)}{A} = E_{SB}(T) = \sigma \cdot T^4$$

σ: Stefan-Boltzmann-Konstante
T: Temperatur in Kelvin

Eine Temperaturabhängigkeit des Absorptionsvermögens kann im Allgemeinen vernachlässigt werden. Daher beträgt das Emissionsvermögen des Körpers

(2) $E(T) = A \cdot \sigma \cdot T^4$.

Hat der Körper die gleiche Temperatur T_0 wie die Umgebung, so strahlt er mit gleicher Intensität

(3) $E(T_0) = A \cdot \sigma \cdot T_0^4$

an die Umgebung ab, wie er aus der Umgebung absorbiert. Ist seine Temperatur höher, ändert sich an der aus der Umgebung absorbierten Strahlungsintensität nichts, solange die Umgebungstemperatur konstant bleibt. Daher beträgt die mit einem Strahlungsdetektor messbare Energieabgabe des Körpers pro Fläche und Zeit

(4) $\Delta E(T) = A \cdot \sigma \cdot \left(T^4 - T_0^4\right)$.

Im Experiment wird ein mit einer weißen, einer schwarzen, einer matten und einer glänzenden Fläche ausgestatteter Leslie-Würfel auf Temperaturen bis 120 °C erwärmt und die abgestrahlte Intensität in einer Relativmessung mit einer Thermosäule nach Moll gemessen. Die Messwerte für die vier verschiedenen Flächen werden während des gesamten Abkühlvorgangs bis auf Raumtemperatur verfolgt.

GERÄTELISTE

1	Leslie-Würfel mit Heizung @230V	1017730	(U8498299-230)
oder			
1	Leslie-Würfel mit Heizung @115V	1017729	(U8498299-115)
1	Thermosäule nach Moll	1000824	(U8441301)
1	Messverstärker U @230V	1020742	(U8557560-230)
oder			
1	Messverstärker U @115V	1020744	(U8557560-115)
1	Digital-Multimeter P3340	1002785	(U118091)
2	Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm, rot/blau	1017718	(U13816)

SICHERHEITSHINWEIS

Verbrennungsgefahr: Der Leslie-Würfel wird im Experiment auf Temperaturen bis zu 120 °C geheizt.

- Leslie-Würfel während des Experiments, z.B. beim Drehen des Würfels, nicht berühren.

AUFBAU

Hinweise:

Um eine Drift der Ausganspannung zu vermeiden, sollte das Metallgehäuse der Thermosäule mit der Umgebungstemperatur ausgeglichen sein. Außerdem können Körperwärme und andere Fremdeinflüsse das Ergebnis verfälschen.

- *Nach Aufbau des Experimentes ein paar Minuten mit der Messwerterfassung warten.*
- *Während der Messung die Thermosäule nicht anfassen.*
- *Direkte Sonneneinstrahlung oder Aufbau in Heizkörpernähe vermeiden.*
- *Zugluft und wechselnde Raumtemperaturen während der Messung vermeiden.*

- Thermosäule nach Moll im Halter des Leslie-Würfels auf die Mitte des Würfels ausrichten und befestigen und an den Messverstärker anschließen.
- Messverstärker U in Betrieb nehmen und die Verstärkung 10^3 sowie die Zeitkonstante 0,1 s einstellen.
- Digital-Multimeter als Spannungsmesser an den Ausgang des Messverstärkers U anschließen und einschalten.
- Messbereich 20 V DC einstellen.
- Ausgangsspannung U der Thermosäule mit Offsetsteller des Messverstärkers auf Null abgleichen.
- Ergebnis für alle vier Flächen des Leslie-Würfels überprüfen.

DURCHFÜHRUNG

- Leslie-Würfel mit Heizung einschalten und erste angezeigte Temperatur als Raumtemperatur ϑ_0 ablesen.
- Solltemperatur des Leslie-Würfels auf ϑ = 40 °C stellen und warten, bis die Isttemperatur diesen Wert erreicht hat.
- Nacheinander alle vier Oberflächen zum Leslie-Würfel drehen, warten bis die Ausgangsspannung U der Thermosäule stabil ist und deren Wert notieren.
- Solltemperatur in 10°-Schritten im Bereich 40 °C bis 120 °C erhöhen und jeweils die Ausgangsspannung U für alle vier Oberflächen messen.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

- Aus den gemessenen Isttemperaturen ϑ in °C die absoluten Temperaturen $T = \vartheta + 273{,}15$ K und daraus den Term $T^4 - T_0^4$ berechnen und in Tab. 1 eintragen.
- Die gemessenen Spannungen für alle vier Flächen in einem Diagramm gegen $T^4 - T_0^4$ auftragen.
- Ursprungsgeraden anpassen (siehe Fig. 2) und deren Werte in Tab. 2 eintragen.

Die unterschiedlichen Steigungen der Ursprungsgeraden entsprechen dem unterschiedlichen Absorptionsvermögen der Oberflächen des Leslie-Würfels. Überraschenderweise ist das Absorptionsvermögen der weißen Fläche im für das Experiment relevanten Infraroten Wellenlängenbereich größer als das der schwarzen Fläche.

Tab. 1: Messwerte für die von den vier Flächen abgestrahlte Intensität in Abhängigkeit von der Temperatur des Leslie-Würfels

ϑ	U / mV	U / mV	U / mV	U / mV	$\frac{T^4 - T_0^4}{10^8 \cdot K^4}$
	matt	poliert	weiß	schwarz	
27 °C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
40 °C	0,09	0,01	1,03	0,98	15,0
50 °C	0,20	0,05	1,97	1,83	27,9
60 °C	0,35	0,09	3,14	2,94	42,0
70 °C	0,52	0,13	4,15	3,88	57,5
80 °C	0,70	0,18	5,56	5,21	74,4
90 °C	0,87	0,25	6,79	6,39	92,8
100 °C	1,10	0,32	8,26	7,76	112,7
110 °C	1,25	0,38	9,61	9,07	134,4
120 °C	1,44	0,39	11,12	10,48	157,7

Tab. 2: Steigungen *a* der Ursprungsgeraden und deren Relativwerte.

Steigung	matt	poliert	weiß	schwarz
$\frac{\alpha}{mV / 10^8 \cdot K^4}$	0,009	0,003	0,072	0,068
α_{rel}	12,9%	3,6%	100,0%	94,1%

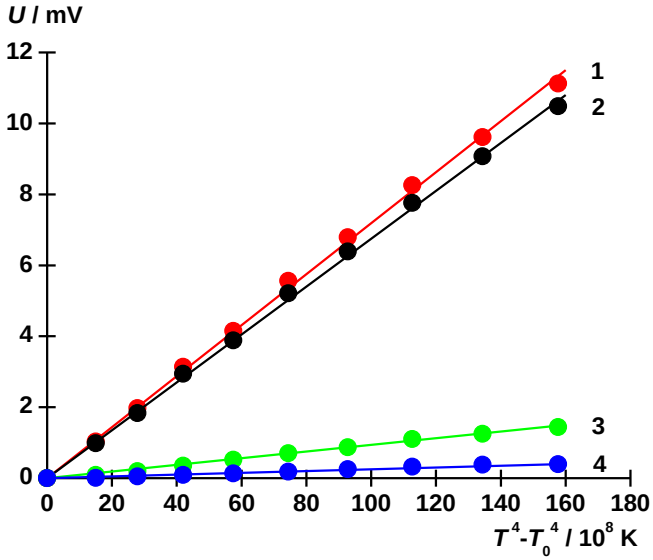

Fig. 2 Abgestrahlte Intensität des Leslie-Würfels in Abhängigkeit von $x = T^4 - T_0^4$

1: weiße Fläche, 2: schwarze Fläche,
3: matte Fläche, 4: glänzende Fläche

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH