

V207 Das Stefan-Boltzmann Gesetz

Ziel: Überprüfung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes mit dem Strahlungswürfel nach Leslie und Bestimmung der Emissionseigenschaften verschiedener Oberflächen.

Stichworte: Absorptionsvermögen, Emissionsvermögen, Grauer Körper, Hohlraumstrahler, Kirchhoffsches Strahlungsgesetz, Schwarzer Körper, Spektrale Strahlungsdichte, Stefan-Boltzmann Gesetz, Thermosäule nach Moll, Wärmestrahlung, Wiensches Verschiebungsgesetz

Theoretische Grundlagen

Jeder Körper, ob warm oder kalt, strahlt Wärme ab. Die Energie und das *Emissionsvermögen* $\epsilon(\lambda, T)$ der Strahlung hängt dabei im Wesentlichen von der Wellenlänge und der Temperatur des Körpers ab. Das Emissionsvermögen eines Körpers ist gleich dessen Absorptionsvermögen $A(\lambda, T)$ und ist mit dem Reflexionsvermögen $R(\lambda, T)$ über Kirchhoff

$$\epsilon(\lambda, T) = A(\lambda, T) = 1 - R(\lambda, T) \quad (1)$$

verknüpft. Körper die alle Strahlung absorbieren und vollständig in Wärme umwandeln werden als *Schwarzer Körper* bezeichnet ($\epsilon = 1$). In der Realität gibt es keinen Schwarzen Körper. Am nächsten kommt dem ein Hohlraum, der eine kleine Öffnung hat. Die eintretende Strahlung wird im Hohlraum mehrfach reflektiert, sodaß keine Strahlung austreten kann und vollständig absorbiert wird (Hohlraumstrahlung). Ein Körper, dessen Emissionsvermögen $\epsilon < 1$ ist, wird Grauer Körper genannt.

Die von einem Körper abgestrahlte Leistung hängt von der Temperatur T des Körpers und der abgestrahlten Wellenlänge ab und wird durch das *Planck'sche Strahlungsgesetz*

$$P(\lambda, T) = \frac{dP}{d\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\Omega_0 \lambda^5} \left(\exp\left(\frac{ch}{k\lambda T}\right) - 1 \right)^{-1} \quad (2)$$

beschrieben. Dabei ist Ω_0 der Raumwinkel, der abgestrahlten Wärme. Mit steigender Temperatur des Körpers verschiebt sich das Maximum der Kurve zu kleineren Wellenlängen (Wiensches Verschiebungsgesetz). Die integrale Strahlungsdichte $P(T)$ eines schwarzen Körpers ist proportional zu T^4 und wird durch das *Stefan-Boltzmann-Gesetz* beschrieben. Bezogen auf die abgestrahlte Fläche ist die abgestrahlte Leistung eines Körpers der Temperatur T gegeben durch

$$P(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

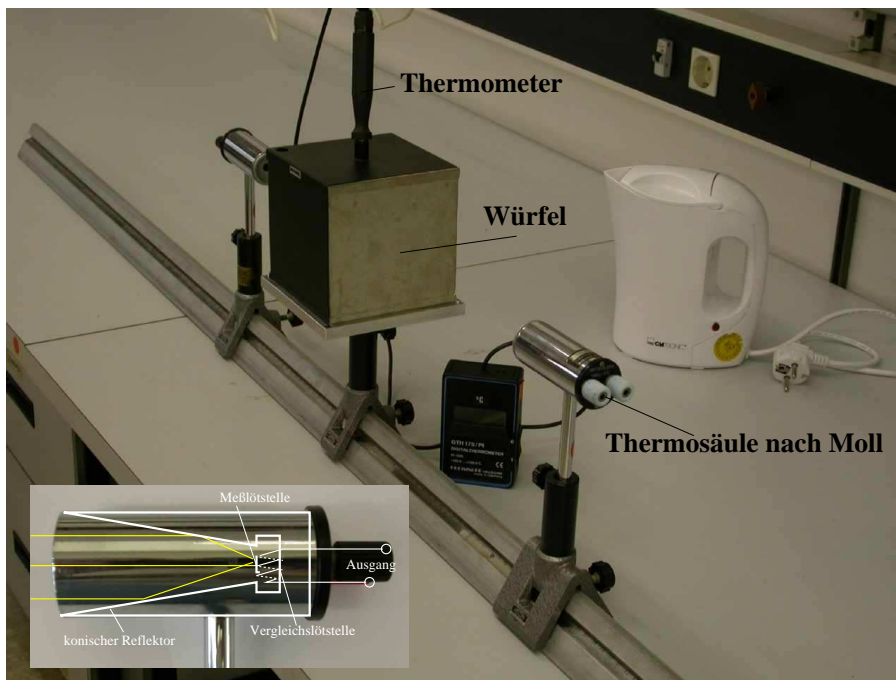
dabei ist ϵ das Emissionsvermögen des Strahlers und $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante.

Vorbereitung

- Berechnen Sie die Spektrale Leistungsdichte für einen Schwarzen Strahler bei Raumtemperatur.

Aufgabe

- Untersuchen Sie die Strahlungsleistung als Funktion der Temperatur für alle 4 Oberflächen des Leslie-Würfels und bestimmen Sie das Emissionsvermögen der unterschiedlichen Oberflächen.
- Messen Sie die Strahlungsleistung als Funktion des Abstandes.



Versuchsaufbau

Für die Überprüfung des Strahlungsgesetzes verwenden Sie einen Strahlungswürfel nach Leslie. Hierbei handelt es sich um einen Hohlwürfel, der mit Wasser gefüllt werden kann und so auf maximal $T_{max}=100^\circ$ Celsius gebracht wird. Die Temperatur des Wassers wird mit einem Thermometer gemessen. Die vier Seitenflächen des Würfels bestehen aus verschiedenen Materialien, einer schwarz lackierten Fläche, eine weiß lackierte Fläche, eine matte Metallfläche und eine glänzende Metallfläche. Die unterschiedlichen Metalloberflächen nehmen je nach Absorptionsvermögen die Temperatur des Wassers auf und geben diese in Form von Wärmestrahlung wieder ab. Die abgegebene Wärmestrahlung wird mit einer *Thermosäule nach Moll* gemessen. Die Thermosäule besteht aus einem Hohlzylinder, dessen Eintrittsöffnung zur Erweiterung des Querschnitts konisch verläuft. Die Strahlung wird von dem konischen Reflektor aufgefangen und an die geschwärzte Detektorfläche weitergeleitet. Diese besteht aus einer in Reihe geschalteten Thermoelemente, deren Vergleichslötstellen thermisch mit dem Metallgehäuse verbunden sind. Die detektierte Strahlung wird relativ zur Gehäusetemperatur T_0 als Thermospannung gemessen. Die Thermosäule nach Moll ist ohne Schutzfenster in einem spektralem Bereich von $\lambda = (0.2 - 50)\mu m$ empfindlich; mit Schutzfenster wird die spektrale Empfindlichkeit auf $\lambda = (0.3 - 2.8)\mu m$ herabgesetzt.

Die Thermosäule ist ein sehr empfindliches Meßgerät, sodaß es sehr anfällig für Störungen aus der Umgebung ist. Dies kann sogar die Körperstrahlung des Experimentators sein, oder

aber die Sonnenstrahlen, die auf die Thermosäule fallen. Da die Gehäusetemperatur als Referenztemperatur für die Thermospannung dient, sollten Sie die Thermosäule immer am Stiel anfassen und NICHT am Gehäuse, dies kann zu einer Drift des Nullpunktes führen.

Versuchsdurchführung

- Stellen Sie die Thermosäule ca 10 cm vor den Lesliewürfel. Halten Sie eine schwärze Pappe vor die Thermosäule und messen Sie die Offsetspannung U_0 . *Hinweis:* Überprüfen Sie zwischen den einzelnen Messungen die Offsetspannung, da es während des Experimentierens zu Temperaturdrifts kommen kann.
- Füllen Sie den Würfel mit kochendem Wasser und messen Sie $t = 5 \text{ min}$ lang in Abständen von $\Delta t = 10 \text{ s}$ die Thermospannung, um die Ansprechzeit der Thermosäule zu bestimmen. Tragen Sie die Daten in ein Diagramm. Die Ansprechzeit liegt bei 90% der Sättigung.
- Messen Sie die Thermospannung für alle vier Oberflächen als Funktion der Temperatur. Beginnen Sie bei $T = 100^\circ\text{C}$ und wiederholen Sie die Messung nach einer Temperaturabnahme von ca. 5°C . Achten Sie darauf, die Thermospannung immer nach der Ansprechzeit abzulesen. Überprüfen Sie am Ende der Meßreihe die Offsetspannung.
- Tragen Sie die Thermospannung als Funktion von $T^4 - T_0^4$ auf und bestimmen Sie das Emissionsvermögen ϵ der verschiedenen Oberflächen aus der Steigung der Geraden. Nehmen Sie an, daß die schwarz lackierte Oberfläche ein Schwarzer Strahler ist. Wenn Sie eine Temperaturdrift beobachtet haben, rechnen Sie diese linear in das Ergebnis mit ein.
- Diskutieren Sie das Ergebnis.
- Messen Sie die Strahlintensität als Funktion des Abstandes und stellen Sie das Ergebnis graphisch dar.

Achtung: Vor dem Messen der Thermospannung sollten Sie das Wasser umrühren, damit sich eine gleichmäßige Temperaturverteilung haben.

Literatur

- [1] D. Geschke *Physikalisches Praktikum*, Teubner 1994