

Praktikumsvorbereitung

Wärmestrahlung

André Schendel, Silas Kraus
Gruppe DO-20

14. Juni 2012

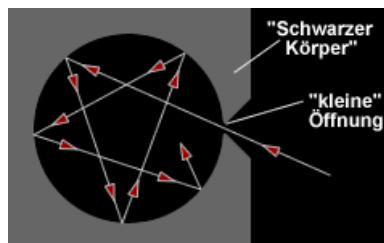
I. Allgemein

Schwarzer Körper

Ein „schwarzer Körper“ ist ein idealisiertes Objekt, das jede elektromagnetische Strahlung jeder Wellenlänge zu 100% absorbiert. Demnach weist ein schwarzer Körper ein Absorptionsvermögen von 1 auf. Nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz ergibt sich hiermit auch ein Emissionsvermögen von 1 für den schwarzen Körper, der deshalb auch „schwarzer Strahler“ genannt wird.

Als Veranschaulichung für einen schwarzen Körper wird oft ein Hohlraumstrahler verwendet.

Abbildung 1: Hohlraumstrahler - schematisch Quelle:[2]



Kirchhoffsches Strahlungsgesetz

Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz besagt, dass die von einem Körper abgestrahlte Leistung P gleich dem Produkt aus der abgestrahlten Leistung eines schwarzen Körpers P_S und dem Absorptionsgrad des Körpers ist.

$$P = \epsilon \cdot P_S$$

Zu berücksichtigen ist, dass der Absorptionsgrad von der Frequenz ν des einstrahlenden Lichts, der Temperatur T des Körpers, dem Material des Körpers und der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers abhängt.

Wiensche Verschiebungsgesetz

Gibt in Abhängigkeit von der Temperatur T an, wo das Maximum der Strahlungsdichte ν_{max} eines schwarzen Strahlers liegt

$$\nu_{max} = \frac{2,82 \cdot k_B}{h} \cdot T = 5,88 \cdot 10^{10} \cdot T$$

mit der Boltzmannkonstante k_B , dem Planck'schem Wirkungsquantum h und der Temperatur T des Körpers

Stefan-Boltzmann-Gesetz

Das Stefan-Boltzmann Gesetz beschreibt den Zusammenhang der von einem Körper abgestrahlten Leistung und den dafür verantwortlichen Parametern: der Oberfläche A des Körpers, der Temperatur T des Körpers und der Stefan-Boltzmann-Konstanten σ .

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Hierbei ist die Stefan-Boltzmann-Konstante gegeben durch

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^2}$$

mit der Boltzmannkonstante k_B , dem Planck'schem Wirkungsquantum h und der Lichtgeschwindigkeit c

Plancksches Strahlungsgesetz

„Das Plancksche Strahlungsgesetz beschreibt die Verteilung der elektromagnetischen Energie des thermischen Strahlungsfeldes eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Frequenz der Strahlung„[1].

Dabei vereint es das Rayleigh-Jeans- und das Wiensche Strahlungs- und das Wiensche Verschiebungsgesetz in sich.

Es ergibt sich für die Plancksche Energiedichte:

$$S(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1}$$

mit ν ist die Frequenz, T die Temperatur, c die Lichtgeschwindigkeit h das Planck'sches Wirkungsquantum und k_B die Boltzmannkonstante

Thermoelement

Ein Thermoelement ist ein elektrisches Bauteil, das zur Messung von Infrarotstrahlung genutzt werden kann, indem die aus der Strahlung resultierende Temperaturdifferenz über eine Spannungsdifferenz ermittelt wird.

Dabei besteht ein Thermoelement aus zwei unterschiedlichen Leitermaterialien, die an einem Ende mit einander verbunden sind. Aufgrund der unterschiedlichen Austrittsarbeiten der beiden Materialien kann eine Kontaktspannung zwischen den beiden Materialien entstehen, wenn zwischen ihnen ein Temperaturgradient auftritt. Dieser bewirkt nämlich, dass sich eine Raumladung bilden kann, welche zu einem Elektrischen Feld zwischen den Materialien führt, was schlussendlich in einer Potentialdifferenz also einer Spannung resultiert. Allerdings sind die Spannungen auch bei hohen Temperaturen sehr gering: einige Mikro- bzw. Millivolt.

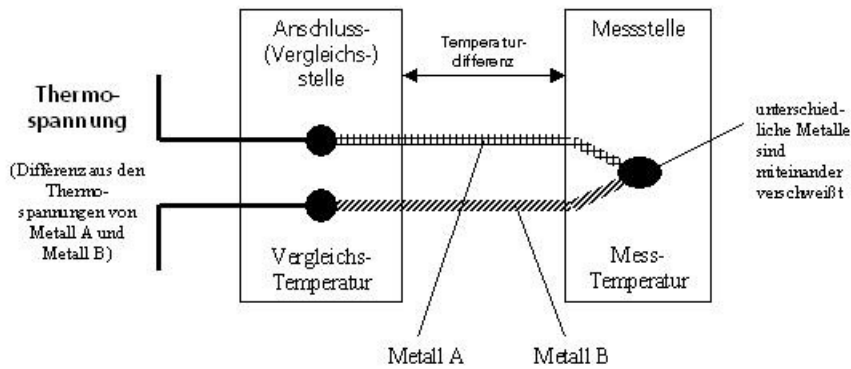
Berechnen lässt sich die Spannung durch

$$U = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

Hierbei stehen S_B und S_A für die temperaturabhängigen Seebeckzahlen der einzelnen Materialien. Bei geringen Temperaturdifferenzen lässt sich die Formel auch vereinfacht ausdrücken als

$$U = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1)$$

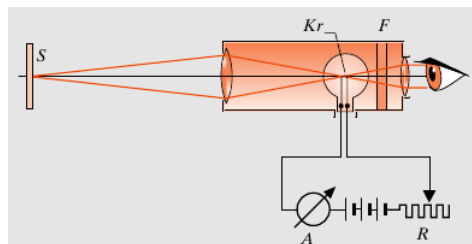
Abbildung 2: Thermoelement - schematisch Quelle:[4]



Pyrometer

Pyrometer sind elektrische Messinstrumente, die zur berührungsfreien Temperaturbestimmung genutzt werden. Im Pyrometer befindet sich eine Glühlampe mit regelbarer Intensität. Durch eine Linse wird das abgestrahlte Licht, der zu vermessenden Fläche/Objekts so gebündelt, dass deren Abbildung in die gleiche Ebene wie der Glühfaden projiziert wird. Der Strom durch die Glühwendel wird nun so geregelt, dass deren Helligkeit genau mit der abgebildeten Fläche übereinstimmt. Über einer der Glühlampe zugrunde liegenden Eich-tabelle, kann über den durch sie hindurch fließenden Strom, die Temperatur des Glühfadens und des zu betrachtenden Objekts bestimmt werden.

Abbildung 3: optisches Pyrometer Quelle:[3]



II. Aufgaben

Aufgabe 1. Beweis der Gültigkeit des Stefan-Boltzmann Gesetzes

Als erster Versuch soll die Gültigkeit des Stefan-Boltzmanngesetzes demonstriert werden. Dafür soll die Temperatur eines aufgeheizten schwarzen Strahlers mittels des eingebauten Thermoelements über die ausgegebene Spannung bestimmt werden. Dabei ist zu beachten, dass im Raum bereits eine gewisse Umgebungstemperatur vorherrscht, die nicht vom schwarzen Strahler stammt. Außerdem muss die Thermosäule vor einwirkender Fremdstrahlung geschützt werden, um die Messung nicht unnötig zu verfälschen. Dieser Versuch lässt lediglich eine qualitative Aussage über die Gültigkeit des Gesetzes zu.

Es sollte gelten:

$$U_{Thermo} \propto (T - T_{Raum})^4$$

Als geeignete graphische Darstellung sollte hier eine logarithmische Auftragung in einem Diagramm gewählt werden, in dem dann eine Geradensteigung von $m = 4$ die Gültigkeit beweist.

Aufgabe 2. Ermittlung des Emissionsvermögens in Abhängigkeit von der Temperatur und der Oberfläche eines Körpers

Als nächstes soll das Emissionsvermögen verschiedener Oberflächen bei verschiedenen Temperaturen untersucht werden. Dafür wird der schwarze Strahler aus Aufgabe 1 durch verschiedene Scheiben mit unterschiedlichen Oberflächen ersetzt und aufgeheizt. Die entstehenden Temperaturen werden durch ein NiCr-Ni-Thermoelement gemessen. Die ermittelten Daten sollen dann wieder logarithmisch in einem Graphen aufgetragen werden.

Aufgabe 3. Ermittlung der wahren Temperatur einer Glühlampe T_W in Abhängigkeit vom Lampenstrom I

Um die Temperatur einer Glühlampe T_W zu bestimmen, wird diese auf eine gewisse Temperatur aufgeheizt. Dann wird die Lampe eines Pyrometers ebenfalls so stark aufgeheizt, bis man durch Abgleichen der Intensitäten beider Lampen mittels des Pyrometers bestimmt hat, welcher Strom durch die Pyrometerlampe fließt. Unter Zuhilfenahme der im Aufgabenblatt angegebenen Tabelle lässt sich dann die Temperatur der Pyrometerlampe in Abhängigkeit vom Pyrometerstrom bestimmen. Da die Glühlampe kein perfekter schwarzer sondern nur ein grauer Strahler ist, muss ihre Temperatur höher sein, um die gleiche Intensität abzustrahlen wie ein schwarzer Strahler. Diese Temperaturdifferenz kann ebenfalls aus der zur Verfügung gestellten Tabelle entnommen werden. Die Temperatur der Glühlampe T_W ergibt sich dann aus

$$T_W = T_S + (T_W - T_S)$$

mit T_S =Temperatur schwarzer Strahler

Nun muss nur noch der Strom der Glühlampe abgelesen und zusammen mit der Lampentemperatur aufgetragen werden. Es sollte sich eine lineare Proportionalität ergeben.

III. Quellen

I www.wikipedia.de

II Klassische Experimentalphysik Skript von Professor Ulrich G. Nienhaus KIT
Institut für Angewandte Physik WS 2011/12

III Vorbereitungshilfe Wärmestrahlung

- 1 http://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz
- 2 http://www.greier-greiner.at/hc/imgs/img_theo/schw_strahler.gif
- 3 Vorbereitungshilfe Wärmestrahlung S.597 Abb. 12.20
- 4 <http://www.sascha.uni-saarland.de/sascha2006/img/mst06.1.jpg>