

STEFAN-BOLTZMANN Gesetz

A. Aufgabenstellung

Die Temperatur des Glühfadens einer Lampe wird mit einem Pyrometer gemessen. Wenn die Leistung, die der Lampe zugeführt wird, bekannt ist, lässt sich das STEFAN-BOLTZMANN Gesetz kontrollieren. Man leite dieses und die Strahlungsgesetze von RAYLEIGH-JEANS, WIEN und PLANCK theoretisch ab.

B. Anleitung zur Theorie

Zur Herleitung der Strahlungsgesetze benötigt man die Anzahl der strahlenden Oszillatoren (Freiheitsgrade) in einem Frequenzintervall. Darüber hinaus wird diese Zahl verdoppelt, wegen der zwei möglichen Polarisationsrichtungen. Der Unterschied zwischen dem klassischen und dem quantenmechanischen Gesetz verdeutlicht sich erst bei der Frage nach der mittleren Energie eines Oszillators, die im quantenmechanischen Fall durch eine statistische Rechnung geklärt wird.

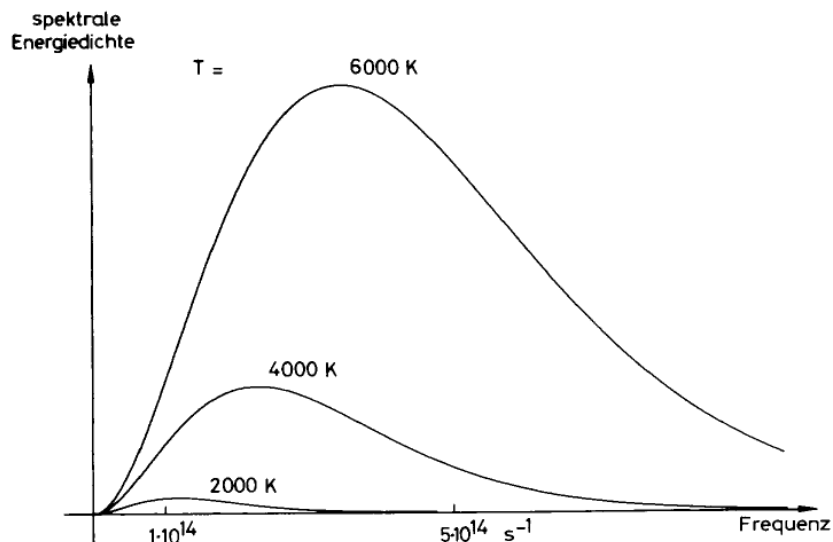


Fig. 1: PLANCK'sches Strahlungsgesetz; spektrale Energiedichte über Frequenz bei verschiedenen Temperaturen als Parameter.

Daneben ist es möglich das PLANCK'sche Strahlungsgesetz nach EINSTEIN durch Überlegungen über Absorption und spontane bzw. induzierte Emission unter Zuhilfenahme der BOLTZMANN-Statistik zu begründen.

Sowohl das WIEN'sche Strahlungsgesetz; wie jenes von RAYLEIGH-JEANS ist als Grenzfall im quantenmechanischen, allgemeingültigen Gesetz beinhaltet, wodurch letzteres dem Korrespondenzprinzip Rechnung trägt. Daneben kann aus dem PLANCK'schen Gesetz das WIEN'sche Verschiebungsgesetz und das STEFAN-BOLTZMANN Gesetz hergeleitet werden. Die Größe der dabei auftretenden Konstanten ist davon abhängig, ob man Energiedichten oder Energiestromdichten bzw. Intensitäten betrachtet, deren Zusammenhang begründet wird.

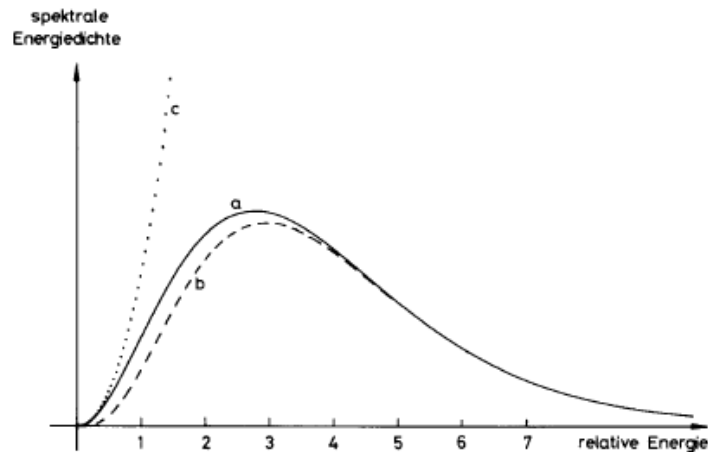


Fig. 2: Spektrale Energiedichte über relative Energie $h\nu/kT$; a) PLANCK'sches Gesetz, b) WIEN'sches Gesetz, c) RAYLEIGH-JEAN'sches Gesetz.

Bei der Pyrometrie ist die schwarze Temperatur von der Farbtemperatur zu unterscheiden. Die Abweichung zwischen wahrer und schwarzer Temperatur kann mit dem KIRCHOFF'schen Gesetz begründet und qualitativ angegeben werden. Die Messung der Farbtemperatur erweist sich insbesondere bei grauen Strahlern als genauer, was ebenfalls durch das KIRCHOFF'sche Gesetz zu verstehen ist.

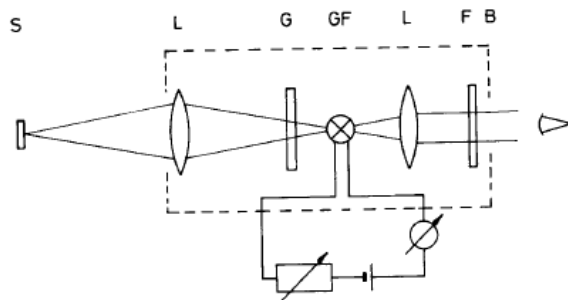


Fig. 3: Glühfadenpyrometer.; S: Strahler, L: Linse, G: Graufilter, GF: Glühfaden, F: Rotfilter, B: Blende.

C. Literatur

R.W. POHL, Optik und Atomphysik, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1973

F. KOHLRAUSCH, Praktische Physik, B.G. Teubner, Stuttgart, 1985

M. BÖHM, A. SCHARMANN, Höhere Experimentalphysik, VCH, Weinheim, 1992

Lehrbücher der statistischen Thermodynamik

D. Vorbereitung und Durchführung

Aufgabe: Es soll mit den angegebenen Hilfsmitteln eine einfache Schaltung für den Lampenstrom erstellt werden, die über Schiebewiderstände eine Variation des Lampenstroms zwischen 0 A und max. 3,3 A erlaubt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Gesamtstrom des Netzteils keinesfalls 5 A übersteigen darf. Strom und Spannung an der Lampe sollen gemessen werden.

Erstellen Sie mit diesen Angaben einen Schaltplan und bringen Sie diesen zum Versuch mit!

Hilfsmittel:

- Netzgerät: Ausgänge 4 V, 6 V, 12 V; max. 5 A
- Glühlampe nominell: 6 V, 5 A
- Schiebewiderstand I: 3,2 Ω , 13 A
- Schiebewiderstand II: 1,24 Ω , 20 A
- 3 Multimeter zur Anzeige von Strom und Spannung

Für das Kolloquium:

Ableitung des Planck-Gesetzes über Zustandsdichten

- Abzählung der Frequenzen (Zustandsdichte) im Hohlraum
- Berechnung der Energiedichte nach Rayleigh-Jeans, Wien und Planck
- Wiensches Verschiebungsgesetz

Ableitung des Planck-Gesetzes nach Einstein

- Photonen-Hypothese
- Spontane und induzierte Emission
- Einstein-Koeffizienten
- Boltzmannverteilung
- Berechnung des Planckschen Strahlungsgesetzes

Stefan-Boltzmann Gesetz

- Schwarze und nicht-schwarze Strahler (Emissionsvermögen)

Strahlungsgrößen

- Photometrische und radiometrische Strahlungsgrößen
- Strahlungsleistung
- Strahlstärke
- Strahldichte
- Spezifische Austrahlung
- Kirchhoffsches Gesetz
- Lambert-Strahler

Pyrometrie und Temperaturmessung

- Pyrometer
- Thermosensoren

Beachten Sie bitte, dass es für die Durchführung des Versuchs erforderlich ist einen Schaltplan zum Betrieb der Glühlampe zu entwerfen. Ihren Entwurf präsentieren Sie am Ende des Kolloquiums, **ohne Schaltplan ist die Durchführung des Versuchs nicht möglich!** Angaben zu den Bauteilen finden Sie in der Anleitung.

Sie dürfen im Kolloquium einen selbstgeschriebenen Formelzettel verwenden.

Durchführung: Sie nehmen vier Messreihen auf, in dem Sie den Lampenstrom einstellen und dann die Spannung und Temperatur aufzeichnen. Die Messungen erfolgen in 0,2 A Schritten von **2,2 A bis 3,2 A**, dann von **3,3 A bis 1,7 A**, von **1,8 A bis 3,2 A** und abschließend noch einmal von **3,3 A bis 2,1 A**.

Auswertung:

- Tragen sie die Lampenleistung als Funktion der Temperatur in Kelvin auf. Treffen Sie erste Aussagen über die Güte der Messung, gibt es Ausreisser?
- Machen Sie an dieser Messkurve eine Regression mit der Funktion $P = AT^B$ (A,B: Fit-Parameter). Warum wird das Stefan-Boltzmann-Gesetz nicht bestätigt?
- Versuchen Sie die Diskrepanz aufzuklären: tragen Sie einen Plot $P = f(T^4)$ auf und führen Sie eine lineare Regression durch. Was lässt sich nun über das T^4 -Gesetz sagen?
- Welche Fehlerquellen könnten zu dem beobachteten Ergebnis beitragen?
- Versuchen Sie eine Korrektur, indem Sie annehmen, dass ein konstanter Anteil der Leistung nicht in Strahlung umgesetzt wird. Schätzen Sie diesen Anteil aus dem letzten Graphen ab.
- Tragen Sie in einem neuen Graphen die korrigierte Leistung gegen T auf, machen Sie erneut eine Regression mit der Funktion $P = AT^B$. Welchen Wert nimmt der Exponent B nach der Leistungskorrektur an? Ist das Stefan-Boltzmann Gesetz jetzt bestätigt?
- Tragen Sie die Daten doppelt-logarithmisch auf! Was lässt sich nun bestimmen, warum sollte man das machen?
- Diskutieren Sie die möglichen Fehler!
- Bei den Beobachtungen wird dem Strahler eine schwarze Temperatur zugewiesen. Nehmen Sie an, dass in Wirklichkeit ein grauer Strahler des Emissionsvermögens ε vorliegt. Nutzen Sie die Daten für ε von Wolfram (s. Bergmann-Schäfer Bd. III; Kap. Über nicht-schwarze Strahler) für folgende Daten: Temperatur 1600 K, Wellenlänge 655 nm. Berechnen Sie jetzt die wahre Temperatur des Strahlers mit Hilfe des Wien-Gesetzes.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an den Betreuer:

Daniel Reppin

Raum 37

Tel. 0641-99-33103

daniel.reppin@materialwiss.uni-giessen.de