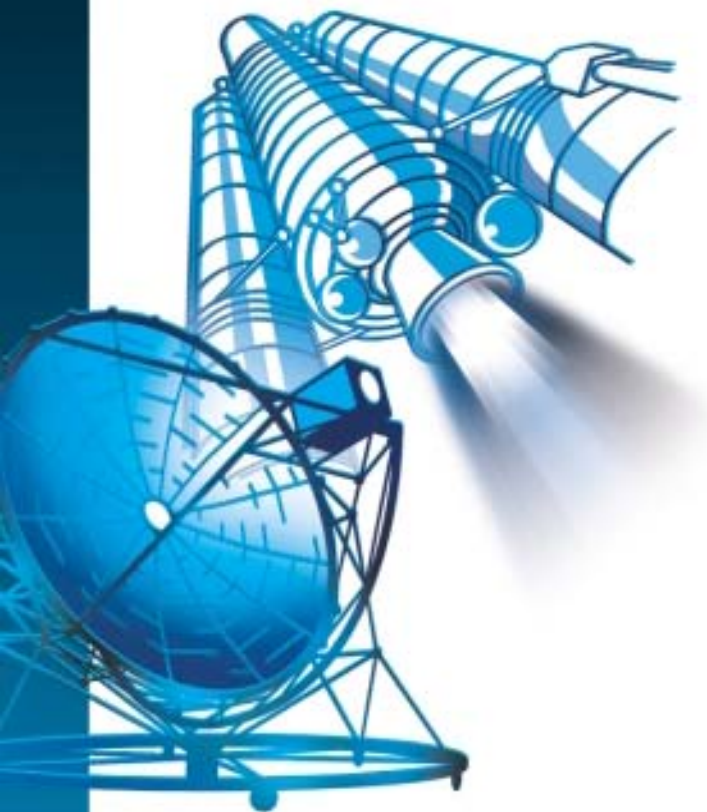


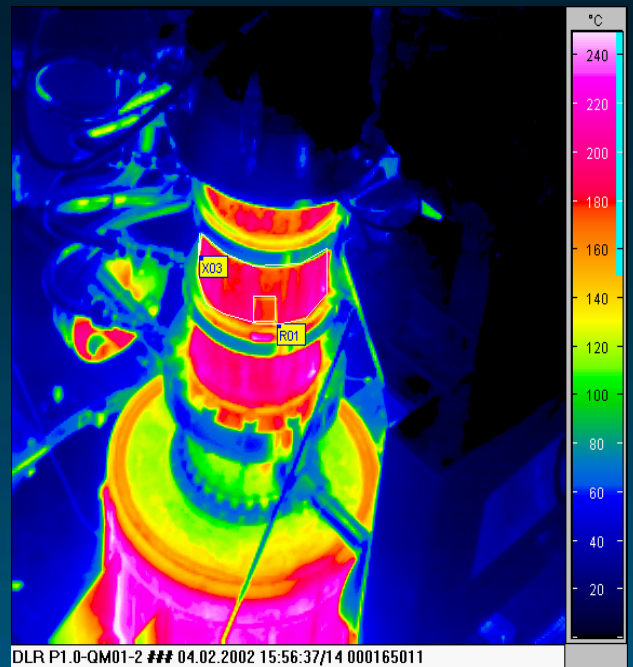
DLR_School_Lab

Lampoldshausen/Stuttgart



Optische Messtechnik

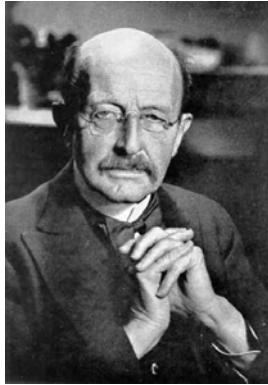
Wie man Dingen ein heißes Geheimnis entlocken kann



In den Naturwissenschaften wird Licht mit dem Fachbegriff der elektromagnetischen Welle bezeichnet. Von diesen Wellen gibt es ein ganzes Sammelsurium, die sich nur durch ihre Wellenlänge und damit, wie Albert Einstein 1905 feststellte, ihre Energie unterscheiden. Nur ein kleiner Teil des Spektrums der elektromagnetischen Wellen kann von uns Menschen gesehen werden: Vom blauen Licht bis hin zum roten. Andere Bereiche im elektromagnetischen Spektrum sind uns nicht visuell erfahrbar, wie z.B. die hochenergetische Röntgenstrahlung oder das UV-Licht, das wir erst durch die Rötung beim Sonnenbrand bemerken. Infrarotlicht mit weniger Energie hat lange Wellen und kann von unseren Augen ebenfalls nicht registriert werden. Doch die mollige Wärme, die von einer Rotlichtlampe ausgeht empfinden wir als angenehm auf unserer Haut. Infrarotstrahlung wird auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Dies kommt daher, da alle „warmen“ Körper entsprechend ihrer Temperatur einen charakteristischen Anteil dieser Form des Lichts entsenden. Und warm ist ein Körper, wenn seine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ liegt. Wissenschaft und Technik bedienen sich dieser Eigenschaft und machen mit Infrarotsensoren Wärmestrahlung sichtbar um damit Bauteilen, Verbrennungsvorgängen oder Sternen ihre „heißen“ Geheimnisse zu entlocken.

Das Plancksche Strahlungsgesetz

Ein schwarzer Körper kann durch einen Hohlraum, dessen gut isolierte Wände auf einer konstanten Temperatur gehalten werden, und in dem eine winzig kleine Öffnung zur Beobachtung vorhanden ist, realisiert werden. Licht, das durch das Loch ins Innere fällt, wird von den Wänden ständig absorbiert und wieder abgestrahlt



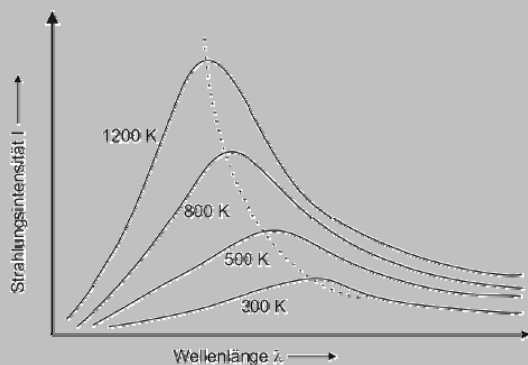
(emittiert). Durch die Kleinheit des Loches ist es dem eingefallenen Licht praktisch nicht mehr möglich, den Hohlraum zu verlassen, weswegen er dem Beobachter als schwarz erscheint. Heizt man nun die Wände eines solchen Hohlraums auf über 525°C, so beginnen die Wände selbst Licht zu

emittieren, weswegen sie dem Auge nicht mehr schwarz erscheinen.

Planck nahm an, daß sich das Licht in diesem Hohlraum ähnlich wie Gasmoleküle bewegt und daß dessen Energie nicht kontinuierlich, sondern nur in kleinen Portionen (Energiequanten) von der Hohlraumwand aufgenommen oder abgegeben wird. Durch diese theoretischen Überlegungen konnte er im Jahre 1900 die Gleichung

$$E(\lambda, T) = \frac{2c^2 h \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

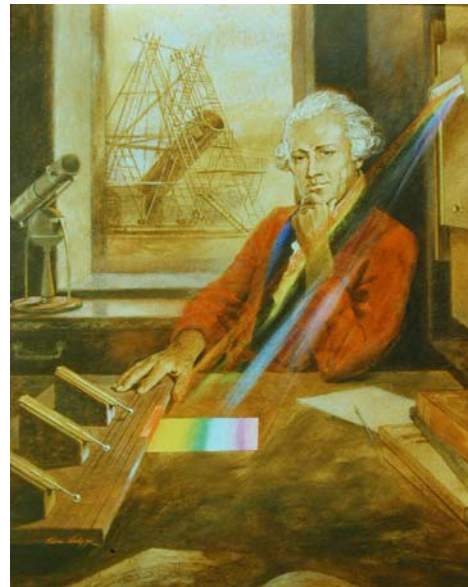
ableiten und damit die Strahlungscharakteristik eines schwarzen Körpers richtig beschreiben. Das war die Geburtsstunde der Quantenmechanik.



Spektrale Intensitätsverteilung eines schwarzen Körpers, nach dem Planckschen Strahlungsgesetz berechnet. Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf des Wienschen Verschiebungsgesetzes.

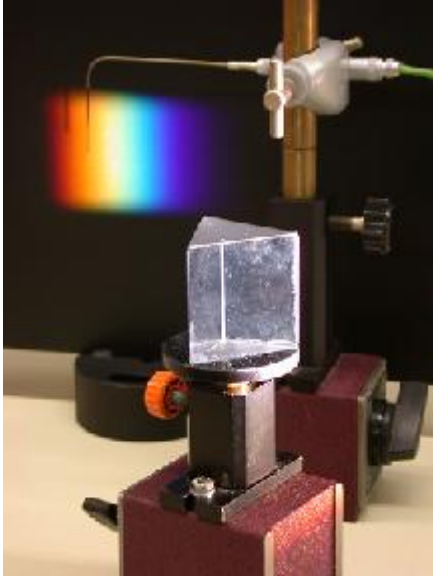
Wärmestrahlung

Der Astronom Sir Frederick William Herschel (1738-1822) hatte bei Sonnenbeobachtungen durch verschiedene Farbfilter festgestellt, dass die farblich gefilterten Sonnenstrahlen zu unterschiedlichen Wärmeempfindungen auf der Haut führen. Um diese Beobachtung genauer zu untersuchen, führte er im Jahr 1800 ein Experiment durch, in dem er die Wärme, die in den Farben des Spektrums gespeichert ist, messen wollte.



Er benutzte hierfür ein Glasprisma, um das Sonnenlicht in die Spektralfarben zu zerlegen und stellte Quecksilberthermometer an die verschiedenen Farbbereiche. Herschel bemerkte, dass die von den Thermometern angezeigte Temperatur von Blau über Grün nach Rot kontinuierlich anstieg. Ein im Bereich jenseits des roten Farbbandes angebrachtes Thermometer zeigte aber eine noch höhere Temperatur an. Dies war der erste Nachweis für die Existenz von Strahlung, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist und welche heute als Infrarot (IR) bezeichnet wird.

Im Laborversuch könnt ihr das Herschel-Experiment nachbauen. Mit einem Prisma zerlegt ihr das Licht einer Lampe in dessen Spektralfarben. Die Wärmestrahlung der verschiedenen Farbbereiche wird von euch mit verschiedenen Temperaturfühlern gemessen und eine Trendkurve wie beim historische Experiment erstellt.



Pyrometrie

Alle festen Körper, wie etwa die Sonne oder ein glühendes Stück Eisen, geben Wärme in Form von elektromagnetischen Wellen ab.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde diese Strahlung von Gustav Kirchhoff, Wilhelm Wien, Josef Stefan, Ludwig Boltzmann und Max Planck systematisch untersucht. Eine erste technische Anwendung war in dieser Zeit schneller Industrialisierung die Messung hoher Temperaturen bei der Roheisenherstellung und Stahlschmelze. Das damals entwickelte Glühfadenpyrometer ist hier heute noch oft im Einsatz. Es bezieht das menschliche Auge in die Messung ein und arbeitet damit im sichtbaren Spektralbereich.

Im Experiment werden verschiedene glühende Körper, unter anderem auch die Glühwendel der Lampe des Herschelversuchs, angemessen und deren Temperatur bestimmt.



Die im Planckschen Strahlungsgesetz getroffene Idealisierung des „schwarzen Körpers“ und die Notwendigkeit von Korrekturfaktoren für die Betrachtung realer Körper kann von euch untersucht werden. Dabei erfahrt ihr, was eine schwarze, graue oder farbige Temperatur ist. Bei Messungen eines glühenden Wolframbandes bei über 1000 °C könnt ihr dessen

Strahlungsleistung, das durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben wird, bestimmen.

Thermographie

Neben der Temperaturmessung im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums wird bei heutigen Messmethoden vorwiegend der Infrarotanteil der Strahlung benutzt. Mit einer Wärmebildkamera, der auch kleinste Wärmeunterschiede nicht verborgen bleiben, könnt ihr euch innerhalb und außerhalb des Labors auf die Suche nach Wärmequellen machen und –natürlich nur theoretisch– herausfinden, warum es einer Maus möglich wäre sich, für uns sichtbar, hinter einer Glasscheibe vor einer Klapperschlange zu verstecken. „Streng wissenschaftlich“ lassen sich mit der IR-Kamera auch die zuvor mit dem historischen Herschel-Experiment und dem Pyrometer gemachten Messungen wiederholen. Unterschiede und Fehlerquellen der Messmethoden sowie die daraus folgenden Einsatzmöglichkeiten und Anwendungen von IR-Sensoren lassen sich so herausfinden.

Anwendungen

Auch Waldbrände sind Wärmequellen, von denen, insbesondere in bevölkerungsdichten Regionen, große Gefahr ausgehen kann und die sich, bei einer großflächigen Ausdehnung, negativ auf das Ökosystem auswirken. Durch deren frühzeitige Entdeckung können Brandkastastophen verhindert und Feuerwehreinsätze bei bestehenden Bränden gezielt koordiniert werden. Hierzu wurde vom DLR der Satellit „BIRD“ entwickelt und -ausgestattet mit einer hochpräzisen Zweikanal-Infrarot-Sensorik- in den erdnahen Orbit geschossen. Von dort aus scannen seine Sensoren den gesamten Globus nach Hot-Spots (Busch-, Steppen-, und Waldbränden oder Vulkanausbrüchen) ab und ermöglichen so eine frühestmögliche Bekämpfung.



Fragen zum Nachdenken:

Welche Bedeutung hat die Raumfahrt für unsere Umwelt und Industrie?
Wer hat als erster die infrarote Wärmestrahlung entdeckt ?
Wozu werden Pyrometer eingesetzt ?
Welche Tiere können IR-Strahlung wahrnehmen ?

Glossar

Elektromagnetisches Spektrum

Bezeichnet die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen (Licht), geordnet nach ihrer Wellenlänge oder Schwingungsfrequenz. Das elektromagnetische Spektrum umfasst die Radiowellen mit Wellenlängen im km-Bereich bis hin zu den hochenergetischen und äußerst kurzwelligen Gammastrahlen. Das für uns sichtbare Licht ist ein sehr kleiner Ausschnitt des Gesamtspektrums. Zwischen Wellenlänge λ und Schwingungsfrequenz ν gilt folgende Beziehung: $\nu=c/\lambda$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist.

nm

ist die Kurzschreibweise für die Einheit Nanometer.

1 nm bezeichnet den milliardsten Teil eines Meters (0,000.000.001 m). Sichtbares Licht besitzt Wellenlängen zwischen 400 nm und 750 nm.

Infrarotstrahlung

Liegt außerhalb des von Menschen sichtbaren Bereichs des Spektrums. Die Wellenlängen der IR-Strahlung beginnen bei ca. 750 nm.

Schwarzer Körper

Ist ein idealisiertes Objekt, das jede einfallende Strahlung unabhängig von deren Wellenlänge absorbieren (aufnehmen) kann.

Gustav Kirchhoff

Zeigte, dass ein Körper, der die gesamte Strahlung beliebiger Wellenlängen absorbieren kann, auch in der Lage sein muß, dieses Spektrum elektromagnetischer Wellen wieder abzugeben (zu emittieren). Ein Objekt, das solch ein Kontinuum an Wellenlängen emittiert, ist daher ebenfalls ein „Schwarzer Körper“. Das prominenteste Beispiel eines Schwarzen Körpers ist unsere Sonne.

Wiensches Verschiebungsgesetz

Wilhelm Wien stellte fest, dass das Maximum der von einem schwarzen Körper ausgesandten elektromagnetischen Strahlen mit zunehmender Temperatur sich zu immer kürzeren Wellenlängen verschiebt. Je heißer also ein Körper ist, um so näher rückt das Strahlungsmaximum zum blauen Spektralbereich.

Stefan-Boltzmann-Gesetz

Stefan und Boltzmann entdeckten, dass die gesamte abgestrahlte Leistung eines schwarzen Körpers nur von dessen Temperatur abhängt.

Pyrometrie

ist ein Verfahren zur berührungslosen Temperaturmessung, das auf dem Stefan-Boltzmann-Gesetz beruht.

Durch den Farbvergleich eines geeichten Glühdrahtes kann mit einem Glühfaden-Pyrometer die Oberflächentemperatur eines leuchtenden Körpers bestimmt werden.

IR-Thermographie

Bezeichnet eine Methode, bei der zur Visualisierung die unterschiedlichen Wellenlängen der infraroten Wärmestrahlung eines Körpers Wellenlängen des sichtbaren Spektralbereichs zugeordnet werden. Durch die Zuordnung lassen sich, aus dem Farbverlauf der Bilder, Rückschlüsse auf die Temperaturverteilung der angemessenen Körper ziehen.

Herausgeber:



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
an der Helmholtz-Gemeinschaft

Standort Lampoldshausen

Langer Grund
74239 Hardthausen

Standort Stuttgart

Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

Text:
DLR_School_Lab
Lampoldshausen/Stuttgart

Bildnachweis:
DLR

