

Werk

Titel: Ueber die Strahlung des absolut schwarzen Körpers und seine Verwirklichung

Autor: Lummer, O.

Ort: Braunschweig

Jahr: 1896

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0011 | LOG_0087

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte über die Fortschritte auf dem
Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

Unter Mitwirkung

der Professoren Dr. J. Bernstein, Dr. W. Ebstein, Dr. A. v. Koenen,
Dr. Victor Meyer, Dr. B. Schwalbe und anderer Gelehrten

herausgegeben von

Dr. W. Sklarek.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

Durch alle Buchhand-
lungen und Postanstalten
zu beziehen.

Wöchentlich eine Nummer.
Preis vierteljährlich
4 Mark.

XI. Jahrg.

Braunschweig, 8. Februar 1896.

Nr. 6.

Ueber die Strahlung des absolut schwarzen Körpers und seine Verwirklichung.

Von Prof. Dr. O. Lummer.

(Original-Mittheilung.)

Von der Existenz eines Körpers ausser uns erhalten wir auf sehr verschiedene Weise Aufschluss. Wir wollen die Mittel prüfen, welche uns auch weit entfernte Körper, wie die Sonne und Sterne, erkennen lehren und dieselben unserer Beobachtung zugänglich machen. Um die Existenz solcher Körper nachweisen zu können, ist es natürlich erforderlich, dass dieselben irgend eine Wirkung auf uns oder einen anderen Körper ausüben, dessen Veränderung infolge der Wirkung wir verfolgen können. Wegen der jedem Körper des Weltraumes innewohnenden Wärmemenge strömt nun in der That von ihm eine gewisse Energie pro Flächeneinheit und Secunde aus, welche sich in Gestalt von Strahlen seiner Umgebung mittheilt. Ebenso erhält der strahlende Körper auch von seiner Umgebung Strahlen zugeschickt. Es ist also lediglich die Temperaturdifferenz zwischen dem entfernten Körper und uns bezw. dem bestrahlten Körper, welche eventuell den Nachweis von der Existenz des ersteren ermöglicht.

Die von einem Körper einem anderen übermittelte Strahlungsenergie äussert sich dabei aber sehr verschieden, je nach der Art und physikalischen Beschaffenheit des bestrahlten Körpers. Dieselbe Sonnenstrahlung ruft, auf unser Auge fallend, die Empfindung von Licht hervor, welche, unsere Hand treffend, das Gefühl der Wärme erzeugt und auf der photographischen Platte die Silbersalze zersetzt. So mannigfaltig aber die Wirkung der Strahlung sein kann, so einfach ist deren Wesen. Die Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und chemisch wirksamen Strahlen, sie alle sind Schwingungen und unterscheiden sich lediglich durch ihre Schwingungszahl bezw. Wellenlänge. Nur auf einen kleinen Bezirk des Sonnenspectrums reagirt das Auge, auf einen anderen die photographische Platte, auf einen dritten, hauptsächlich wenigstens, das Gefühl. Aus der empfundenen Helligkeit auf die Sonnenenergie schliessen, hiesse darum die Energie der unsichtbaren Strahlen ausschliessen, während die Wirkung auf der photographischen Platte nur die Energie hauptsächlich der violetten Sonnenstrahlen anzeigt.

Wir haben schon erwähnt, dass wir selbst im besten Falle nur die Temperaturdifferenz werden messen können zwischen dem strahlenden und dem bestrahlten Körper. Denn sendet ein Körper A zum Körper B in der Zeiteinheit ebensoviele Energie wie umgekehrt der Körper B zu A schickt, so erfährt der bestrahlte Körper B gar keine Aenderung, wenigstens nicht in bezug auf die ihm innewohnende Wärmemenge bezw. seine Temperatur. Von anderen Wirkungen der Strahlung als Temperaturänderung des strahlenden und bestrahlten Körpers (Fluorescenz, Luminescenz, chemische Wirkung etc.) wollen wir aber hier absehen.

Für die gegenseitige Zustrahlung zweier Flächenelemente hat Lambert das in der Photometrie wohlbekannte Grundgesetz aufgestellt, dass die von einem Element 1 auf ein Element 2 gestrahlte Energie E_1 bezw. die von 2 zu 1 gesandte Wärmemenge E_2 ist:

$$E_1 = J_1 \cdot G \text{ bezw. } E_2 = J_2 \cdot G,$$

wo G die geometrischen Verhältnisse der beiden Elemente, d. h. die Beziehung zwischen Grösse, Lage und Entfernung ausdrückt, die für beide Strahlungsmengen E_1 und E_2 dieselbe ist, während J_1 bezw. J_2 nur von der physikalischen Beschaffenheit des strahlenden Elementes 1 bezw. 2 abhängt.

Im Falle der Lichtstrahlung heisst J_1 die Leuchtkraft oder Lichtstärke des Elementes 1 in der Richtung (1, 2) der Strahlung; analog bedeutet J_2 dann die Lichtstärke des Elementes 2 in der Richtung (2, 1). Ihr Verhältniss wird mittels des Photometers bestimmt, bei dem das Auge die von den leuchtenden Elementen am Orte des Photometerschirmes hervorgebrachten Erleuchtungsstärken mit einander vergleicht.

Allgemein wollen wir J als die Strahlungsintensität bezeichnen. Dieselbe ist defnirt als diejenige Strahlungsmenge, welche die Flächeneinheit in der Einheit der Zeit senkrecht zur Fläche ausstrahlt. Dabei ist J und somit auch die Strahlungsmenge E eine Function von der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit des strahlenden Körpers und bei derselben Temperatur verschieden für die verschiedenen Wellenlängen der emittirten Strahlen. Dabei werde diese schlechtweg als „Strahlungsgesetz“

bezeichnete Beziehung der Klarheit und Uebersichtlichkeit wegen aufgelöst in drei. Denn man muss wohl unterscheiden die Relation zwischen der Temperatur und der Gesamtstrahlung (Strahlung aller Wellenlängen), welche das „Temperaturgesetz der Gesamtstrahlung“ genannt werde, sodann die Relation zwischen der Temperatur und einer beliebigen Theilstrahlung (Strahlung einer Wellenlänge), welche als das „Temperaturgesetz der Theilstrahlung“ bezeichnet werde und schliesslich die Vertheilung der Energie im Spectrum bei einer gewissen Temperatur, welche wir als das „Energiegesetz im Spectrum“ bezeichnen wollen. Das zweite Gesetz giebt somit die Aenderung des dritten, d. h. die Variation der Energievertheilung mit der Temperatur an.

Wir werden später eingehender auf diese Gesetze zurückkommen. Jetzt wollen wir vorerst die Frage erörtern, wie man denn eine Strahlung überhaupt messen kann, bezw. wie ein Strahlungsmesser oder Bolometer beschaffen sein muss, um einwandfreie Strahlungsmessungen zu geben. Dabei sehen wir von der Construction der Bolometer ab und erwähnen in bezug auf deren Herstellung lediglich, dass es neuerdings gelungen ist, Bolometer von $\frac{1}{1200}$ mm dicken Platinblechen herzustellen, welche allen wesentlichen Bedingungen genügen, die man an einen Strahlungsmesser stellen kann¹⁾. Das Princip jedes Bolometers ist das, die absorbirte Wärmestrahlung in eine Widerstandsänderung des Bolometermaterials umzuwandeln, welche am Galvanometer einen messbaren Ausschlag hervorruft. Dieser Ausschlag und somit auch die gemessene Wärmestrahlung hängt nun ceteris paribus ausserordentlich von der Oberflächenbeschaffenheit des Bolometers ab und zwar aus folgendem Grunde.

Ebenso wie ein Körper infolge seiner Emission von Wärmestrahlen gegen einen zweiten Körper an Wärmemenge einen Verlust erleidet, welcher der lebendigen Kraft jener emittirten Strahlen äquivalent ist, gewinnt er durch Bestrahlung seitens des zweiten Körpers eine Wärmemenge, welche gleich ist der Energie der von ihm absorbirten, d. h. verschluckten Strahlen. Von der Absorption des Strahlungsmessers hängt somit die von ihm angezeigte Menge der Strahlung eines Körpers ab. Das Verhältniss (A) der Energie der absorbirten Strahlen zu derjenigen der auffallenden Strahlen heisst das Absorptionsvermögen eines Körpers. Dasselbe wird ebenso wie die Emission sehr verschieden sein, je nach der physikalischen Beschaffenheit eines Körpers.

Ist derselbe ein vollkommener Spiegel, so wirft er alle auffallenden Strahlen zurück und absorbirt nichts. Der ideale Spiegel wäre also nicht geeignet, die Existenz des strahlenden Körpers nachzuweisen, geschweige dessen Strahlungsenergie zu messen. Vielmehr muss das Bolometer mindestens einen Theil der ihn treffenden Strahlungsenergie absorbiren.

¹⁾ O. Lummer und F. Kurlbaum, Bolometrische Untersuchungen, Wied. Ann. 1892. 46, 204 bis 224.

Wir bezeichnen mit Kirchhoff einen Körper als vollkommen schwarz oder kurz als schwarz, wenn derselbe schon in unendlich dünner Schicht alle auffallenden Strahlen absorbirt, also Strahlen irgend einer Wellenlänge weder reflectirt noch hindurchlässt. Das Absorptionsvermögen eines vollkommen schwarzen Körpers ist also gleich Eins zu setzen; sein Emissionsvermögen, das im allgemeinen mit E bezeichnet ist, werde nach Kirchhoff e genannt.

Soll demnach ein Bolometer die ganze auffallende Strahlungsmenge absorbiren, so muss dasselbe vollkommen schwarz im Kirchhoffschen Sinne sein. Russ absorbirt nicht einmal die Lichtstrahlen vollkommen, für die Wärmestrahlen ist derselbe aber durchlässig, wie man schon daraus schliessen kann, dass er in dünnen Schichten röthlich erscheint. Platinmohr ist in dieser Beziehung dem Russ überlegen, es erscheint dem Auge auch in dünnen Schichten schwarz¹⁾, ist aber in bezug auf die längsten Wellenlängen jedenfalls auch noch kein vollkommen schwarzer Körper.

Solcher absolut schwarzer Körper bedarf es aber vor allem auch als strahlender Körper, will man z. B. das „Temperaturgesetz der Gesamtstrahlung“ finden, welches eine für alle Körper und somit generelle Bedeutung hat. Nur die Messung der gegenseitigen Strahlung vollkommen schwarzer Körper lässt die Hoffnung berechtigt erscheinen, werthvolle und allgemeingültige Gesetze über die Strahlung bezw. die Temperatur der strahlenden Körper zu finden.

Zur Begründung dieser Behauptung müssen wir an das bekannte Gesetz von Kirchhoff²⁾ erinnern, welches derselbe schon im Jahre 1859 über die Beziehung zwischen der Emission und Absorption eines beliebigen Körpers aufgestellt hat. Dasselbe lautet:

Das Verhältniss $\frac{E}{A}$ zwischen dem Emissionsvermögen E und dem Absorptionsvermögen A ist für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe und zwar gleich dem Emissionsvermögen e des absolut schwarzen Körpers von gleicher Temperatur.

Sind also E_1, E_2, E_3 etc. die Emissionsvermögen bezw. A_1, A_2, A_3 etc. die Absorptionsvermögen der beliebigen Körper 1, 2, 3 etc., z. B. bei der Temperatur T , und ist e die Emission des schwarzen Körpers bei gleicher Temperatur, so muss nach Kirchhoff gelten:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \dots = e$$

¹⁾ O. Lummer und F. Kurlbaum, Bolom. Untersuchungen für eine Lichteinheit. Sitzgsber. d. Akad. zu Berlin 1894.

²⁾ G. Kirchhoff: Ueber den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme. Monatsbl. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. Dec. 1859. Gesammelte Abhdlgn. 1882, S. 266. Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. Pogg. Ann. 1860. Bd. 109, S. 275 und Wissensch. Abhdlgn. 1882, S. 571.

Obwohl die Beziehung $\frac{E}{A} = \text{const.}$ schon vor Kirchhoff ausgesprochen worden war, so gebührt doch Kirchhoff das Verdienst, diesen Satz für jede Wellenlänge mathematisch bewiesen und so diesem Gesetz die fundamentale Grundlage gegeben zu haben, welche richtigen theoretischen Schlussfolgerungen eigen zu sein pflegt, und Kirchhoff war es vorbehalten, auch die Bedeutung des Gesetzes zu erkennen und auszusprechen. Es werde kurz an die Consequenzen desselben erinnert.

Dem Kirchhoffschen Gesetz zufolge müssen alle Körper (von nahe gleichem Absorptionsvermögen), wenn ihre Temperatur allmähig erhöht wird, bei derselben Temperatur auch Strahlen von derselben Wellenlänge auszusenden beginnen. Alle fangen also bei derselben Temperatur an, roth zu glühen, bei einer höheren, allen gemeinsamen Temperatur kommen gelbe Strahlen, sodann blaue u. s. w. hinzu. Dabei ist die Strahlungsintensität der verschiedenen Körper für ein und dieselbe Wellenlänge bei derselben Temperatur proportional dem Absorptionsvermögen der Körper für Strahlen dieser Wellenlänge. Bei gleicher Temperatur glüht demnach Gas weniger als Glas, dieses weniger als undurchsichtiges Metall und dieses weniger als der absolut schwarze Körper¹⁾.

Nach Darlegung dieser Folgerungen geht Kirchhoff auf die Absorption leuchtender Dämpfe, wie Natrium- und Lithiumdampf etc., ein, leitet die Umkehrung der Spectra für diese ab und giebt so die Erklärung für die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspectrum, Aufschluss über die Constitution der Sonne und den Nachweis für die Existenz der verschiedensten irdischen Stoffe auf ihr.

Weiter verfolgt Kirchhoff seine mathematischen Entwicklungen nicht, insbesondere lässt er die Beziehung offen, welche zwischen der Strahlungsintensität der Temperatur und der Wellenlänge besteht, welche wir in die drei Strahlungsgesetze getheilt haben. Deutlich aber spricht Kirchhoff es aus und darauf kommt es uns allein an, dass jene Gesetze nur für einen vollkommen schwarzen Körper eine einfache Form annehmen und ihre Kenntniss nur für diesen Körper von generellem Werthe ist²⁾. Es

¹⁾ Streng genommen schliesst die zweite Folgerung die erste aus, da ja infolge der stärkeren Emission ein schwarzer glühender Körper viel eher sichtbar wird als ein theilweise spiegelnder. Aus diesem Grunde haben wir die Parenthese „von nahe gleichem Absorptionsvermögen“ zu der von Kirchhoff ganz allgemein und ohne jede Einschränkung ausgesprochenen Folgerung dazugesetzt.

²⁾ „Die mit i (Strahlungsintensität des schwarzen Körpers. Verf.) bezeichnete Grösse ist eine Function der Wellenlänge und der Temperatur. Es ist eine Aufgabe von hoher Wichtigkeit, diese Function zu finden. Der experimentellen Bestimmung stehen grosse Schwierigkeiten im Wege; trotzdem scheint die Hoffnung gegründet, sie durch Versuche ermitteln zu können, da sie unzweifelhaft von einfacher Form ist, wie alle Functionen es sind, die nicht von den Eigenschaften einzelner Körper abhängen,

ist eben nach dem Kirchhoffschen Gesetze nicht das Emissionsvermögen E , auch nicht das Absorptionsvermögen A , sondern allein ihr Verhältniss $\frac{E}{A} = e$ eine für alle Körper gleicher Temperatur identische Grösse, worauf kürzlich auch L. Graetz¹⁾ ganz besonders hingewiesen hat. Hieraus folgt also ohne Zweifel, dass man das generelle „Temperaturgesetz der Gesamtstrahlung“ nur mit vollkommen schwarzen Körpern als Strahlungsquellen experimentell aufzufinden im stande sein wird.

Die von Kirchhoff gelassene Lücke ist inzwischen wenigstens theilweise ausgefüllt worden. So hat L. Boltzmann²⁾ im Jahre 1884 das Temperaturgesetz der Gesamtstrahlung theoretisch für einen vollkommen schwarzen Körper hergeleitet, welches sich übrigens deckt mit dem von Stefan³⁾ schon 1879 auf Grund des bis dahin vorhandenen experimentellen Materials ausgesprochenen, gewöhnlich nach ihm benannten Strahlungsgesetz. Dasselbe lautet: „Die Gesamtstrahlung eines Körpers ist proportional der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur.“ Und neuerdings hat nach dem Vorgange von Boltzmann Herr W. Wien⁴⁾ das „Temperaturgesetz der Theilstrahlung“ für einen vollkommen schwarzen Körper abgeleitet, welches lautet: „Im normalen Emissionsspectrum eines schwarzen Körpers verschiebt sich mit veränderter Temperatur jede Wellenlänge so, dass das Product aus Temperatur und Wellenlänge constant bleibt“ oder in Verbindung mit dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz aussagt, dass die Energie einer jeden Theilstrahlung proportional ist der fünften Potenz der absoluten Temperatur.

Für unser drittes Gesetz der „Energievertheilung im Spectrum“ sind noch keine nennenswerthen Erfolge theoretischer Untersuchung zu verzeichnen.

Wir können hier nicht näher auf die verschiedenen experimentellen Arbeiten eingehen, welche von den verschiedensten Physikern zur Auffindung bezw. Bestätigung der Strahlungsgesetze ausgeführt worden sind⁵⁾. Es sei nur hervorgehoben, dass allen diesen Versuchen mehr oder weniger der eine Fehler anhaftet, dass sie nicht mit vollkommen schwarzen, strahlenden und absorbirenden Körpern angestellt worden sind. Wir werden später sehen, auf welche Weise man sich möglichst schwarze, strahlende Körper zu verschaffen

und die man bisher kennen gelernt hat. Erst wenn diese Aufgabe gelöst ist, wird die ganze Fruchtbarkeit des bewiesenen Satzes sich zeigen können; aber auch jetzt schon lassen sich wichtige Schlüsse aus demselben ziehen.“

¹⁾ Handbuch der Physik von A. Winkelmann, 1895. 26. Lfg., Wärmestrahlung von Prof. Dr. L. Graetz, S. 255.

²⁾ L. Boltzmann, Wied. Ann. 1884. 22, S. 291.

³⁾ Stefan, Wien. Ber. 1879, 79 (2), S. 391.

⁴⁾ W. Wien: Eine neue Beziehung der Strahlung schwarzer Körper zum zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie. (Sitzgsber. d. Berl. Akad. 1893.)

⁵⁾ Vergl. hierüber L. Graetz a. a. O., S. 242 bis 257.