

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_0109

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, 15. Februar 1896.

Nr. 7.

Ueber die Strahlung des absolut schwarzen Körpers und seine Verwirklichung.

Von Prof. Dr. O. Lummer.

(Original-Mittheilung.)

(Fortsetzung.)

Das Kirchhoffsche Gesetz $\frac{E}{A} = e$ können wir
bei Einführung des Reflexionscoefficienten $R = 1 - A$
auch schreiben:

$$\frac{E}{A} = \frac{E}{1 - R} = e,$$

oder:

$$e = E + eR;$$

In dieser Form können wir das Kirchhoffsche
Gesetz auch so deuten, dass die Emission eines
schwarzen Körpers gleich ist der eines beliebigen
Körpers plus dem Bruchtheil, welchen letzterer
von der Energie des schwarzen Körpers reflectirt.
Umgekehrt können wir also auch schliessen, dass,
wenn man einem beliebigen Körper zu seiner eigenen
Emission (E) so viel erborgte Strahlung (eR) hinzu-
gefügt, als er von der des schwarzen Körpers reflectirt,
seine Emission gleich der des schwarzen Körpers wird.

Diese erborgte Strahlung kann einem reflec-
tirenden Körper aber natürlich nur mit Hülfe dieser
seiner Eigenschaft, zu reflectiren, mitgetheilt werden
und zwar lediglich von Seiten der bestrahlten Körper,
da ja die Lichtwege von einem Punkt zu einem anderen
dieselben sind wie umgekehrt. Es ist nur die Frage
die, ob überhaupt und unter welchen Umständen die
eigene Energie eines beliebigen Flächenelementes plus
der durch Reflexion gewonnenen Energie gleich der
des absolut schwarzen Elementes ist.

Dazu müssen wir die gegenseitige Zustrahlung
zweier Flächenelemente etwas näher betrachten. Zur
Vereinfachung unserer Aufgabe werde angenommen,
dass die sich bestrahlenden Elemente einander so
nahe stehen, dass die ganze direct von einem Ele-
ment ausgestrahlte, also auch gespiegelte Strahlen-
menge stets dem anderen Element voll und ganz zu
gute kommt. Es ist dies natürlich nicht der Fall,
wenn die Elemente weit von einander getrennt oder
zur Strahlungsrichtung sehr geneigt sind. Hier würde
stets ein Theil der gespiegelten Energie verloren
gehen. Nur im Fall, dass beide Elemente absolut

schwarz sind, absorbirt jedes die ganze auffallende
Energie, sodass wir stets die maximale Strahlungs-
intensität erhalten, wie auch die Elemente gelegen
sind und welche Entfernung sie von einander haben.
Wir wollen zeigen, dass auch die Elemente belie-
biger Beschaffenheit infolge gegenseitiger Reflexion
sich wie absolut schwarze bestrahlen, wenn sie
einander unendlich nahe, dabei senkrecht zur
Strahlungsrichtung stehen und gleiche Tempe-
ratur besitzen.

Dazu berechnen wir die Strahlungsmenge, welche
z. B. Element 2 erhält, einmal infolge der Strahlung
von Element 1, das andere mal infolge seiner
eigenen Strahlung, vermittelt durch die Reflexion an
Element 1. Die gesammte von 1 bezw. 2 aus-
gesandte Energie sei E_1 bezw. E_2 , während davon 2
bezw. 1 den A_2 ten bezw. den A_1 ten Theil absorbire,
dagegen den R_2 ten bezw. R_1 ten Theil reflectire. Es
mögen zunächst die von der Strahlung des Elementes
1 herrührenden Antheile berechnet werden.

Von der Energie E_1 , welche direct von 1 auf 2
gelangt, absorbirt das Element 2 nur die Menge:

$$m = E_1 A_2$$

während dasselbe die Menge $E_1 R_2$ reflectirt. Diese
geht zurück an Element 1, welches davon nur
 $E_1 R_2 A_1$ absorbirt und $E_1 R_2 R_1$ reflectirt. Diese
ganze Strahlenmenge gelangt zurück an Element 2,
welches davon absorbirt:

$$m_1 = E_1 A_2 R_1 R_2$$

und $E_1 R_2 R_1 R_2 = E_1 R_1 R_2^2$ nach 1 reflectirt. Da-
von absorbirt 1 nur den Theil $E_1 A_1 R_2^2 R_1$ und
reflectirt $E_1 R_2^2 R_1$. Diese ganze Strahlenmenge ge-
langt nach 2, welches davon absorbirt:

$$m_2 = E_1 A_2 \cdot R_2^2 R_1^2 \text{ u. s. w.}$$

Es absorbirt somit Element 2 von der ganzen Energie
 E_1 , welche 1 überhaupt aussendet, die Summe:

$$M_1 = m + m_1 + m_2 + \dots \\ = E_1 A_2 (1 + R_1 R_2 + R_1^2 R_2^2 + \dots)$$

$$\text{d. h.} \quad M_1 = \frac{E_1 A_2}{1 - R_1 R_2},$$

wo der Index 1 andeuten soll, dass M_1 von der Energie
 E_1 herrührt.

Das Element 2 erhält aber auch noch Strahlungs-
mengen, welche von seiner eigenen Strahlung E_2

herrühren und durch Reflexion an Element 1 ihm wieder zufließen. Da nämlich 1 spiegelt, so reflectirt es von der seitens 2 ihm zugestrahlten Energie E_2 den Antheil $E_2 R_1$ an 2 zurück, wovon dieses die Menge

$$\mu = E_2 R_1 A_2$$

absorbirt und den Antheil $E_2 R_1 R_2$ an 1 zurücksendet. Von dieser Energie absorbirt 1 nur $E_2 R_1 R_2 A_1$, während es an 2 zurückschickt $E_2 R_1 R_2 R_1 = E_2 R_2 R_1^2$, wovon 2 nur den Theil

$$\mu_1 = E_2 A_2 R_1 \cdot R_1 R_2$$

absorbirt, während es an 1 reflectirt $E_2 R_1^2 R_2^2$, wovon dies reflectirt $E_2 R_1^2 R_2^2 R_1$ und wovon Element 2 absorbirt:

$$\mu_2 = E_2 A_2 R_1 \cdot R_1^2 R_2^2 \text{ u. s. w.}$$

Es kommt somit dem Elemente 2 von seiner eigenen Strahlung wieder zu Gute die Summe:

$$\begin{aligned} M_2 &= \mu + \mu_1 + \mu_2 + \dots \\ &= E_2 A_2 R_1 (1 + R_1 R_2 + R_1^2 R_2^2 \dots) \end{aligned}$$

$$\text{d. h.} \quad M_2 = \frac{E_2 A_2 R_1}{1 - R_1 R_2}$$

Die gesammte von Element 2 überhaupt absorbirte Energie $\mathfrak{M}_2$ wird somit:

$$\mathfrak{M}_2 = M_1 + M_2 = \frac{E_1 A_2 + E_2 A_2 R_1}{1 - R_1 R_2} \dots\dots\dots 1)$$

Analog finden wir, dass das Element 1 im ganzen absorbirt:

$$\mathfrak{M}_1 = \frac{E_2 A_1 + E_1 A_1 R_2}{1 - R_1 R_2} \dots\dots\dots 2)$$

Aus unseren Gleichungen können wir zwei wichtige Folgerungen ziehen. Betrachten wir zunächst den Specialfall, dass die Temperatur beider Elemente dieselbe ist. Für diesen Fall erheischt das Gesetz von der Erhaltung der Energie in Verbindung mit dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, dass einerseits $\mathfrak{M}_1 = E_1$ und andererseits $\mathfrak{M}_2 = E_2$ sei. Es drücken diese Gleichungen aus, dass die von einem Element ausgehende Energie ebenso gross sei wie die von ihm absorbirte, d. h. dass ebensoviel Energie von 2 nach 1 wie von 1 nach 2 geht. Wäre dies nicht der Fall, dann könnte es eintreten, 1) dass beide sich zu einer höheren Temperatur erwärmen, ohne Wärmezufuhr von aussen zu erhalten, d. h. ohne äussere Arbeitsleistung, und das Perpetuum mobile wäre gefunden. Oder aber es könnte 2) sich das eine erwärmen auf Kosten des anderen, d. h. die Wärme könnte von einem kälteren zu einem wärmeren Körper übergehen. Ersterer Fall widerspricht dem Gesetz von der Erhaltung der Energie, letzterer dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, wonach ohne Compensation von aussen niemals Wärme aus einem kälteren zu einem wärmeren Körper übergeführt werden kann.

Setzen wir daher, wie unsere grundlegenden Gesetze es verlangen, entweder $\mathfrak{M}_2 = E_2$ oder $\mathfrak{M}_1 = E_1$, so erhalten wir z. B. für den ersten Fall:

$$E_1 A_2 + E_2 A_2 R_1 = E_2 (1 - R_1 R_2),$$

welche Gleichung für $R_1 = 1 - A_1$ und $R_2 = 1 - A_2$ übergeht in:

$$E_1 A_2 = E_2 A_1$$

oder

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2}$$

Dies ist der mathematische Ausdruck für das Kirchhoffsche Gesetz.

Zu demselben Gesetz wären wir gelangt, wenn wir die strahlenden Elemente in beliebiger Entfernung betrachtet und hierfür die Ausdrücke von M_1 und M_2 abgeleitet hätten. Das Kirchhoffsche Gesetz ist also der Ausdruck dafür, dass stets die von einem Element ausgesandte Energie gleich der von ihm absorbirten ist. Wohl aber wären unsere Ausdrücke für $\mathfrak{M}_2$ und $\mathfrak{M}_1$ selbst andere geworden, und zwar werden ihre Werthe um so geringer, je weiter die Elemente von einander entfernt sind.

Wir wollen jetzt zur zweiten Folgerung schreiten und unsere Strahlungsmengen mit denjenigen schwarzer Körper vergleichen.

Im Falle z. B. Element 1 absolut schwarz ist, so dass dessen Emission gleich e_1 zu setzen ist, erhält Element 2 die Strahlungsmenge $e_1 A_2$, und im Falle Element 2 ein absolut schwarzes mit der Emission e_2 , erhält das Element 1 die Menge $e_2 A_1$. Soll demnach das beliebige Element 1 dem beliebigen Element scheinbar ebensoviel zustrahlen, als ob es absolut schwarz wäre, so muss die vom Element 2 absorbirte Menge $\mathfrak{M}_2$ gleich $e_1 A_2$ sein. Und soll das Element 2 sich wie ein absolut schwarzes verhalten, so muss umgekehrt $\mathfrak{M}_1 = e_2 A_1$ sein. Es ist gleichgiltig, welche Gleichung wir bilden. Wir wollen sehen, wann $\mathfrak{M}_2 = e_1 A_2$ wird. Mit Hilfe des Werthes von $\mathfrak{M}_2$ (Formel 1) wird diese Gleichung:

$$E_1 A_2 + E_2 A_2 R_1 = (1 - R_1 R_2) e_1 A_2$$

oder da allgemein gemäss dem Kirchhoffschen Satze

$$\frac{E_1}{A_1} = e_1 \text{ und } \frac{E_2}{A_2} = e_2$$

ist und $R_1 = 1 - A_1$ bzw. $R_2 = 1 - A_2$ gesetzt werden kann:

$$e_1 A_1 + e_2 (A_2 - A_1 A_2) = e_1 A_1 + e_2 (A_2 - A_1 A_2).$$

Diese Gleichung ist nur dann identisch erfüllt, wenn

$$e_1 = e_2 \text{ wird, d. h. aber, wenn } \frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} \text{ gesetzt}$$

werden kann. Dies darf man nur dann thun, wenn die beiden unendlich nahen Elemente gleiche Temperatur haben. Somit lautet unser Resultat:

Die Strahlungsdichtigkeit zweier gleichtemperirter einander paralleler unendlich naher Flächenelemente von beliebiger Oberflächenbeschaffenheit ist die eines absolut schwarzen Körpers.

Dasselbe Resultat hätten wir erhalten für den Fall, dass sich statt unendlich naher Elemente z. B. unendlich grosse Flächen in beliebiger Entfernung bestrahlen. Stets wo die ganze vom bestrahlten Körper reflectirte Menge auch wieder dem strahlenden zu gute kommt, erhalten wir dieselben Ausdrücke für $\mathfrak{M}_1$ bzw. $\mathfrak{M}_2$, also auch dieselben Schluss-