

Physik: Plancksches Strahlungsgesetz

Description

Gehört zu: [Physik](#)

Siehe auch: [Teilchenphysik](#), [Von Pythagoras bis Einstein](#), [Lineare Algebra](#), [Quantenmechanik](#)

Benötigt: [WordPress Latex-Plugin](#), [Fotos von Wikipedia](#)

Stand: 14.08.2024

Anfänge der Quantenmechanik

Warnung / Disclaimer

Diesen Blog-Artikel schreibe ich ausschließlich zu meiner persönlichen Dokumentation; quasi als mein elektronisches persönliches Notizbuch. Wenn es Andere nützlich finden, freue ich mich, übernehme aber keinerlei Garantie für die Richtigkeit bzw. die Fehlerfreiheit meiner Notizen. Insbesondere weise ich darauf hin, dass jeder, der diese meine Notizen benutzt, das auf eigene Gefahr tut.

Wenn Produkteigenschaften beschrieben werden, sind dies ausschließlich meine persönlichen Erfahrungen als Laie mit dem einen Gerät, welches ich bekommen habe.

Im Jahr 1900 formulierte **Max Planck** (1858-1947) sein **Strahlungsgesetz** und seine Quantenhypothese. Erst um 1925 entwickelte sich daraus eine Quantentheorie/Quantenmechanik, die die physikalischen Systeme im Allerkleinsten (z.B. Elementarteilchen, Atome, etc.) gut beschreibt.

Abbildung 1: Flammarion Holzschnitt (Wikipedia: FlammarionWoodcut.jpg)



Flammarion Holzschnitt (Wikipedia)

Strahlungsgesetze vor Max Planck

Man kannte früher schon die abgestrahlte Gesamt-Energie (Stefan-Boltzmann-Gesetz) und auch die Wellenlänge bei der das Maximum an Energie abgestrahlt wird (Wiensches Verschiebungsgesetz).

Dieses nach **Wilhelm Wien (1864-1928)** benannte *Wiensche Verschiebungsgesetz* besagt, dass ein Schwarzer Körper der absoluten Temperatur T die intensivste Strahlung bei einer Wellenlänge λ_{max} abgibt, die umgekehrt proportional zu seiner Temperatur ist; als Formel:

$$\lambda_{\text{max}} = 2897,8 \mu\text{m} \cdot \frac{1}{T} \quad (T \text{ in Kelvin})$$

Aus der Farbe eines thermischen Strahlers kann so auf seine Temperatur zurückgeschlossen werden. Zum Beispiel teilt man die Sterne gemäß ihrer Farbe in [Spektralklassen](#) ein, denen eine Temperaturskala entspricht.

Wilhelm Wien fand auch schon **1893** eine Formel für die spektrale Verteilung der Energie, die recht gut zu den experimentellen Messungen passte:

$$\rho(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}$$

Raleigh (John William Strutt, 3. Baron Rayleigh) veröffentlichte im Jahre **1900** sein Gesetz für die Energieverteilung mit einem noch falschen Vorfaktor, das wurde **1905** von James Jeans wie folgt

korrigiert:

$$\rho(\lambda) = \frac{2c\pi}{\lambda^4} \cdot k_B T$$

Diese früheren Formeln zur Verteilung der Energie über die Wellenlängen waren beide unbefriedigend.

Das Wiensche Strahlungsgesetz von 1893 passte zwar für kleine Wellenlängen ganz gut, aber für größere Wellenlängen wich es durchaus ab von den gemessenen Werten.

Das Strahlungsgesetz von **Rayleigh und Jeans** von 1905 war gut für größere Wellenlängen, führte aber bei kurzen Wellenlängen zur sog. "Ultraviolett-Katastrophe".

Das Plancksche Strahlungsgesetz

Max Planck (1858-1947) beschäftigte sich mit der Strahlung eines sog. "Schwarzen Strahlers". Speziell ging es ihm darum, wie sich in Abhängigkeit von der Temperatur die abgestrahlte Energie über die Wellenlängen hin verteilt.

Planck konnte im Jahre 1900 ein Strahlungsgesetz entwickeln, das zeigt, welche Strahlungsenergie ein "Schwarzer Strahler" einer bestimmten Temperatur (T) in Abhängigkeit von der Wellenlänge ($\rho(\lambda)$) oder der Frequenz ($\rho(\nu)$) aussendet. Plancks Strahlungsgesetz ist eigentlich nur eine Formel wie viele andere in der Physik auch, die endlich die Verteilung der Strahlungsenergie in Abhängigkeit von der Frequenz bzw. der Wellenlänge der Strahlung "richtig" darstellt.

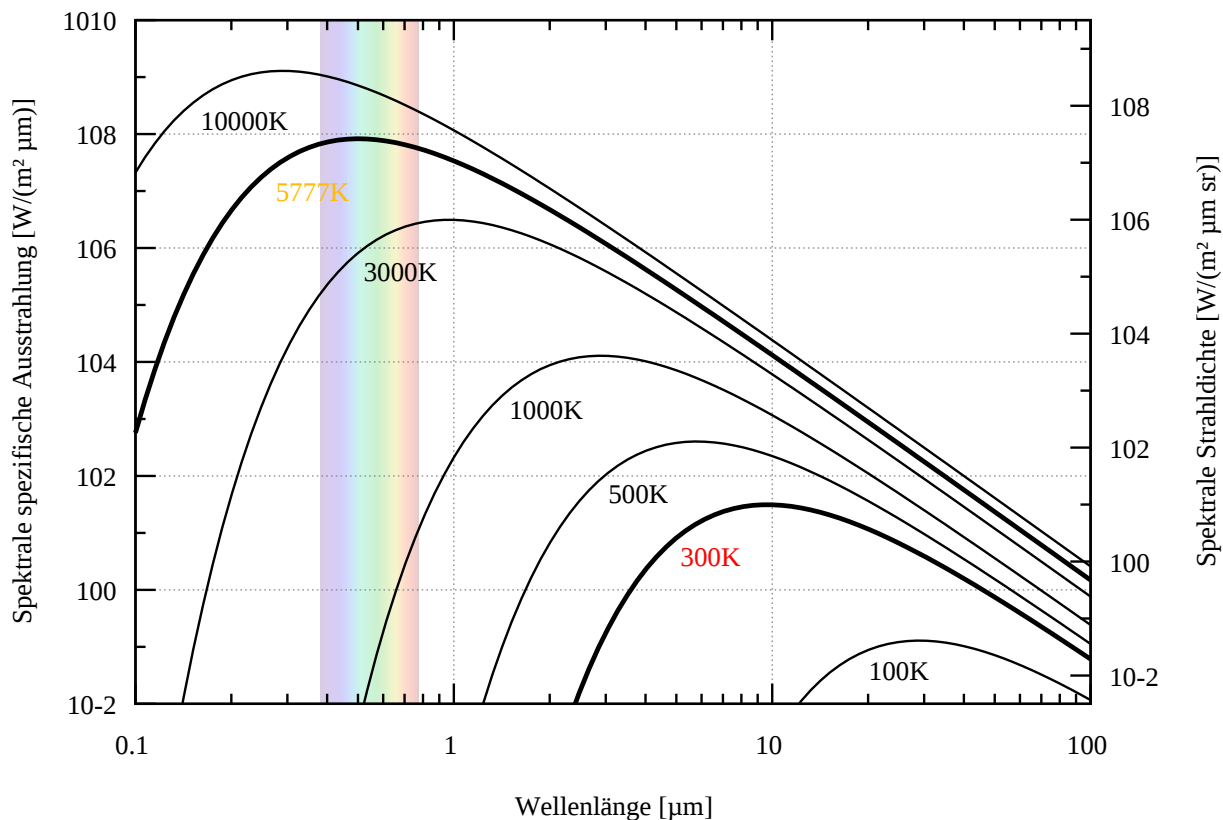
$$\rho(\nu) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot \nu}{k_B T}} - 1}$$
oder in Abhängigkeit der Wellenlänge:

$$\rho(\lambda) = \frac{8 \cdot \pi \cdot h \cdot c}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k_B T}} - 1}$$

Wobei die Formel im ersten Fall die Strahlungsleistung pro infinitesimalem Frequenzintervall ($d\nu$) und im zweiten Fall pro infinitesimalem Wellenlängenintervall ($d\lambda$) ergibt.

Abbildung 2: Verteilung der Strahlungsenergie

Plancksches Strahlungsspektrum



Wir sehen, dass je nach Temperatur, das Maximum der Strahlung bei einer anderen Wellenlänge (einer anderen Farbe) liegt.

Im Grenzfall $(h\nu \gg kT)$ ergibt sich das Wiensche Strahlungsgesetz; im Grenzfall $(h\nu \ll kT)$ das Rayleigh-Jeanssche Strahlungsgesetz.

In Plancks Formel kommt eine vom ihm so genannte „Hilfskonstante“ h vor, die später als das legendäre Plancksche Wirkungsquantum interpretiert wurde. Die physikalische Größe „Wirkung“ bezeichnet eine Energie (Joule), die in einer bestimmten Zeit (Sekunden) etwas bewirkt. Die Plancksche Hilfskonstante ist:

$$h = 6,626069 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Herleitung des Planckschen Strahlungsgesetzes

Dieses Youtube-Video von [Rene Matzdorf](#) an der Uni Kassel versucht, die Herleitung der Planckschen Formel (Strahlungsgesetz) über die Strahlung den schwarzen Körpern, sog. Hohlraumstrahlung und darin existierenden **stehenden Wellen** (Hohlraum-Resonator) herzuleiten:

Der Zusammenhang ist für mich nicht so leicht nachvollziehbar. Aber man muss das Plancksche Strahlungsgesetz ja überhaupt nicht ableiten. • hat Newton bei seiner Gravitationstheorie ja auch nicht gemacht.

Planck selbst hat die Herleitung seines Strahlungsgesetzes am 14.12.1900 in Berlin vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft gezeigt.

In physikalischen Formeln wird auch häufig ein sog. •Reduziertes Plancksches Wirkungsquantum• mit dem Symbol • $\hbar$ • verwendet. Es ist definiert als: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

Quelle: http://www.quantenwelt.de/quantenmechanik/historisch/schwarze_korper.html

Plancks Quantenhypothese

Häufig hört man, dass **aus Plancks Formel** angeblich die Aussendung der Energie in sog. **Quanten** (ganzzahlige Vielfache von h mal $\frac{1}{2}$) folgt. Das kann man aber aus der Formel selbst überhaupt nicht ableiten. Vielmehr ist es so, dass Planck (angeblich) auf diese Formel kam indem er elektromagnetische Strahlung (das Licht) als Teilchen modellierte, die sich wie ein Gas verhalten sollten. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten solcher **Teilchen** modelliert Planck als unterschiedliche Wellenlängen der Strahlung!

Ein solches **Teilchen** sollte eine von der Frequenz seiner Strahlung abhängige Energie haben. **Das ist die zentrale Formel (Quantenhypothese) von Planck:** $(E = h \cdot \nu)$

Die Formeln für das Strahlungsgesetz hat Planck zunächst durch Probieren herausgefunden und dann später eine Herleitung auf Basis seiner **Quantenhypothese** gefunden. Planck glaubte jedoch damals noch nicht an eine allgemeine Quantelung, diese war nur eine Annahme, um die Theorie in Einklang mit den Messungen bringen zu können.

Später versuchte Planck sein Strahlungsgesetz nicht durch eine "Hohlraumstrahlung" sondern durch Atome als Oszillator zu interpretieren.

Das Plancksche Wirkungsquantum

Das Plancksche Wirkungsquantum als Naturkonstante wird heute zur Definition der [SI-Einheit Kilogramm](#) benutzt.

Im Zusammenhang mit dem Wirkungsquantum spricht man auch von einer "Planck-Länge", einer "Planck-Zeit" etc., denn Planck hatte herausgefunden, dass man aus den Naturkonstanten G , c , h eine ganze Schaar von Einheiten ableiten kann (durch Probieren und Beachten der Dimensionen):

Planck-Länge:

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar \cdot G}{c^3}} = 6.616 \cdot 10^{-35} \text{m}$$

Was diese Planck-Länge bedeutet, ist zunächst völlig offen. Es ist "nur" eine ausprobierte Formel, die als Dimension eine Länge hat.

Im Zusammenhang mit der Heisenbergschen Unschärferelation versucht man, diesen Planck-Größen eine physikalische Bedeutung beizumessen.

CATEGORY

1. Physik

POST TAG

1. Planck
2. Quantenphysik

Category

1. Physik

Tags

1. Planck
2. Quantenphysik