

Prof. Dr. K. Samelson
München

Sonderabdruck aus *Annalen der Physik* 6. Folge · Bd. 3 · 1948

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH IN LEIPZIG

Printed in Germany

Gedächtnisfeier der Physikalischen Gesellschaft in Württemberg-Baden zu Heidenheim am 15. November 1947

Von A. Sommerfeld

Die heutige Versammlung ist von dem Hinscheiden unseres großen Max Planck überschattet. Dem ehrenvollen Auftrag, seinen wissenschaftlichen und menschlichen Charakter zu zeichnen, möchte ich zunächst dadurch nachkommen, daß ich Ihnen das Bild vorführe, das die Planckmedaille von ihm zeigt. Wahrlich ein Kopf, der dazu herausfordert, in Gold geprägt zu werden! Die klare Stirn, der untrügliche Blick, Offenheit der Züge, unbeirrbare Sachlichkeit, die er so oft von sich und anderen forderte. So hat er gelebt und gewirkt, durchdrungen von dem Glauben an eine vernünftige Weltordnung, an eine harmonische Gesetzmäßigkeit der Natur, durchdrungen aber auch von Ehrfurcht vor dem Unbegreiflichen und von ethischem Pathos.

Seine Anfänge hat er uns selbst erst kürzlich in den Naturwissenschaften¹⁾ geschildert, mit der ihm eigenen Objektivität. Seine selbstgewählte Doktorarbeit hatte den zweiten Hauptsatz zum Gegenstand, den er damals als „Vorliebe der Natur für irreversible Prozesse“ d. h. für Prozesse zunehmender Entropie beschrieb. Und dieses Thema hat ihn zeit seines Lebens begleitet und schließlich zu seiner großen Entdeckung geführt. Daß seine Entropie-Auffassung zunächst unbeachtet blieb, von Kirchhoff sogar abgelehnt wurde, hat ihn nicht irre gemacht. Seine frühesten Arbeiten galten der Anwendung des zweiten Hauptsatzes auf physico-chemische Systeme.

Nachdem er aber mit 31 Jahren nach Berlin als Nachfolger von Kirchhoff berufen worden war, trat ein anderes, viel interessanteres System in seinen Gesichtskreis, der gleichtemperierte Hohlraum, der, mit einem kleinen Loch versehen, den schwarzen Körper Kirchhoffs realisiert. Es handelt sich hier um ein System von universellem Charakter, unabhängig von den Eigenschaften der Hohlraumwandungen, nur abhängig von der Natur der elektromagnetischen Strahlung. An diesem System wollte er die Kraft des Entropiebegriffes erproben.

Im Jahre 1899 tagte die Naturforschergesellschaft in Düsseldorf. Planck trug uns seine Vorstudien zur Strahlungstheorie vor, das Verhalten eines Hertzschen elektrischen Resonators im Strahlungsfelde, dessen Resonanz und Abstrahlung. Seine Entwicklungen gingen mathematisch genau soweit, als er sie für das physikalische Problem der Hohlraumstrahlung brauchte. Was er brauchte, war ein universeller Strahlungsvorgang und eine Definition der Strahlungsentropie, die bei diesem Vorgang nur wachsender Werte fähig wäre. Der klassisch funktionierende Hertzsche Oscillator liefert diese nicht, was ihm Boltzmann vorausgesagt hatte. In seinem Nobelpreisvortrag vom Jahre 1920 hat uns Planck geradezu ein Musterbeispiel objektiver Geschichtsdarstellung gegeben. Er spricht dort von der „reiferen Erfahrung Boltzmanns in diesen Fragen“ und von dem

eigenen „langen, vielfach verschlungenen Weg, der schließlich zur Enthüllung des Wirkungsquantums führte“. Seinen elektrodynamischen Vorstudien mußte er zunächst die Hypothese der natürlichen Strahlung hinzufügen und sich weiterhin durch den thermodynamischen Zusammenhang zwischen der Energie U und Entropie S seines Oscillators leiten lassen. Sein schließliches Strahlungsgesetz nennt er dort eine „glücklich erratene Interpolationsformel“. Er interpolierte zwischen den beiden Grenzzuständen

kurze Wellenlängen

$$\frac{d^2 S}{dU^2} \sim -\frac{1}{U}$$

lange Wellen

$$\frac{d^2 S}{dU^2} \sim -\frac{1}{U^2}$$

Jener Grenzzustand führt auf die von W. Wien vorgeschlagene spektrale Energieverteilung und schien durch frühere Meßresultate der Reichsanstalt zunächst bestätigt. Dieser Grenzzustand wurde durch die Messungen von Kurlbaum und Rubens an den im Berliner Physikalischen Institut entwickelten Reststrahlen gefordert. Plancks Interpolation lautet

$$\frac{d^2 S}{dU^2} = \frac{-1}{aU + bU^2}$$

Daraus folgt durch Integration und Benutzung der thermodynamischen Temperaturdefinition $1/T = dS/dU$ bei geeigneter Wahl der Integrationskonstanten ($\tau = \infty$ für $U = \infty$) die einfache Beziehung zwischen der Energie des Oscillators und der Temperatur der Strahlung

$$3U = \frac{a}{e^{a/T} - 1}$$

Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz muß die Konstante a proportional mit der Schwingungszahl ν sein. Planck setzte $a = h\nu/k$, $b = 1/k$ und erhielt für die Energie seines Oscillators:

$$U = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Von den beiden hier eingeführten Konstanten h und k , die dann auch in dem definitiven Ausdruck des Planckschen Spektrums der Hohlraumstrahlung vorkommen, wird k als Boltzmannsche Konstante bezeichnet, obgleich sie erst von Planck explizite eingeführt und aus den genannten Messungen der Reichsanstalt numerisch genau berechnet ist. Was aber bedeutet h ? Da kT eine Energie ist, hat h die Dimension einer Wirkung (Energie \times Zeit). Dieser Umstand dürfte von vornherein die Aufmerksamkeit Plancks erregt haben. Denn er sah ebenso wie Helmholtz in dem Prinzip der kleinsten Wirkung den umfassendsten Satz der reversiblen Naturvorgänge. Planck sagt in seinem Nobelvortrag: „Die Frage nach der Bedeutung des Wirkungsquantums h führte mich von selbst auf Boltzmannsche Ideengänge, bis sich nach einigen Wochen der angespanntesten Arbeit meines Lebens das Dunkel lichtete und eine neue ungeahnte Fernsicht aufzudämmern begann“. Auf diese Wochen bezieht sich eine Mitteilung, die ich Bernhard Bavink verdanke und die von seinem Freund Erwin Planck stammt: Der

Vater habe ihm um das Jahr 1900 bei einem Spaziergang im Grunewald gesagt: „Heute habe ich eine Entdeckung gemacht, die ebenso wichtig ist wie die Entdeckung Newtons“. Bavink ist 8 Tage nach unserem Gespräch plötzlich gestorben, tief betrauert von seinen vielen Bewunderern. Erwin Planck ist der Rachsucht Hitlers zum Opfer gefallen, als angeblich beteiligt an dem Attentat vom 20. Juli 1944, und Planck mußte den Tod „seines nächsten und besten Freundes“ erleben!

Im Munde Plancks war diese intime Äußerung zu seinem noch knabenhaften Sohn weit entfernt von einer Ruhmredigkeit; aber sie zeigt, daß er sich der Tragweite seiner Entdeckung bewußt war. Eine universelle Naturkonstante, sicher fundiert in dem thermodynamischen Verhalten der Strahlung, unabhängig von jedem speziellen Modell oder materiellen Geschehen! Die Arbeit der Physiker in den folgenden Jahrzehnten war zum großen Teil der experimentellen Prüfung und theoretischen Verarbeitung dieser Entdeckung gewidmet und zeigte, daß der Vergleich mit Newton wohlberechtigt war.

Vielleicht ist die folgende Abschweifung über das Verhältnis Planck-Boltzmann von Interesse. Als Boltzmann im Jahre 1905 seinem ruhmvollen Leben ein Ende gemacht hatte, teilte sein Schüler und Nachfolger Hasenöhrle den Fachgenossen mit, daß eine Büste Boltzmanns in den Arkaden der Wiener Universität aufgestellt werden sollte. Ich schlug ihm vor, die Büste mit der Unterschrift $S = k \log W$ zu versehen, welche bekanntlich aussagt, daß der Logarithmus der Wahrscheinlichkeit eines Zustandes, mit der Boltzmannschen Konstanten multipliziert, ein Maß für die Entropie des Zustandes bildet. So sehr hatte Planck in der wundervollen Darstellung, die er dem Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit in seinem Buch über die Strahlungstheorie gewidmet hat, das Verdienst Boltzmanns hervorgehoben, daß der Leser den Eindruck gewinnt, alles seien Auszüge aus Boltzmanns Arbeiten. Erst sehr viel später habe ich mich überzeugt, daß weder die Konstante k noch die Formel $S = k \log W$, die wir heute „Boltzmannsches Prinzip“ nennen, bei Boltzmann selbst vorkommt. Boltzmann sagt darüber nur gelegentlich in einer Abhandlung vom Jahre 1877: „Man könnte sogar aus dem Verhältnis der Zahl der verschiedenen Zustandsverteilungen deren Wahrscheinlichkeit berechnen, was vielleicht zu einer interessanten Methode der Berechnung der Wärmegleichgewichte führen würde“. Tatsächlich ist diese Berechnung erst von Planck ausgeführt; er erhält aus dem Boltzmannschen Prinzip mit einem Schlage sowohl die Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung wie die Gesetze der idealen Gase und deren spezifische Wärmen.

In den Arkaden ist die vorgeschlagene Unterschrift nicht angebracht worden, da sie den dortigen Gepflogenheiten widersprochen hätte. Aber sie ist einige Jahre später von dem Bildhauer wieder aufgenommen, der im Auftrage der Stadt Wien auf dem Zentralfriedhofe das Ehrenmal Boltzmanns auszuführen hatte. Hier steht auf der großen Marmorplatte hinter der Büste Boltzmanns in den Wolken die Inschrift $S = k \log W$ eingemeißelt. Sie kann jetzt als Symbol dienen sowohl für die Tiefe und Tragweite der Boltzmannschen Konzeptionen als auch zugleich für die großzügige Gesinnung Plancks, der sich in den Fragen des Atomismus als Schüler Boltzmanns fühlte und sein eigenes Verdienst um diese Fragen totgeschwiegen hat.

Planck selbst verhielt sich zunächst zurückhaltend in der Anwendung des Wirkungsquantums auf atomare Vorgänge, indem er demselben eine unmittelbare

Bedeutung wohl nur für statistische Fragen zuschrieb. Daß auch die atomaren Vorgänge in wellenmechanischer Auffassung letzten Endes statistischer Natur sind, konnte Planck damals noch nicht ahnen. Die extreme Lichtquantenhypothese rührt bekanntlich nicht von Planck, sondern von Einstein her. Noch 1910 auf einer Dampferfahrt von Königsberg nach Memel äußerte sich Planck zu mir etwas skeptisch über die quantentheoretische Deutung des von Nernst gemessenen Temperaturverlaufs der spezifischen Wärmen. Aber die Bestätigungen häuften sich: Der Franck-Hertzsche Elektronenstoßversuch an der Resonanzlinie des Quecksilbers, der Photoeffekt, die Grundzüge der Photochemie, die kurzwelligen Grenzen der Röntgenspektren bis hin zum Bohrschen Atommodell. Mit letzterem war das Signal gegeben zur stürmischen Entwicklung der Atom- und Kernphysik, unter deren Wirkungen wir noch heute stehen, wissenschaftlich und weltpolitisch.

Zum Schluß ein Wort über die Beziehungen Plancks zur Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Gleich nach seiner Berufung auf die Berliner Professur trat er der dortigen Physikalischen Gesellschaft bei. Die Entdeckung des Wirkungsquantums teilte er der Gesellschaft in seinem Vortrag vom 14. Dezember 1900 erstmalig mit. Er förderte 1919 die Umwandlung der Berliner in die deutsche Physikalische Gesellschaft und wurde 1927 deren Ehrenmitglied. Der Vorstand der Gesellschaft wurde von ihm zur Verleihung der Planck-Medaille ermächtigt. Möge der Genius Plancks, der Geist der Sachlichkeit und Würde, über der weiteren Arbeit der Gesellschaft walten und die zur Zeit noch getrennten Länder-Gesellschaften bald wieder zu einer leistungsfähigen gesamtdeutschen Gesellschaft vereinen!

1) Persönliche Erinnerungen aus alten Zeiten. Von Max Planck, Naturwissenschaften, 33. Jahrgang, S. 230.

2) Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie, Nobel-Vortrag vom 2. Juni 1920. Joh. Ambr. Barth 1920, vgl. auch Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums von Max Planck, Naturwissenschaften, 31. Jahrgang, S. 153.

3) Wiener Akademie vom Jahre 1877, Gesammelte Werke Nr. 39, S. 121.

München 23, Dunantstr. 6

(Bei der Redaktion eingegangen am 10. November 1947.)