

# Gedenkreden für Max Planck

gehalten an der Gedenkfeier am 23. April 1948 in der Aula der Universität Göttingen

veranstaltet von der

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, der Akademie der Wissenschaften

zu Göttingen, der Georg-August-Universität zu Göttingen, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in der Britischen Zone

## Das wissenschaftliche Lebenswerk Max Plancks

Von Prof. Dr. MAX von LAUE, Göttingen

Plancks physikalisches Lebenswerk knüpft unmittelbar an die Hauptsätze der Thermodynamik an. Zwar fand er den ersten Hauptsatz, das Energie-Prinzip, fix und fertig vor, und er hatte mit ihm nicht mehr zu tun als jeder andere theoretische Physiker damals und heute. Und auch, daß Planck 1887 eine geschichtliche Darstellung dieses Satzes gab, und ein Jahrzehnt später die Übertreibungen der Energetiker bekämpfte, welche sich aus ihm allein alle Gesetze der Natur, ja sogar des Geisteslebens abzuleiten unterfingen, gehört nicht zu Plancks kennzeichnenden Arbeiten.

Ganz anders beim zweiten Hauptsatz. Zwar war auch er schon vor Plancks Eintritt in die Forschung im Wesentlichen da, und die Schriften von Rudolf Clausius über ihn waren es, was den 19-jährigen Berliner Studenten mehr als alle Vorlesungen fesselte, ja geradezu magnetisch anzog. Aber weder seine Begründung schien Planck jene Vollendung zu haben, die erreicht sein muß, wenn sich der Forscher zufrieden geben soll, noch hatte er diejenige Anwendung in der Thermodynamik gefunden, die Planck als die eleganteste und darum beste erschien. Und so sehen wir den jungen Gelehrten von seiner Dissertation im Jahre 1879 an anderthalb oder zwei Jahrzehnte eifrigst an der Arbeit, da Wandel zu schaffen. Und das gelang ihm; die Zusammenfassung aller dieser Arbeiten zu seinen „Vorlesungen über Thermodynamik“ vom Jahre 1897 gab diesem Gebiete der Physik eine ganz neue Gestalt; der Entropiebegriff, damals den meisten Physikern noch etwas Ungewohntes, bekam in ihm zuerst die überragende Rolle, welche ihm die spätere Entwicklung der Physik als legitim zuerkennen mußte.

Freilich ging Planck in seiner Einschätzung des zweiten Hauptsatzes anfangs etwas zu weit. Der 14 Jahre ältere große Wiener Physiker Ludwig Boltzmann, einer der Väter der kinetischen Gastheorie, hatte seit den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts immer überzeugender gezeigt, daß sich dieser Satz atomistisch nur als Wahrscheinlichkeitsgesetz verstehen läßt. Danach sind geringe Abweichungen von ihm überhaupt die Regel; wir kennen sie heutzutage gut genug in den thermodynamischen Schwankungen. Aber Planck war eher geneigt, die Realität der Atome zu opfern, als den zweiten Hauptsatz so weit zu „degradieren“. Und so gab es einmal eine ziemlich lebhafte Polemik über die Gastheorie zwischen Boltzmann und Planck, oder genauer Plancks Schüler Ernst Zermelo, die Planck schon etwas schmerzte, und doch, wie jede ehrliche Polemik bedeutender Männer, der Wissenschaft zu großem Segen geworden ist. Das Ergebnis, daß die Gastheorie nicht mit beliebigen mechanischen Bewegungen der Atome zu tun habe, sondern mit solchen, die der Hypothese der molekularen Unordnung gehorchen, wurde auch für Plancks Entdeckung des Strahlungsgesetzes von Bedeutung.

Der Thermodynamik ist Planck bis in sein hohes Alter treu geblieben. 1910 brachte er das Nernstsche Wärmetheorem in die Form, welche allen weiteren Diskussionen zugrunde liegt. Später kamen Arbeiten über die statistische Berechnung der Entropie. Diese seine Tätigkeit fand einen würdigen Abschluß in einer Arbeit vom Jahre 1934, in welcher der 76jährige die alte Streitfrage einer einwandfreien Fassung des Braun - Le Chatelierschen Prinzips mit gewohnter Meisterschaft endgültig löste.

Merkwürdig wenig bekannt ist, was Planck für die spezielle

Relativitätstheorie getan hat. Zwar weiß man, wie bereit und energisch er für sie und ihren Schöpfer, Albert Einstein, zu allen Zeiten eingetreten ist. Aber daß er es war, der die wohlbekannte relativistische Dynamik auch relativistisch ableitete, während Einsteins berühmte Abhandlung aus dem Jahre 1905 in diesem Punkte einen Überlegungsfehler enthielt, wissen nur wenige. Immerhin handelte es sich hier um eine Berichtigung, auf die auch andere hätten kommen können, hätten sie sich so schnell wie er in die Einsteinsche Theorie hineinzudenken verstanden. Aber Plancks eigenstes Werk war die anschließende Einfügung der Thermodynamik in die Relativitätstheorie, gipfelnd in dem Satze von der Invarianz der Entropie gegen die Lorentz-Transformation. Im Zusammenhang damit ergab sich eine neue verallgemeinerte Fassung des Einsteinschen Satzes von der Trägheit der Energie. Einstein selbst spricht in der nunmehr so berühmten Gleichung Masse gleich Energie durch Quadrat der Lichtgeschwindigkeit von der Masse als der für die Trägheit eines Körpers kennzeichnenden Größe. Im allgemeinen aber läßt sich die Trägheit gar nicht durch eine Masse beschreiben. Und Planck gab dem Satze die ganz allgemein gültige Form: Impulsdichte gleich Energieströmung durch Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Diese Form ist in jene elegante vierdimensionale Darstellung der Relativitätstheorie eingegangen, welche Hermann Minkowski 1909 gab.

Sicherten schon diese Leistungen Planck einen ehrenvollen Platz in der Geschichte der Wissenschaft, so erhob ihn sein Strahlungsgesetz an eine der allerersten Stellen darin.

Man wußte seit Kirchhoff (1859), daß sich in einem von allseitig gleichtemperierten Wänden umschlossenen Hohlraum ein Strahlungszustand bildet, der völlig unabhängig von den Sondereigenschaften der Wände nur durch die Temperatur bestimmt ist. Das ist wieder eine Konsequenz des zweiten Hauptsatzes. Die Energie dieser universellen Hohlraumstrahlung und ihre spektrale Verteilung in Abhängigkeit von der Temperatur zu ergründen, war seitdem ein Streben mancher Physiker gewesen, besonders, weil man daraus die Strahlungseigenschaften jedes Körpers unschwer ableiten kann. Am weitesten auf diesem Wege war 1893 Willy Wien mit seinem Verschiebungsgesetz gelangt, welches die Verteilung bei beliebiger Temperatur zu berechnen erlaubt, sobald sie für eine bestimmte Temperatur bekannt ist. Aber die vollständige Lösung des Problems stand aus.

Planck, der sich zeitlebens besonders für die universellen, von den speziellen Körpereigenschaften unabhängigen Züge in der Natur interessiert hatte, mußte diese Frage besonders reizen. In sechs großen, 1897 beginnenden Abhandlungen suchte er sich einer Antwort zu nähern. Als echter Theoretiker, der das Wesentliche zu erblicken weiß, idealisierte er das Problem, indem er die Wände des Hohlraums als vollkommen spiegelnd annahm, so daß sie keinen Energieaustausch mit der eingeschlossenen Strahlung haben, und indem er die Materie, welche mit der Strahlung im thermischen Gleichgewicht sein soll, durch eine Mannigfaltigkeit idealer, ungedämpfter Resonatoren ersetzte. Das konnte nach dem Kirchhoffschen Satze die Züge der Hohlraumstrahlung nicht verfälschen. Das erste Teilproblem war dann: In welcher Beziehung steht die mittlere Energie eines

Resonators von bestimmter Schwingungszahl zu der Intensität der Strahlung derselben Schwingungszahl?

Schon dabei ergab sich eine Überraschung. Eine reine elektrodynamische Lösung dieses Problems existiert nicht. Erst wenn man in Analogie zur Hypothese der molekularen Unordnung eine Hypothese der natürlichen Strahlung einführt, wird das Problem überhaupt bestimmt. Dann aber konnte *Planck* leicht den gesuchten Zusammenhang rechnerisch angeben.

Nun war der zweite notwendige Schritt, zu entscheiden, in welchem Zusammenhang die mittlere Energie des Resonators mit der Temperatur steht. Hier verlegte sich *Planck* zuerst auf Raten, natürlich auf ein durch rationale Überlegungen gesteuertes Raten. Und das Resultat schien günstig; es stimmte nämlich mit einem schon anderweitig aufgestellten, aber nicht richtig begründeten Gesetz überein, und ebenso mit den damaligen Messungen der spektralen Energieverteilung.

So stand es im Sommer 1900. Da zeigten Messungen von *Kurlbaum* und *Rubens* die Brauchbarkeit der genannten Spektralformel für die kürzeren, aber ihr Versagen für die längeren Wellen. Für diese galt sehr angenähert eine früher von *Rayleigh* und *Jeans* aufgestellte Formel, die aber unmöglich für das ganze Spektrum richtig sein konnte. Man hatte also zwei verschiedene, mathematisch wohldefinierte Grenzfälle; es lag nicht fern, interpolatorisch ein Gesetz zu suchen, welches für das ganze Spektrum galt und diese Grenzfälle mit einschloß. Und hier bewährte sich nun *Plancks* einzigartige Einfühlung in die Thermodynamik. Während nämlich alle anderen Physiker bei der Diskussion des Strahlungsproblems unmittelbar an den Zusammenhang von Energie und Temperatur herangingen, sah er den Kern der Frage in dem Zusammenhang von Energie und Entropie eines Resonatoren-Systems. Dies machte die Interpolation einfach und führte ziemlich eindeutig zu dem mit *Plancks* Namen für alle Zeiten gezielten Strahlungsgesetz. Am 19. 10. 1900, sobald *Kurlbaum* seinen Vortrag über die neuen Messungen in der Berliner Physikalischen Gesellschaft beendet hatte, konnte er es mitteilen; am Tage darauf bekam er eine Postkarte von *Rubens*, daß dieses Gesetz zu jenen Messungen passe.

Damit aber kam erst die weit schwierigere Aufgabe, diesen Zusammenhang zwischen Energie und Entropie nun auch rein theoretisch zu begründen. *Planck* mußte bald erkennen, daß die reine Thermodynamik notwendig zu ergänzen wäre durch eine statistische Entropieberechnung auf Grund der *Boltzmann-*

schen Ideen. Das bedeutete, daß er sich nun mit aller Entschiedenheit auf atomistischen Boden stellte. Aber die Atomistik mußte, wenn überhaupt eine statistische Entropieberechnung möglich sein sollte, ausgedehnt werden auf die Energie selbst. Diese mußte bestehen aus Energiequanten endlicher-Größe. Damit aber kam *Planck* in der Tat zwangsläufig auf den vorher halb erratenen Zusammenhang, also auch wieder auf sein Strahlungsgesetz. Er trug die Ableitung am 14. 12. 1900, wieder in der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, vor. Das war der Geburtstag der Quanten-Physik, und *Planck* war sich von Anfang an klar, daß er eine Tat vollbracht hatte, die der Begründung der Dynamik durch *Newton* ebenbürtig war.

Aber sein Stolz darauf war nicht ohne Schmerz. Er, dem mehr als anderen die Einheit der Physik als Ideal vor Augen stand, hatte durch diese Tat einen tiefen Riß in diese Wissenschaft gebracht. Immer wieder trat er mit Ansätzen hervor, die Kluft, wenn nicht zu schließen, doch zu überbrücken. Er hat sie schließlich als vergeblich erkannt, empfand aber die darauf verwandte Mühe keineswegs als vergeblich vertan. „Denn“, so äußerte er in einem seiner Vorträge, „auch eine Enttäuschung, wenn sie nur gründlich und endgültig ist, bedeutet einen Schritt vorwärts“. Sie kann die Vorbedingung für neue Erkenntnis werden.

Zwei Wesenszüge haben *Planck* zu seinem, erst die Wissenschaft, dann die ganze Welt erschütternden Erfolge geführt. Erstens jene Ahnung, die schon den Jüngling erfaßte, daß hinter dem Entropie-Begriff mehr stecke, als seine Vorgänger herausgeholt hatten, und die daraus folgende Versenkung in das Wesen dieses Begriffs. Das kann ihm nur jemand nachmachen, der gleich ihm ein Genie von Gottes Gnaden ist. Zweitens aber – und darin kann ihm jeder folgen, der guten Willens ist – die Gewissenhaftigkeit und Treue in Verfolgung des ihm durch die innere Stimme und nur durch sie vorgeschriebenen Weges. Seine berühmte Rektoratsrede vom 3. 8. 1914, in der er unter Hinweis auf den Kriegsausbruch, aber im beabsichtigtem Gegensatz zu der ungeheuren Aufregung darüber ganz ruhig von seiner Wissenschaft sprach, schließt mit den überaus charakteristischen Worten: „Gewissenhaftigkeit und Treue, das sind die Führer, die dem Menschen wie in der Wissenschaft, so auch weit darüber hinaus den rechten Lebensweg weisen, die ihm keineswegs glänzende Augenblickserfolge, wohl aber die höchsten Güter des menschlichen Geistes, nämlich den inneren Frieden und die wahre Freiheit gewährleisten“.

[A 103]

## Die Auswirkungen des Lebenswerkes Max Plancks

von Prof. Dr. WERNER HEISENBERG, Göttingen

In vielen Wissenschaften würde man einem Forscher das größte Lob spenden, wenn man von ihm sagt, er habe nicht nur ein wichtiges Forschungsgebiet durch seine Arbeit neu erschlossen, sondern er habe dieses Gebiet auch selbst so gründlich nach allen Richtungen durchsucht, daß er es als einen fertig abgeschlossenen Teil im großen Gebäude der Wissenschaft der Nachwelt habe übergeben können. In den exakten Naturwissenschaften aber kann der wirklich große Forscher noch mehr erreichen. Er kann durch eine entscheidende Entdeckung, wie *Planck* es einmal selbst ausgedrückt hat, ein Samenkorn in den Boden legen, das so fruchtbar ist, daß es der Arbeit vieler Generationen bedarf, die Ernte einzubringen. *Newtons* Hauptwerk, die „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“, hat die Naturforschung etwa 200 Jahre lang beschäftigt. *Max Planck* hat mit der Entdeckung des Strahlungsgesetzes und des Wirkungsquantums eine neue Epoche in der exakten Naturwissenschaft eingeleitet, die in den fünf Jahrzehnten, die seitdem vergangen sind, eine große Zahl von Forschern auf der ganzen Erde zu immer neuen Entdeckungen, zu immer tieferen Einblicken in die Zusammenhänge der Natur geführt hat, und es ist einstweilen noch nicht abzusehen, daß die von *Planck* eingeleitete stürmische Entwicklung in absehbarer Zeit ein Ende finden könnte. – Ich will Ihnen die Entwicklung der Quanten-

theorie, die sich nach der *Planckschen* Entdeckung durch die Arbeit anderer Forscher bis heute vollzogen hat, hier kurz zu schildern versuchen.

*Planck* selbst war sich der inneren Harmonie und Geschlossenheit der damaligen Physik, die wir heute die klassische Physik nennen, so voll bewußt, daß er in den Jahren nach der Aufstellung der Quantenhypothese mehrfach versucht hat, die Gegensätze zwischen seiner Hypothese und den Grundsätzen der klassischen Physik zu mildern und irgendwie auszugleichen. Die jüngere Generation aber denkt nicht so konservativ wie die ältere. Sie wird gerade durch die neuen und revolutionären Ideen zum Handeln begeistert, und der Widerspruch zum Alten, Bewährten fällt für sie wenig ins Gewicht. Die nächsten wichtigen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Quantentheorie sind im Jahre 1905 von *Einstein* gewonnen worden, der, damals etwa 26 Jahre alt, nun gerade die neuen und scheinbar absurden Annahmen der Quantenhypothese zum Ausgang seiner Überlegungen macht. Es gelang ihm, bei zwei Problemen mit Hilfe der *Planckschen* Hypothese Fortschritte zu erzielen. Einmal handelt es sich um den sogenannten Lichtelektrischen Effekt. Wenn eine Metallplatte mit Licht bestrahlt wird, so werden aus ihr Elektronen ausgelöst. Man sollte meinen, die Geschwindigkeit der ausgeschleuderten Elektronen müsse umso größer sein, je intensiver das auffallende