

Sommerfeld

Ansprache  
anlässlich der Verleihung der Planck-Medaille an  
Peter Debye  
Von A. Sommerfeld

# Persönliches



## Überreichung der Planck-Medaille für **PETER DEBYE** durch **ARNOLD SOMMERFELD**

Auf dem 15. Physikertag in Bad Nauheim am 13. Oktober 1950, der zugleich der Gründungstag des Verbandes der deutschen Physikalischen Gesellschaften war, wurde die Planck-Medaille für 1950 an Prof. Peter Debye (Ithaca, USA) verliehen. Prof. Arnold Sommerfeld würdigte in seinem Festvortrag die wissenschaftliche Leistung des Ausgezeichneten. Am Schluß seiner Rede überreichte er die Planck-Medaille Prof. J. E. Mayer (Chicago), der es übernommen hatte, die Auszeichnung an Prof. Debye zu übermitteln. Die Ansprache hatte den folgenden Wortlaut:

„Wir bedauern lebhaft, daß wir heute den Held des Tages nicht unter uns haben. Wenn wir diese Versammlung in den Sommer hätten legen können, wo Debye in Deutschland war, hätte er uns einen seiner glänzenden Vorträge gehalten. Ich will ihn aber wenigstens in effigie zur Stelle schaffen.“



Peter Debye als Student

den Regenbogen“). Aber mehr als die Mathematik oder die mathematische Physik zog ihn eigentlich das Experiment an, besonders das witzige Experiment, das aus der Theorie hervorgegangen diese augenfällig macht. Man denke an das Debye-Scherrer-Verfahren in der Kristallanalyse, an die Ultraschallwellen als Beugungsgitter u. s. f. Auf Präzisionsmessungen und höhere Dezimalen hat er sich nie eingelassen. Seine Devise in Wissenschaft und Leben möchte ich

Sie sehen hier einen charmanten Bubenkopf, der intelligent und wißbegierig in die Welt und das Leben hinausblickt. So sah er aus, als er nach Absolvierung der Realschule seiner Vaterstadt Maastricht an die Hochschule in Aachen kam, um Elektrotechnik zu studieren. Er interessierte sich aber für elektrische Maschinen viel weniger als für allgemeine Physik, unbeschadet dessen er das Diplom für Elektrotechnik mit Leichtigkeit erwarb. Als ich die erste Möglichkeit hatte, einen Assistenten anzustellen, konnte meine Wahl nicht zweifelhaft sein. Als Assistent ging er mit mir 1906 nach München. Von hier aus trat er seinen Siegeszug durch die Physik und Chemie an.

Er ist ein hochbegabter Mathematiker. Dies bestätigte kein Geringerer als sein späterer Göttinger Kollege David Hilbert. Debye zeigte dies z. B. bei seinen berühmten asymptotischen Darstellungen der Besselfunktionen, die er zu seiner Münchener Dissertation brauchte, (das ursprüngliche Thema derselben hieß „Über

so formulieren: „Das ist alles furchtbar einfach“. Ich habe diese Äußerung noch kürzlich aus seinem Munde gehört, als er mir von seiner augenblicklichen Arbeit an den langschwänzigen Molekülketten der Faserstoffe erzählte.

Es sind besonders zwei Arbeiten von Debye, die wir aus der Fülle seiner physikalischen und chemischen Forschung herausgreifen wollen, um seinen Zusammenhang mit dem Planck'schen Ideenkreise darzulegen. Die eine ist die kurze Annalenarbeit vom Jahre 1910: Der Wahrscheinlichkeitsbegriff in der Theorie der Strahlung. In der Einleitung weist er auf einen „schwachen Punkt“ in der Planck'schen Ableitung des Strahlungsgesetzes hin: Der Resonator wird von Planck ursprünglich klassisch behandelt und mit der klassisch berechneten Energie der Hohlraumstrahlung in Beziehung gesetzt. Im zweiten Teil der Ableitung wird dagegen angenommen, daß die Strahlung im Widerspruch zur klassischen Feldtheorie aus Energiequanten bestehe. Debye stellt sich die Aufgabe, lediglich mit der Quantenhypothese auszukommen.

Er betrachtet den Rayleigh-Jeans'schen Würfel, dessen elektromagnetische Eigenschwingungen durch seine Kantenlänge bestimmt sind, und zählt diese Eigenschwingungen wie üblich nach den Unterteilungen der Kantenlänge ab. Es ergibt sich pro Frequenzintervall  $d\nu$  eine gewisse Anzahl von Eigenschwingungen  $N$ , deren jede ausgestattet wird mit einem Elementarquantum  $h\nu$ . Hier wird also das  $h\nu$  nicht einem molekularen Gebilde, wie es der Planck'sche Resonator war, sondern der makroskopischen Eigenschwingung zugeschrieben, die sich über den ganzen Würfel ausdehnt. Es handelt sich also um eine neuartige, kühne Erweiterung der Quantenauffassung.

Bedeutet nun  $f(\nu)$  die zunächst willkürlich angenommene spektrale Verteilung der Energie auf die  $\nu$ -Skala, so ist die Energie pro Frequenzintervall gegeben durch

$$f(\nu) h\nu N.$$

Debye definiert ebenso wie Planck die Wahrscheinlichkeit der angenommenen Verteilung  $f$  durch die Anzahl der voneinander verschiedenen Möglichkeiten, diese Verteilung aus den Quanten  $h\nu$  herzustellen. Die für jede Statistik grundlegende Definition der gleichwahrscheinlichen Fälle, die in der Gastheorie durch den Liouville'schen Satz gegeben ist, wird hier durch die Quanten-Hypothese selbst durch die Gleichberechtigung der Quanten geliefert.

Der wahrscheinlichste Zustand, der nach Boltzmann zugleich der Zustand maximaler Entropie ist, wird nach der üblichen Variationsmethode bei vorgegebener Gesamtenergie bestimmt; die Temperatur wird gemäß ihrer Definition durch die Entropie eingeführt. Die so erhaltene Verteilungsfunktion ist direkt das Planck'sche Strahlungsgesetz. Planck hat diese Methode in die vierte Auflage seiner



Arnold Sommerfeld  
bei seinem Referat

Strahlungstheorie selbst übernommen und „als überaus einfache Ableitung“ seines Strahlungsgesetzes bezeichnet,

Eine viel größere Rolle als diese doch eigentlich mehr methodisch interessante Arbeit hat in der Geschichte der Physik die große Theorie der spezifischen Wärme, Annalen 1912, gespielt. Es handelt sich hier um den Energieinhalt eines adiabatisch abgeschlossenen Festkörpers. Einstein hatte ihn schon etwas früher quantentheoretisch berechnet aus den Wärmeschwingungen seiner Moleküle, die als von einander unabhängig angenommen wurden. Dabei kamen zwar die Abweichungen des Diamanten und anderer harter Stoffe vom Dulong-Petit'schen Gesetz richtig heraus, nicht aber ihr Verhalten bei sehr tiefen Temperaturen, das von der Nernst'schen Schule genau untersucht war. Dagegen stimmten diese und alle folgenden Messungen vortrefflich, wenigstens qualitativ mit der Debye'schen Theorie überein.

Die Debye'schen Resultate sind so allgemein bekannt, daß ich mich fast entschuldigen muß, wenn ich hier kurz darüber berichte. Die Wärmeschwingungen der Moleküle des Festkörpers sind nicht voneinander unabhängig, sondern mehr oder minder eng miteinander gekoppelt, je nach Schwingungszahl und Temperatur. Debye betrachtet daher das gesamte Schwingungsspektrum des elastischen Körpers und löst dieses in seine akustischen Eigenschwingungen auf. Nehmen wir als Körperform wieder den Würfel, so ist die Abzählung der Eigenschwingungen dieselbe wie im Falle der Hohlraumstrahlung, nur daß an die Stelle der Lichtgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit tritt; genauer gesagt an Stelle von  $2/c^3$  tritt  $2/c^3_{\text{trans}} + 1/c^3_{\text{long}}$ , wobei die 2 ersichtlich in beiden Fällen der doppelten Polarisations-Möglichkeit Rechnung trägt.

Es gibt aber noch einen anderen, wesentlicheren Unterschied zwischen den elektromagnetischen und elastischen Eigenschwingungen: Die ersteren sind hinsichtlich der Frequenz unbegrenzt (es sei denn, daß uns in Zukunft eine Kleinstlänge und vielleicht auch eine Kleinstwellenlänge beschert wird). Dagegen sind die elastischen Frequenzen nach oben hin begrenzt durch die endliche Anzahl der Freiheitsgrade des Körpers. Debye führt hier eine kühne Abschneidevorschrift ein, indem er verlangt:

Anzahl der Freiheitsgrade = Anzahl der zuzulassenden Eigenschwingungen.

Diese Vorschrift braucht nicht, wie ihre wenig beliebten Schwestern in der Atomphysik, Lorentz-invariant zu sein, da wir es ja hier mit dem festen Ruhesystem des elastischen Körpers zu tun haben. Sie ist nur insofern etwas kühn und gewaltsam, weil sie zu einem recht krassen Spektrum der elastischen Schwingungen führt, nämlich zu einer von Null langsam ansteigenden, dann immer steiler werdenden Kurvenform, die bei einer gewissen Grenzfrequenz  $\nu_g$  plötzlich auf Null abfällt.

Indem Debye eine Kühnheit auf die andere häuft, stattet er wieder jede dieser Frequenzen mit einem Energiequantum  $h\nu$  aus. Insbesondere definiert ihm die Grenzfrequenz  $\nu_g$  die charakteristische Temperatur  $\theta$  durch die Gleichung:

$$h\nu_g = k\theta.$$

$\theta$  heißt in der ganzen Welt „Debye-Temperatur“. Der Energieinhalt des Körpers ergibt sich auf diese Weise als reine Funktion von  $T/\theta$  (abgesehen von unwesentlichen Faktoren), dargestellt durch ein bestimmtes Integral über eine elementare Funktion mit der unteren Grenze 0 und der oberen  $\theta/T$ . Für  $T \gg \theta$  wird die Ausrechnung des Integrals elementar und liefert das Dulong-Petit'sche Gesetz. Für  $T \ll \theta$ , wo die obere Grenze wie in der Strahlungstheorie  $\sim T$  wird, kommt das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz, also Proportionalität mit  $T^4$  heraus, natürlich bei abgeänderter Bedeutung des Proportionalitätsfaktors (Schall- statt Lichtgeschwindigkeit). Daraus folgt durch Differentiation nach  $T$  das Debye'sche  $T^3$ -Gesetz der spezifischen Wärmen. Auch für die Zwischentemperaturen liefert das Debye'sche Integral eine Temperaturabhängigkeit, die sich qualitativ im Experiment bestens bewährt hat.

Es ist klar, daß diese Theorie von den Feinheiten der Kristallstruktur keine Rechenschaft geben kann, da sie ja außer in der Abschneidenvorschrift den Körper als homogenes und isotropes Kontinuum behandelt. In dieser Hinsicht ist es interessant, die mit Debye fast gleichzeitige Arbeit von Born und Karman zu betrachten; diese rechnen die Koppelung von linearen, zwei- oder dreidimensionalen Punktfolgen durch und gelangen auf einem allerdings viel weniger übersichtlichen Wege zu entsprechenden Resultaten wie Debye. Die Kühnheit von Debye hat sich also hier wieder einmal belohnt. Es ist ferner klar, daß der in der Temperatur lineare Beitrag der Metallelektronen zur spezifischen Wärme der Debye'schen Methode entgehen mußte. Dieser kommt aber erst bei Helium-Temperaturen zur Geltung und konnte nur auf Grund der Fermi-Statistik entwickelt werden.

Wir haben in unserem Bericht den Körper als Würfel vorausgesetzt und sind darin von Debye abgewichen, der ihn als Kugel angenommen hat, weil bei spannungsfreier Oberfläche nur für diese die elastischen Differentialgleichungen sich separieren lassen. Man wird dabei aber auf sehr diffizile Grenzwerte von Bessel'schen Funktionen geführt, die Debye nur dank seiner früheren Arbeiten über diesen Gegenstand meistern konnte. Man erleichtert sich die Aufgabe erheblich, wenn man statt der Bedingung der Spannungsfreiheit sog. gemischte Grenzbedingungen benutzt, die von Somigliana in die Elastizitätstheorie eingeführt sind. Sie garantieren ebenfalls die adiabatische Abgeschlossenheit des Körpers und sind daher für unser Problem mit der Bedingung der Spannungsfreiheit äquivalent. Das Nähere habe ich in Bd. II meiner Vorlesungen ausgeführt.

Was wir sonst noch zu sagen haben, beschränkt sich auf einige kurze Hinweise: (1) Im Jahre 1916 hat Debye in den Göttinger Nachrichten unter dem Titel „Die Feinstruktur wasserstoffähnlicher Spektren“ die von mir kurz vorher entwickelte Theorie mehr systematisch aus der Hamilton'schen partiellen Differentialgleichung abgeleitet. Diese Methode ist in die großen Abhandlungen Bohr's (Kopenhagener Akademie 1918) übergegangen. (2) An gleicher Stelle hat Debye 1916 unter dem Titel „Quantenhypothese und Zeeman-Effekt“ das normale Lorentz'sche Triplett ebenso wie ich in der Physikal. Z. erklärt. Von der dabei wirksamen Auswahlregel für die magnetische Quantenzahl konnte er ebensowenig wie ich damals Rechenschaft geben. Das konnte erst das Korrespondenzprinzip oder in definitiver Form die Wellenmechanik leisten. (3) In der Bayerischen Akademie 1915 hat Debye ein aufsehenerregendes Modell des Wasserstoff-Moleküls beschrieben und seine Dispersion berechnet. Dieses Modell ist ebenso wie meine Verallgemeinerungen in der Elster- und Geitel-Festschrift 1915 inzwischen zu den Toten versammelt worden. Es ist vielleicht heute nur noch deshalb interessant, weil es zeigt, wie naiv-optimistisch man damals mit den Atom- und Molekül-Modellen umging. (4) In seiner Arbeit „Zerstreuung von Röntgenstrahlen und Quantentheorie“, Physikal. Ztschr. 1923, hatte Debye beim ersten Bekanntwerden der Compton'schen Entdeckung eine schon früher von ihm angestellte Betrachtung über den Zusammenhang von Streustrahlung und Elektronenemission veröffentlicht. Sie deckt sich mit der gleichzeitig publizierten Theorie von A. H. Compton und betont bereits den universellen Charakter der „Compton'schen Wellenlänge“.

Mit diesem Bericht haben wir aber nur einen kleinen Bruchteil des Debye'schen Arbeitsvolumens gestreift. Seine Haupttätigkeit lag auf dem Gebiete der Molekülstruktur und ihrer Erforschung durch Röntgenstrahlen, ferner auf dem der Elektrolyse und des Kernmagnetismus. Der gegenwärtige Anlaß schließt es aus, darauf einzugehen.

Ich habe die Ehre, Herrn Prof. Mayer aus Chicago die Planck-Medaille zu treuen Händen zu übergeben. Wir bedauern, daß sie sich durch einen Transmutationsprozeß, der zwar nicht kernphysikalisch aber politisch leicht verständlich ist, aus Gold in Bronze verwandelt hat.“