

2. Assistent bei Arnold Sommerfeld und bei David Hilbert

2.1 Die Sommerfeld-Schule

Arnold Sommerfeld beschäftigte Adolf Kratzer in den Jahren 1919/20 als Privatassistenten, damit er ihm bei der Abfassung seines Buches²¹

Atombau und Spektrallinien

behilflich war. Dieses epochale Meisterwerk, das eine ganze Serie von überarbeiteten und ergänzten Auflagen erlebte, machte die Bohr-Sommerfeldsche Atomtheorie weltweit bekannt. Es blieb für lange Zeit eine der wichtigsten Monographien zu der aufstrebenden Quantentheorie.

Als Mitglied des Sommerfeldschen Instituts für Theoretische Physik in München gehörte Adolf Kratzer zu einem der drei weltweit führenden Entwicklungszentren für Quantentheorie – die beiden anderen waren das Institut für Theoretische Physik der Universität Göttingen unter Max Born (1882 – 1970) und das Institut für Theoretische Physik an der Universität Kopenhagen unter Niels Bohr (1885 – 1962).

²¹Arnold Sommerfeld: Atombau und Spektrallinien.

Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1919.

2. Aufl. 1921; 3. Aufl. 1922; engl. Übers. 1923; 4. Aufl. 1924; Wellenmechanischer Ergänzungsband (Band 2) 1929, engl. Übersetzung 1930; 5. Aufl. von Band 1 1931, engl. Übersetzung 1934; 2. Aufl. von Band 2, 1939; 6. Aufl. von Band 1, 1944; Reprint der 2. Aufl. von Band 2, New York 1947; 7. Aufl. von Band 1, 1951; 3. Aufl. von Band 2, 1951; 8. Aufl. von Band 1, 1960; 4. Aufl. von Band 2, 1960; 5. Aufl. von Band 2, 1967; Nachdruck der 8. Auflage von Band 1, Harry Deutsch, Frankfurt 1978; Nachdruck der 5. Aufl. von Band 2, Harry Deutsch, Frankfurt 1978.



Arnold Sommerfeld (l.) mit Niels Bohr (r.) im Jahre 1919

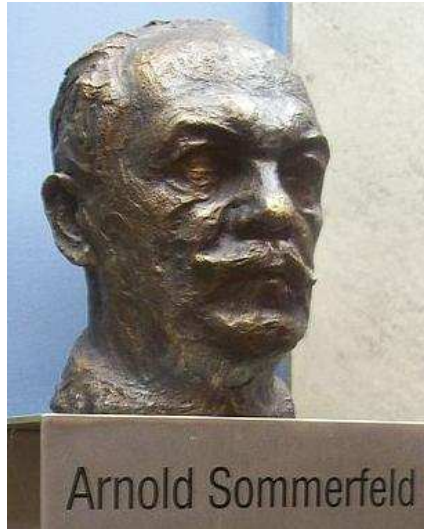
Arnold Sommerfeld wurde am 5. Dezember 1868 in Königsberg, Ostpreußen (heute Kaliningrad), geboren. Nach dem Abitur am Altstädtischen Gymnasium studierte er Mathematik an der Universität Albertina seiner Heimatstadt, wo u. a. David Hilbert (1862 – 1943), Adolf Hurwitz (1859 – 1919) und Ferdinand von Lindemann (1852 – 1939) seine akademischen Lehrer waren. 1891 wurde er mit der von F. v. Lindemann angeregten Dissertation “Die willkürlichen Functionen in der mathematischen Physik” zum Dr. phil. promoviert. Nach dem Militärdienst ging Sommerfeld 1893 an die Universität Göttingen, die damals weltweit führend in Mathematik war. 1894 wurde er Assistent von Felix Klein (1849 – 1925), der in vieler Beziehung sein Vorbild wurde. 1895 habilitierte er sich mit der Schrift “Mathematische Theorie der Diffraction”. Gemeinsam mit Felix Klein verfasste er von 1897 bis 1910 das vierbändige Werk “Theorie des Kreisels”. 1897 folgte er einem Ruf auf eine ordentliche Professur für Mathematik an der Bergakademie Clausthal, 1900

nahm er das Angebot eines Lehrstuhls für Technische Mechanik an der TH Aachen an. Im Jahre 1906 schließlich folgte er einem Ruf auf ein Ordinariat für Theoretische Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München; er war damit ein Nachfolger von Ludwig Boltzmann (1844 – 1906), der bis 1894 in München gewirkt hatte. Nachdem er sich ab 1891 zunächst mit Mathematischen Funktionen der Physik, mit der Theorie des Kreisels und mit Technischer Mechanik beschäftigt hatte, behandelte er zunehmend auch physikalische Problemstellungen (insbesondere die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen und die Erzeugung und Beugung von Röntgenstrahlen). Zwischen 1905 und 1911 wandte er sich der Relativitätstheorie von Albert Einstein (1879 – 1955) und der Quantentheorie von Max Planck (1858 – 1947) zu. Ab 1915 beschäftigte er sich dann intensiv mit der Quantentheorie des Atombaus und der Spektrallinien; gemeinsam mit seinen Schülern machte er sein Institut zu einem weltweit führenden Zentrum der Quantentheorie.²²

Wie glänzend die Sommerfeld-Schule war, zeigt sich u. a. daran, dass ein Jahr nach Adolf Kratzer Wolfgang Pauli (1900 – 1958, Promotion 1921, Nobelpreis für Physik 1945) und zwei Jahre später Werner Heisenberg (1901 – 1976, Promotion 1923, Nobelpreis für Physik 1932) zum Dr. phil. promoviert wurden. Außer diesen beiden erhielten noch fünf weitere Mitglieder dieser “Schule” Nobelpreise: Peter Debye (1884 – 1966, Promotion 1908, Nobelpreis für Chemie 1936), Max von Laue (1879 – 1960, Assistent 1909 – 1912, Nobelpreis für Physik 1914), Linus Carl Pauling (1901 – 1994, Gast 1926, Nobelpreis für Chemie 1954, Friedensnobelpreis 1962), Hans Bethe (1906 – 2005, Promotion 1928, Nobelpreis für Physik 1967), Isidor Isaac Rabi (1898 – 1988, Gast 1928, Nobelpreis für Physik 1944). Albert Einstein schrieb am 14. Januar 1922 an Sommerfeld: “Was ich an

²²Für weitere Informationen über Arnold Sommerfeld sei verwiesen auf Michael Eckert: *Die Atomphysiker. Eine Geschichte der theoretischen Physik am Beispiel der Sommerfeldschule.* Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1993; Jagdish Mehra und Helmut Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory* (2-bändig), Springer, New York 1982.

Ihnen besonders bewundere das ist, dass Sie eine so grosse Zahl junger Talente wie aus dem Boden gestampft haben. Das ist etwas ganz Einzigartiges. Sie müssen eine Gabe haben, die Geister Ihrer Hörer zu veredeln und zu aktivieren.”²³



Prof. Dr. Arnold Sommerfeld
1868 – 1951
[Büste in der Universität München]

Die Arbeit an dem Buch “Atombau und Spektrallinien” verlief nach Adolf Kratzers Schilderung so, dass Arnold Sommerfeld nachmittags zu Hause an dem Buch arbeitete, morgens ein Stück Manuskript mitbrachte, das der Assistent lesen und mit Sommerfeld diskutieren musste, wobei sich auch vielerlei Anregungen für den Assistenten ergaben. Als Anekdote ist dabei überliefert, dass Kratzer eine Aufgabe erhielt, bei der ein Integral zu lösen war. Nach drei Tagen erschien er bei Sommerfeld mit der Bemerkung, das Integral konvergiere ja überhaupt nicht; Sommerfelds Belehrung sei gewesen: “Aber

²³Albert Einstein/Arnold Sommerfeld: Briefwechsel. Herausgegeben von Armin Hermann. Schwabe & Co. Verlag, Basel/Stuttgart 1968, S. 98.

Sie sollten ja garnicht die Konvergenz untersuchen, Sie sollten doch das Integral ausrechnen.”

Welch tiefe Begeisterung über ihre wissenschaftlichen Erkenntnisse dessen, “was die Welt im Innersten zusammenhält” (Faust I), Arnold Sommerfeld und seine Mitarbeiter bei ihrer Arbeit empfanden, dokumentiert sich an dem auch in späteren Auflagen von “Atom-
bau und Spektrallinien” abgedruckten Auszug aus dem Vorwort zur ersten Auflage:

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

(September 1919.)

Seit der Entdeckung der Spektralanalyse konnte kein Kundiger zweifeln, daß das Problem des Atoms gelöst sein würde, wenn man gelernt hätte, die Sprache der Spektren zu verstehen. Das ungeheure Material, welches 60 Jahre spektroskopischer Praxis aufgehäuft haben, schien allerdings in seiner Mannigfaltigkeit zunächst unentwirrbar. Fast mehr haben die sieben Jahre Röntgenspektroskopie zur Klärung beigetragen, indem hier das Problem des Atoms an seiner Wurzel erfaßt und das Innere des Atoms beleuchtet wird. Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraus hören, ist eine wirkliche Sphärenmusik des Atoms, ein Zusammenklingen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie. Für alle Zeiten wird die Theorie der Spektrallinien den Namen Bohrs tragen. Aber noch ein anderer Name wird dauernd mit ihr verknüpft sein, der Name Plancks. Alle ganzzahligen Gesetze der Spektrallinien und der Atomistik fließen letzten Endes aus der Quantentheorie. Sie ist das geheimnisvolle Organon, auf dem die Natur die Spektralmusik spielt und nach dessen Rhythmus sie den Bau der Atome und der Kerne regelt.

Aus der vierten umgearbeiteten Auflage 1924

Die Mitarbeit Adolf Kratzers an dem Kapitel über die Spektren der Moleküle führte zu seiner Dissertation “Quantentheorie der Ro-

tationsspektren". In dieser Arbeit ging es um die quantentheoretische Analyse der von Eva von Bahr bereits 1913 beobachteten Rotationsschwingungsspektren bei Chlorwasserstoff (HCl).²⁴ Torsten Heurlinger hatte unter der Annahme, dass die Kernschwingung des Moleküls harmonisch ist, die nach der Bohrschen Theorie möglichen Frequenzen in den ultraroten Bandenspektren hergeleitet.²⁵ Dabei fand er, dass sich die Kernschwingungsfrequenz, der sich die Rotationsfrequenzen überlagern, mit dem Quadrat der Rotationsquantenzahl *vergrößert*. Die Messungen von E. v. Bahr zeigten jedoch eine (wieder mit dem Quadrat der Rotationsquantenzahl erfolgende) *Verkleinerung* der Kernschwingungsfrequenz. Dies erklärte Adolf Kratzer damit, dass das Molekül (in dem in Betracht kommenden) Amplitudenbereich als *anharmonischer Oszillator* betrachtet werden muss.

Arnold Sommerfeld beurteilte diese Arbeit in einem Votum vom 19. Februar 1920 sehr positiv (s. nächste Seite).²⁶

Noch im Februar 1920 wurde Adolf Kratzer zum Dr. phil. promoviert; die Promotionsurkunde ist auf den 27. Februar 1920 datiert.

Von dieser Dissertation scheint kein Exemplar erhalten zu sein. Aus ihr ging jedoch eine Publikation hervor, die den Namen Kratzer bis heute lebendig gehalten hat: Die Arbeit

Die ultraroten Rotationsspektren der Halogenwasserstoffe
Zeitschrift für Physik 3 (1920), 289 – 307

wird auch im 21. Jahrhundert unter dem Stichwort "Kratzer potential" noch häufig zitiert.²⁷

²⁴Eva von Bahr; Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 15 (1913), S. 1150 ff.

²⁵Torsten Heurlinger: Über Atomschwingungen und Molekülspektren. Zeitschrift für Physik 1 (1920), S. 82 – 91.

²⁶Universitätsarchiv der Ludwig-Maximilians-Universität München; Akte OC-I-46p.

²⁷Bereits eine simple GOOGLE-Abfrage von "Kratzer potential" liefert eine Fülle von Zitaten.

Votum

Herr Kratzer (Kriegsinvalide, Kehl-Kuppelschweif) ist seit Oktober 1918 mein Mitarbeiter und hat mich bei der Abfassung meines Buches über Atombau etc. wesentliche Dienste geleistet. Die vorliegende Arbeit schließt teils an ein Seminar vom So. 1919, teils an eine Vorlesung über Bandenspektren vom So. Lenz an. Letzterer bezieht in dem folgenden Referat über Einzelheiten der Kratzer'schen Arbeit. Über das Problem im Allgemeinen erlaube ich mir Folgendes auszuführen:

Die Absorptionsbanden im Ultraroten, die von Paschen und seiner Schule in einzelne äquidistante Linien aufgelöst sind, wurden von Rydberg in der Natur-Festschrift unter dem Gesichtspunkt der Energiequanten als Rotations-Spektren gedeutet. Andererseits führte Schwarzschild's letzte Arbeit die Bandenspektren im Allgemeinen auf die Bohr'sche Frequenzbedingung und die neuere Theorie der Wirkungsquanten zurück. Die Aufgabe von Hrn. Kratzer war, die letztere Auffassung auf das Rydberg'sche Problem anzuwenden. Die Aufgabe ist so zeitgemäß, dass sie von verschiedenen Seiten in Angriff genommen ist, so z. B. von Heisenberg, der teils in einer soeben erschienenen Arbeit die Resultate von § 2 und 3 von Kratzer teilweise vorweg genommen hat. Das allgemeine Ergebnis von Kratzer ist, dass sich die neuere Auffassung bei den ultraroten Absorptionsspektren nur durch die Durchführung lässt, dass dabei aber das Elektronensystem der Molekel nicht als starr behandelt werden darf, sondern dass seine Beeinflussung durch die Rotation berücksichtigt werden muss. Ein besonderes Interesse hat das Problem als Präzedenzfall der sog. 2^{ten} Planck'schen Theorie.

Die Arbeit zeigt hohe Beherrschung der theoretischen Hilfsmittel und berücksichtigt sorgfältig das vorliegende, leider nicht sehr vollständige Versuchsmaterial. Ich beantrage daher Zulassung zur mündlichen Prüfung.

München, 29. IV. 20.

A. J. Sommerfeld

Zeitschrift für Physik

Herausgegeben von der
Deutschen Physikalischen Gesellschaft
als Ergänzung zu ihren „Verhandlungen“

3. Band, 5. Heft

1920

Die ultraroten Rotationsspektren der Halogenwasserstoffe.

Von A. Kratzer.

Mit zwei Abbildungen. (Eingegangen am 14. Oktober 1920.)

Nach dem Vorgange von Bjerrum¹⁾ werden die ultraroten Bandenspektren als eine Überlagerung der Molekülrotation auf die Frequenz der gegeneinander schwingenden Kerne gedeutet. Herr Heurlinger²⁾ hat unter der Annahme, daß die Kernschwingung der Molekel als eine harmonische behandelt werden darf, die nach der Bohrschen Theorie zu erwartenden Frequenzen abgeleitet. Dabei findet er als Hauptresultat die Folge äquidistanter (oder annähernd äquidistanter) Linien, die Bjerrum auf ganz anderem Wege gefunden hatte, wieder. Des Genaueren findet Heurlinger, daß die Kernschwingungsfrequenz, der sich die Rotationsfrequenzen überlagern, nicht konstant ist, sondern sich mit dem Quadrat der Rotationsquantenzahl m zu größeren Werten der Frequenz verschiebt. Zu den gleichen Ergebnissen kam der Verfasser in seiner Münchener Dissertation, wo er die Theorie an den Messungen von Frl. v. Bahr bei HCl prüfte. Dabei zeigte sich die überraschende Tatsache, daß diese Kernschwingungsfrequenz entgegen der theoretischen Forderung sich mit m nach kleineren Frequenzen verschiebt, wobei die Abnahme wieder mit m^2 proportional war. Dieses Resultat wurde inzwischen durch neue, wesentlich genauere Messungen von E. S. Imes³⁾ bestätigt. Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist, diese Erscheinung theoretisch aus der Tatsache, daß das Molekül bei den in Betracht kommenden Amplituden nicht mehr als harmonischer, sondern als anharmonischer Oszillator zu betrachten ist, zu verstehen⁴⁾.

¹⁾ Nernst-Festschrift, Halle 1912, S. 90.

²⁾ ZS. f. Phys. 1, 82, 1920.

³⁾ Astrophys. Journ. 50, 251, 1919.

⁴⁾ Eine Arbeit von Kemble (Phys. Rev. 15, 95, 1920), die dem Verfasser erst nach Fertigstellung dieser Arbeit bekannt wurde, benutzt den gleichen Gedanken, macht aber von der Bohrschen Theorie nur teilweise Gebrauch.

Titelblatt der Arbeit über die Rotationsspektren

In dieser Arbeit betrachtete er zweiatomige Moleküle, die einerseits rotieren und bei denen andererseits Kernschwingungen auftreten, wobei die Schwingungen wegen der Wechselwirkung zwischen Rotation und Kernschwingung nicht harmonisch sind (*anharmonischer rotierender Oszillator*). Das allgemeine Kraftgesetz für ein solches Dipolmolekül ist dann

$$\mathcal{K}(\rho) = -\frac{U_0}{r_0} \left(\frac{1}{\rho^2} + \frac{\beta}{\rho^3} + \frac{\gamma}{\rho^4} + \dots \right),$$

wobei $\rho = r/r_0$ das Verhältnis des veränderlichen Kernabstands r zum Kernabstand r_0 in der Gleichgewichtslage des ruhenden Moleküls bedeutet und U_0, β, γ Konstante sind. Durch geeignete Umrechnung lässt sich das zugehörige *Potential* in der Form

$$\Phi(\rho) = U_0 \kappa \left(\alpha + \frac{1}{\rho} - \frac{1}{2\rho^2} + c_3(\rho-1)^3 + c_4(\rho-1)^4 + \dots \right)$$

darstellen. Die Bedeutung der Konstanten κ und α sowie der Entwicklungskoeffizienten c_3, c_4, \dots ergibt sich dabei aus der Ionisierungsarbeit $\Phi(1)$ und den Ableitungen von Φ an der Stelle $\rho = 1$; U_0 wäre die potentielle Energie bei Coulombscher Anziehung. Aus der Hamilton-Jacobischen Differentialgleichung des rotierenden Oszillators lassen sich dann bei Berücksichtigung der (Oszillations- und Rotations-) Quantenbedingungen und der Bohrschen Frequenzbedingung die ultraroten Rotationsschwingungsbanden bestimmen. Diese theoretischen Resultate überprüfte Adolf Kratzer anschließend anhand der bereits im Jahr 1919 von E. S. Imes durchgeführten Beobachtungen der Halogenwasserstoffe HF, HCl und HBr – es ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung.

Adolf Kratzer selbst fasste den Inhalt dieser Arbeit folgendermaßen zusammen:

1. Es wird wahrscheinlich gemacht, daß die bei den Rotations-
schwingungsbanden ausfallende Linie in der Bandenmitte dem Ro-
tationsquantensprung $1 \rightarrow 0$ bei Emission, $0 \rightarrow 1$ bei Absorption zu-
zuordnen ist.

2. Es wird die Energie einer rotierenden und zugleich schwin-
genden Molekel bei einem allgemeinen Kraftgesetze zwischen den
Kernen (anharmonischer Oszillator) durch die Quantenzahlen der Ro-
tation und Schwingung ausgedrückt.

3. Der so gewonnene Ausdruck für die Energie wird nach der
Bohrschen Frequenzbedingung zur Aufstellung einer Serienformel
für die ultraroten Rotationsschwingungsbanden benutzt. Diese wird
an den Messungen von Imes an HF, HCl und HBr geprüft. Es
ergibt sich Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung.

4. Es wird die Vermutung ausgesprochen, daß auch ein Quanten-
sprung $1 \rightarrow 2$ der Oszillation von Imes beobachtet ist.

5. Es werden die Trägheitsmomente und Kernabstände der Ha-
logenwasserstoffe berechnet.

2.2 Physik-Assistent von David Hilbert

Neben dem Aufbau seiner exzellenten Arbeitsgruppe “lieh” Sommerfeld seinem berühmten akademischen Lehrer und Kollegen, dem Mathematiker David Hilbert (1862 – 1943) für dessen Arbeit über Grundlagenprobleme der Physik²⁸ befähigte Mitarbeiter als persönliche Assistenten (für Physik) aus. So waren Paul Peter Ewald (1888 – 1985, Promotion 1912) im Jahr 1912 und Alfred Landé (1888 – 1976, Promotion 1914) im Jahre 1913 als Physik-Assistenten bei Hilbert gewesen.



Prof. Dr. David Hilbert²⁹
(1862 – 1943)

²⁸Hilbert wird der Ausspruch zugeschrieben: “Die Physik ist für die Physiker eigentlich viel zu schwer”.

²⁹Leben und Wirken von David Hilbert (23. Januar 1862 – 14. Februar 1943) beschreibt und würdigt Constance Reid in der ausführlichen Biographie “Hilbert”, Springer-Verlag, Berlin u. a. 1970; vgl. auch den Wikipedia-Artikel “David Hilbert”.

Neben etlichen fundamentalen Ergebnissen in der algebraischen Geometrie, der Zahlentheorie, der Geometrie, der Analysis und in der mathematischen Logik hat Hilbert auch wichtige Resultate zur mathematischen Physik geliefert: Seine Arbeiten zu Funktionenräumen (“Hilbert-Raum”) und zu partiellen Differentialgleichungen gehören zu den Grundlagen der mathematischen Physik.

Am 20. November 1915 – fünf Tage vor Einstein – hat Hilbert eine Arbeit zur allgemeinen Relativitätstheorie eingereicht, deren Resultate äquivalent zu denen von Einstein waren; diese Arbeit erschien jedoch erst später als diejenige von Einstein. Dennoch hat Hilbert niemals die Urheberschaft für diese fundamentale Theorie für sich beansprucht.

Im Jahre 1920 wurde nun Adolf Kratzer zu Hilbert nach Göttingen “geschickt”: In der Zeit vom 1. April 1920 bis zum 31. März 1921 war er außerplanmäßiger Assistent am Mathematischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen.

Eine konkrete Aufgabe, die Adolf Kratzer als Assistent in Göttingen zu erledigen hatte, war die Ausarbeitung der Vorlesung

“Mechanik und neue Gravitationstheorie”,

die Hilbert im Sommersemester 1920 hielt.³⁰

³⁰Von dieser Ausarbeitung scheint es noch zwei Exemplare zu geben – eines im Schrank der Bibliothek des Mathematischen Instituts der Universität Göttingen (Nr. 16205) und eines im Magazin der Universitäts- und Landesbibliothek Münster (Nr. 3B2244).

I n n a l t.

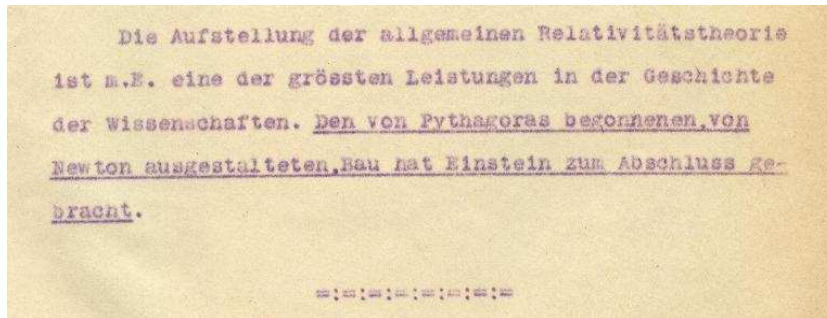
| | | |
|-------------|--|------------|
| I. Kapitel. | Variationsrechnung. | S. 1 - 45. |
| § 1. | Das Variationsproblem bei <u>einer</u> gesuchten Funktion | S. 1 |
| § 2. | Die Ueberführung in äquivalente Variationsprobleme | S. 4 |
| § 3. | Das p-Feld | S. 6 |
| § 4. | Das Unabhängigkeitsintegral | S. 10 |
| § 5. | Die Hamilton-Jacobische partielle Differentialgleichung | S. 13 |
| § 6. | Das Unabhängigkeitsintegral bei besonderer Wahl des Feldes | S. 14 |
| § 7. | Allgemeine Bestimmung des p-Feldes | S. 16 |
| § 8. | Der Wert des Unabhängigkeitsintegrals | S. 19 |
| § 9. | Die Bedeutung des Unabhängigkeitsintegrals für die Integration der Lagrangeschen Gleichung | S. 20 |
| § 10. | Zusammenhang mit der Mongeschen Theorie | S. 23 |
| § 11. | Das kanonische Variationsproblem | S. 24 |
| § 12. | Die kanonische Transformation | S. 26 |
| § 13. | Das Variationsproblem für 2 gesuchte Funktionen | S. 28 |
| § 14. | Der Unabhängigkeitssatz für 2 Funktionen | S. 29 |
| § 15. | Die Hamiltonsche partielle Differentialgleichung | S. 31 |
| § 16. | Die Integration der Lagrangeschen Gleichungen bei Kenntnis einer partikulären Lösung der Hamiltonschen Gleichung | S. 32 |
| § 17. | Das kanonische Problem für 2 abhängige Variable | S. 33 |
| § 18. | Die kanonische Transformation | S. 35 |

| | | |
|--------------|---|-------------|
| | § 19. Die Verminderung der Zahl der gesuchten Funktionen | S.38 |
| | § 20. Ein beliebiges Integral der Lagrangeschen Gleichungen ist bekannt | S.38 |
| | § 21. Die unabhängige Variable kommt nicht vor | S.40 |
| | § 22. Das Variationsproblem für n Funktionen | S.41 |
| II.Kapitel. | ihre Anwendung: Mechanik. | S.45 - 96. |
| | § 1. Lagrangesche Gleichungen 1.Art. | S.45 |
| | § 2. Generalisierte Koordinaten | S.47 |
| | § 3. Das kanonische Variationsproblem der Mechanik | S.50 |
| | § 4. Zyklische Koordinaten | S.53 |
| | § 5. Beispiel: Spharisches Pendel | S.57 |
| | § 6. Das Jacobische Prinzip | S.59 |
| | § 7. Die Hamilton-Jacobische Theorie | S.63 |
| | § 8. Beispiele zur Jacobi-Hamiltonschen Theorie | S.69 |
| | § 9. Die Librationsbewegung | S.76 |
| | § 10. Die Winkelkoordinaten | S.82 |
| | § 11. Beispiel zu den Winkelkoordinaten | S.88 |
| | § 12. Die Quantelung der Librationsbewegung | S.88 |
| III.Kapitel. | Relativitätstheorie. | S.96 - 129. |
| | § 1. Die kleine Relativitätstheorie | S.96 |
| | § 2. Die allgemeine Relativitätstheorie, Gravitation | S.116 |

Inhaltsverzeichnis der Vorlesungsausarbeitung
 "Mechanik und neue Gravitationstheorie"

Dass Hilbert ein Prioritätenstreit mit Einstein wegen der Allgemeinen Relativitätstheorie völlig fern lag, wird am letzten Satz der Vor-

lesungsausarbeitung überdeutlich:



Über die Arbeitsbelastung von Adolf Kratzer und seinem mathematischen “Assistenten”-Kollegen, dem Privatdozenten Isaak Paul Bernays³¹, berichtet die Hilbert-Biographin Constance Reid (l.c., S. 153): “The relative weight of Hilbert’s scientific interests during this period was being gauged by his assistants, Bernays for mathematics and Adolf Kratzer for physics. On the day before a lecture, both men came to Hilbert’s house. As his interest moved from physics back to mathematics, so did the role played by the assistants. ‘In the summer of 1920, he was concerned primarily with problems of atom mechanics’, Kratzer says. ‘His goal here was still axiomati-

³¹Isaak *Paul* Bernays, geb. am 17. Oktober 1888 in London, entstammte einer deutsch-jüdischen Familie; er war Bürger der Stadt Zürich. Nach dem Abitur am Köllner Gymnasium in Berlin studierte er ab 1907 zunächst in Berlin, dann ab 1909 in Göttingen, wo er 1912 mit einer von Edmund Landau betreuten Dissertation promoviert wurde. Von 1912 bis 1917 war er Privatdozent in Zürich. 1919 ging er zurück nach Göttingen, wo er mit David Hilbert über Beweistheorie arbeitete. 1922 wurde er nichtbeamteter außerordentlicher Professor in Göttingen, 1933 jedoch als Jude von den Nationalsozialisten entlassen. Er ging nach Zürich und Princeton; von 1945 bis 1958 war er Professor an der ETH Zürich. Gemeinsam mit Hilbert veröffentlichte er 1934/1939 das von ihm weitgehend allein verfasste zweibändige Werk David Hilbert, Paul Bernays: Grundlagen der Mathematik I/II. Springer-Verlag, Berlin.

Paul Bernays verstarb am 18. September 1977 in Zürich.

zation. Questions were directed to me. I seemed to do most of the talking while Bernays listened. But by the winter of 1920 – 21 his interest had begun to change. Now his chief goal was the formalization of the foundations of mathematics on a logistic basis, and Bernays talked while I listened.’ ”

Die Zeit zu eigener Arbeit, die Adolf Kratzer daraufhin im Wintersemester 1920/21 hatte, nutzte er intensiv: Am 14. Oktober 1920 ging die o. a. Arbeit

Die ultraroten Rotationsspektren der Halogenwasserstoffe

bei der Zeitschrift für Physik ein; sie wurde in Band 3 (1920), 289 – 307, publiziert. Am 28. November 1920 ging seine Arbeit

Eine spektroskopische Bestätigung der Isotopen des Chlors

wiederum bei der Zeitschrift für Physik ein; sie wurde noch in Band 3 (1920), 460 – 465, veröffentlicht. Am 5. März 1921 folgte ein Addendum

Bemerkung zu meiner Mitteilung:

Eine spektroskopische Bestätigung der Isotopen des Chlors,

das in Band 4 (1921), 476, der Zeitschrift für Physik publiziert wurde.

In den beiden letztgenannten Veröffentlichungen wurde der Einfluss der Kernmasse auf die Terme der Linien- und Bandenspektren untersucht. Weil sich Isotopen (abgesehen natürlich von Radioaktivität) in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften nur aufgrund verschiedener Kernmassen unterscheiden, liefern die o. g. Ergebnisse die Basis für einen optischen Nachweis von Isotopen. Bei den Rotationsschwingungsbanden von Chlorwasserstoff (HCl) ergab sich volle Übereinstimmung zwischen der Theorie und den Messungen von E. S. Imes (Astrophysical Journal 50 (1919), S. 251 ff).

2.3 Assistent bei Arnold Sommerfeld

Im Frühjahr 1921 kehrte Adolf Kratzer aus Göttingen nach München zurück, und er wurde ab dem 1. April 1921 außerplanmäßiger Assistent am Sommerfeldschen Institut für Theoretische Physik der Universität München. Bereits im Juli 1921 habilitierte er sich mit der Schrift “Zur Theorie der Bandenspektren”.

Im Rahmen des Deutschen Physikertages, der vom 18. bis zum 24. September 1921 in Jena stattfand, berichtete Adolf Kratzer über “Die Termdarstellung der Cyanbanden”; dieser Vortrag (mit Diskussion) erschien in der *Physikalischen Zeitschrift* 22 (1921), S. 552 – 555.

Am 15. Oktober 1921 heirateten Adolf Kratzer und Babette Victorine Hackmann, die sich bereits von der Schulzeit her kannten. Die am 29. Juni 1894 in Günzburg geborene Babette Hackmann entstammte einer evangelischen Kaufmannsfamilie: Ihr Vater Jakob Hackmann, geboren am 7. Mai 1856 in Ludwigshafen am Rhein, war Kaufmann in Günzburg; er verstarb am 12. Juni 1924 in Günzburg. Ihre Mutter Barbara Katharina, geb. Blaeß, wurde am 19. März 1858 in Viernheim (in Hessen) geboren; sie verstarb am 24. August 1918 in Günzburg. Jakob und Barbara Hackmann hatten am 15. Mai 1880 in Viernheim geheiratet. Die Großeltern väterlicherseits waren der Kaufmann Jakob Hackmann, geboren am 26. Mai 1830 in Friesenheim, verstorben am 2. Oktober 1872 in Mannheim, und Christine, geb. Geher, die am 22. August 1829 in Mannheim geboren wurde und bereits am 28. Mai 1856 in Ludwigshafen verstarb. Die Großeltern mütterlicherseits waren Johann *Edmund* Blaeß, der am 26. März 1829 in Viernheim geboren wurde und dort am 14. Juni 1901 verstarb, und Maria Veronika, geb. Forver, die am 13. November 1836 in Mannheim geboren wurde und am 29. Januar 1879 in Viernheim verstarb.³²

³²UAMS Bestand 92 Nr. 90.



Babette und Adolf Kratzer

Im Wintersemester 1921/22 hielt Adolf Kratzer seine erste Vorlesung als Privatdozent. Dabei wählte er ein aktuelles und anspruchsvolles

volles Thema – die Relativitätstheorie. Hier konnte er insbesondere auch die Kenntnisse aus seiner Göttinger Assistentenzeit einbringen.

Daneben kümmerte er sich um die Publikation der Ergebnisse aus seiner Habilitationsschrift: Am 28. Januar 1922 reichte er den ersten Teil seiner Schrift unter dem Titel “Die Gesetzmäßigkeiten der Bandensysteme” bei den Annalen der Physik ein. Die umfangreiche Arbeit erschien in Heft 2 des Bandes 372 (1922) auf den Seiten 127 bis 152.

Adolf Kratzer fasste den Inhalt dieser Arbeit wie folgt zusammen:

1. Es wird die theoretische Begründung der Heurlingerschen Formel für die Nulllinien der Bandenserien durch Quantelung des anharmonischen Oszillators vertieft. Die Formel wird für die Sauerstoffbanden und die violetten Cyanbanden zahlenmäßig ausgewertet.
2. Aus der Annahme der anharmonischen Kernschwingungen wird die Abhängigkeit der Konstanten in der Deslandresschen Bandenserienformel von der Oszillationsquantenzahl entwickelt und am Beobachtungsmaterial bestätigt gefunden.
3. Mit Hilfe dieser Abhängigkeit wird das ganze System der Cyanbanden einschließlich der Koeffizienten der Rotationsterme theoretisch gedeutet und vollständig in Anfangs- und Endterm zerlegt. Sämtliche Linien des violetten Cyanbandensystems werden durch eine theoretisch begründete Formel mit neun Konstanten dargestellt.
4. Es wird ein einfacher Weg zur Termdarstellung und Deutung der roten Cyanbanden und Stickstoffbanden gezeigt.

Am 8. Februar 1922 reichte Adolf Kratzer bei der Zeitschrift “Die Naturwissenschaften” einen Diskussionsbeitrag zu einer Zuschrift von W. E. Curtis (Univ. Sheffield) “Die Numerierung der Linien

von Bandenserien” ein, bei der es unter anderem um die Lage der Störungen bei Bandenspektren ging. Dieser Beitrag wurde in Band 10 (1922), 283 – 284, veröffentlicht.

In der Sitzung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München am 4. März 1922 legte Arnold Sommerfeld die Kratzer-sche Arbeit “Störungen und Kombinationsprinzip im System der violetten Cyanbanden” vor. In dieser Arbeit führte Adolf Kratzer aufgrund des vorliegenden Datenmaterials bei Bandenspektren halb-zahlige Quantenzahlen (Laufzahlen) ein³³ und gab eine theoretische Deutung/Begründung für diese “halben Laufzahlen”. Die Ergebnisse fasste er folgendermaßen zusammen:

1. Es wird gezeigt, daß man aus der Verteilung der Störungen in den Cyanbanden darauf schließen muß, daß es sich um Termstörungen des Anfangsterms handelt.
2. Die Deutung der Bandenlinien von Heurlinger ist mit der Feststellung 1) nicht verträglich.
3. Es wird auf Grund theoretischer Überlegungen eine abgeänderte Deutung der Heurlingerschen Formel mit halbzahligen Laufzahlen vorgeschlagen, die mit der Forderung 1) in Einklang ist.
4. Aus der theoretischen Bedeutung der Koeffizienten der Deslandresschen Formel wird mittels der Kombinationsbeziehungen in den Cyanbanden die abgeänderte Formel bestätigt.
5. Es werden weitere Belege für die Notwendigkeit der Verwendung nicht ganzer Laufzahlen aufgeführt.

Diese Arbeit wurde in den Sitzungsberichten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München, Mathematisch-Physikalische Klasse, 1922, S. 107 – 118, publiziert.

³³Zur “Geschichte” halbzahliger Quantenzahlen s. a. David C. Cassidy, l.c., S. 152 – 154.