

# EINFÜHRUNG IN DIE ATOMPHYSIK

VON

PROF. DR. WOLFGANG FINKELNBURG

MIT 195 ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

Karl Ernst Wolfgang Finkelburg  
Bonn/Rhein, 5. 6. 1905

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Copyright 1948 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin, Göttingen Heidelberg 1948  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1948

ISBN 978-3-662-01479-0 ISBN 978-3-662-01478-3 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-01478-3

## Vorwort.

Die Atomphysik oder die Lehre von der Struktur und den auf ihr beruhenden Erscheinungen und Eigenschaften der Materie hat für die gesamte Physik sowie für zahlreiche Zweige der Chemie und Astronomie, der übrigen Naturwissenschaften und neuerdings besonders der Technik, nicht zuletzt aber auch für die Philosophie eine so entscheidende Bedeutung erlangt, daß das Bedürfnis nach einer geschlossenen, alle Gebiete der Mikrophysik einheitlich behandelnden Darstellung immer dringender wurde. Der heute noch an vielen Hochschulen geübte Brauch, die Atomphysik geschlossen höchstens für höhere Semester in mathematischer Form durch den theoretischen Physiker, vom experimentellen Standpunkt aber nur nach Einzelgebieten aufgespalten in Spezialvorlesungen zu behandeln, wird der allgemeinen Bedeutung dieses Gebietes ebensowenig gerecht wie die zahlreichen vorliegenden ausgezeichneten Werke über Atom- und Molekülspektren, Atombau, Molekülphysik, Kernphysik und Quantentheorie, weil alle Einzeldarstellungen die inneren Zusammenhänge zwischen diesen Gebieten zu wenig deutlich werden lassen und damit vor allem dem Nicht-Physiker den Zugang zur Atomphysik in unnötiger Weise erschweren. Im Gegensatz dazu ist das vorliegende Buch aus einer dreisemestrig-zweistündigen Einführungsvorlesung in die gesamte Atomphysik hervorgewachsen, die der Verfasser während mehr als zehn Jahren in Karlsruhe, Darmstadt und Straßburg vor einem immer wachsenden Kreis von Physikern und Chemikern, aber auch von Elektrotechnikern und Vertretern der übrigen technischen sowie der biologisch-medizinischen Fächer gehalten hat. An diesen weiten Interessentenkreis richtet sich das Buch. Es will in möglichst einfacher Form, aber unter Wahrung der physikalischen Exaktheit, ein anschauliches Verständnis der Grundprobleme und Ergebnisse aller Gebiete der Atomphysik vermitteln und dabei Experiment und theoretische Deutung in gleicher Weise zu ihrem Recht kommen lassen.

Das Buch will aber ausgesprochen eine *Einführung* in die Atomphysik sein. Letzte Vollständigkeit und exakte Beweisführung, die übrigens gerade bei der Atomphysik oft nur mit großem theoretisch-mathematischem Aufwand möglich ist, mußten daher gelegentlich zurücktreten gegenüber einer das Wesentliche scharf betonenden und die inneren Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Erscheinungen und Gebieten deutlich hervorhebenden Darstellung. Quantitative theoretische Rechnungen mit großem mathematischem Aufwand sind in der atomphysikalischen *Forschung* oft unentbehrlich, und erst die exakte quantenmechanische Rechnung kann die Sicherheit geben, daß anschaulich erschlossene Ergebnisse wirklich richtig sind. Trotzdem ist gerade in der Atomphysik erfahrungsgemäß eine anschauliche Vorstellung die beste Voraussetzung zum tieferen Eindringen in die schwierigere und besonders auch in die theoretische Literatur, in der sonst der rote Faden nur zu leicht verloren geht. Diese Voraussetzung will das Buch vermitteln. Da in ihm zudem keine wichtige Erscheinung der Atomphysik unberücksichtigt bleibt, soll und wird das gründliche Durcharbeiten des Buches den Leser zum Verständnis der Spezial- und Original-Literatur befähigen und ihm damit die Grundlage zu späterer eigener Arbeit geben. Um ein Weiterstudium zu erleichtern, wird hinter jedem Kapitel die Literatur für dieses wie auch für einzelne Abschnitte gesondert angegeben.

Dieses Buch, das Herrn Geheimrat Prof. Dr. A. SOMMERFELD in herzlicher Verehrung zum 80. Geburtstag am 6. 12. 1948 gewidmet sei, ist aus Freude an der

Atomphysik geschrieben. Sein vornehmstes Ziel ist es daher, auch Interesse und Freude an der Atomphysik zu wecken. Das Buch will dem Leser daher in erster Linie nicht handbuchmäßiges Wissen vermitteln, sondern ihm die inneren Entwicklungslinien der Forschung aufzeigen, ihn damit bis an die Grenzen unserer heutigen Kenntnis heranführen und ihn dabei etwas vom Reiz und Zauber physikalischer Forschungsarbeit spüren lassen.

Den Herren Dr. K. H. HÖCKER, Dr. F. RENNER und G. VON GIERKE ist der Verfasser für ihre Hilfe bei den Korrekturen und für manchen wertvollen Hinweis zu Dank verpflichtet. Auch für weitere Hinweise auf Irrtümer und Verbesserungsmöglichkeiten wird er stets dankbar sein. Für die trotz riesiger Schwierigkeiten möglich gemachte schnelle und gediegen ausgeführte Drucklegung sei dem Springer-Verlag und der C. H. Beck'schen Buchdruckerei besonders gedankt.

Z. Z. Nördlingen (Bayern), Sommer 1947.  
Oskar-Mayer-Str. 10

**Wolfgang Finkelburg**

# Inhaltsverzeichnis.

## I. Einleitung.

1. Die Bedeutung der Atomphysik für Wissenschaft und Technik . . . . .	1
2. Die Methodik der atomphysikalischen Forschung . . . . .	3
3. Schwierigkeit, Gliederung und Darstellung der Atomphysik . . . . .	5
Literatur . . . . .	7

## II. Atome, Ionen, Elektronen, Atomkerne.

1. Belege für die Atomistik der Materie und der Elektrizität . . . . .	8
2. Masse, Größe und Zahl der Atome. Das Periodische System der Elemente . . . . .	9
a) Atomgewicht und Periodisches System . . . . .	9
b) Die Bestimmung der LOSCHMIDTSchen Zahl und der absoluten Atommassen . . . . .	12
c) Die Größe der Atome . . . . .	14
3. Belege für den Aufbau der Atome aus Kern und Elektronenhülle. Allgemeines über Atommodelle . . . . .	17
4. Freie Elektronen und Ionen . . . . .	21
a) Die Erzeugung freier Elektronen . . . . .	22
b) Die Bestimmung von Ladung und Masse des Elektrons . . . . .	24
c) Anwendungen des freien Elektrons. Elektronengeräte . . . . .	28
d) Freie Ionen . . . . .	31
5. Überblick über den Aufbau der Atomkerne . . . . .	32
6. Die Isotopie . . . . .	33
a) Entdeckung der Isotopie und Bedeutung für die Atomgewichte . . . . .	33
b) Deutung und Eigenschaften der Isotope . . . . .	34
c) Die Bestimmung der Massen und relativen Häufigkeiten von Isotopen . . . . .	35
d) Die Verfahren der Isotopentrennung . . . . .	40
Literatur . . . . .	47

## III. Atomspektren und Atombau.

1. Aufnahme, Auswertung und Einteilung von Spektren . . . . .	48
a) Spektralapparate und ihre Anwendung in verschiedenen Spektralgebieten . . . . .	48
b) Emissions- und Absorptionsspektren . . . . .	53
c) Wellenlängen- und Intensitätsmessungen . . . . .	55
d) Linien, Banden, kontinuierliche Spektren . . . . .	56
2. Serienformeln und Termdarstellung von Linienspektren . . . . .	57
3. Die Grundvorstellungen und Postulate der BOHRschen Atomtheorie . . . . .	60
4. Die Anregung von Quantensprüngen durch Stöße . . . . .	64
5. Das Wasserstoffatom und seine Spektren nach der BOHRschen Theorie . . . . .	70
6. Atomvorgänge und ihre Umkehrung. Ionisation und Wiedervereinigung. Kontinuierliche Atomspektren und ihre Deutung . . . . .	76
a) Stöße erster und zweiter Art und ihre Folgeprozesse. Emission und Absorption . . . . .	76
b) Stoßionisation und Dreierstoß-Rekombination . . . . .	77
c) Photoionisation und Seriegrenzkontinuum in Absorption . . . . .	78
d) Strahlungsrekombination und Seriegrenzkontinuum in Emission . . . . .	80
e) Elektronenbremsstrahlung . . . . .	81

7. Die Spektren der wasserstoffähnlichen Ionen und der spektroskopische Verschiebungssatz . . . . .	83
8. Die Röntgenspektren, ihre atomtheoretische Deutung und ihr Zusammenhang mit den optischen Spektren . . . . .	87
a) Elektronenschalenaufbau und Röntgenspektren . . . . .	87
b) Der Mechanismus der Röntgenlinienemission . . . . .	88
c) Die Röntgenabsorptionsspektren . . . . .	90
d) Die Feinstruktur der Röntgenspektren und Absorptionskanten . . . . .	91
9. Die Spektren der Alkaliatome und ihre Deutung. Termfolgen . . . . .	94
10. Die Spektren der Mehrelektronenatome und ihre Termsymbole. Multiplizitätssysteme und Mehrfachanregung . . . . .	100
11. Metastabile Zustände . . . . .	105
12. Der Elektronenspin und die Systematik der Atomzustände (Die Theorie der Multipletts) . . . . .	108
13. Die atomtheoretische Deutung der magnetischen Eigenschaften der Atome . . . . .	116
14. Atome im elektrischen und magnetischen Feld. Richtungsquantelung und Orientierungsquantenzahl . . . . .	119
a) Richtungsquantelung und STERN-GERLACH-Versuch . . . . .	119
b) Der normale ZEEMAN-Effekt der Singulett-Atome . . . . .	121
c) Der anomale ZEEMAN-Effekt und der PASCHEN-BACK-Effekt der Nicht-Singulett-Atome . . . . .	122
d) Der Starkeffekt . . . . .	124
15. Korrespondenzprinzip und Linienintensitäten . . . . .	126
16. Die atomtheoretische Erklärung des Periodischen Systems der Elemente . . . . .	129
17. Die Hyperfeinstruktur der Atomlinien. Isotopie-Effekte und Einfluß des Kernspins . . . . .	139
18. Die natürliche Breite der Spektrallinien und ihre Beeinflussung durch innere und äußere Störungen . . . . .	142
Literatur . . . . .	145

#### IV. Die quantenmechanische Atomtheorie.

1. Der Übergang von der BOHRschen zur quantenmechanischen Atomtheorie . . . . .	146
2. Der Welle-Teilchen-Dualismus beim Licht und bei der Materie . . . . .	148
3. Die HEISENBERGsche Unbestimmtheitsbeziehung . . . . .	152
4. DE BROGLIES Materiewellen und ihre Bedeutung für die BOHRsche Atomtheorie . . . . .	156
5. Die Grundgleichungen der Wellenmechanik. Eigenwerte und Eigenfunktionen. Die Matrizenmechanik und ihr Verhältnis zur Wellenmechanik . . . . .	159
6. Die Bedeutung der wellenmechanischen Ausdrücke, Eigenfunktionen und Quantenzahlen. Spektrale Intensität und Übergangswahrscheinlichkeit . . . . .	163
7. Beispiele für die wellenmechanische Behandlung atomarer Systeme . . . . .	167
a) Der Rotator mit starrer Achse . . . . .	168
b) Der lineare harmonische Oszillator . . . . .	169
c) Das H-Atom . . . . .	171
8. Wechselwirkung gekoppelter atomarer Systeme. Austauschresonanz und Austauschenergie . . . . .	176
9. Der quantenmechanische Tunneleffekt (Der Durchgang durch einen Potentialwall) . . . . .	181
10. Die FERMISCHE Quantenstatistik . . . . .	183
11. Leistungen, Grenzen und philosophische Bedeutung der Quantenmechanik . . . . .	185
Literatur . . . . .	189

**V. Die Physik der Atomkerne.**

1. Die Kernphysik im Rahmen der allgemeinen Atomphysik . . . . .	190
2. Experimentelle Methoden der Atomkernforschung . . . . .	191
a) Nachweismethoden für Kernvorgänge . . . . .	191
b) Kerngeschosse und ihre Beschleunigung . . . . .	194
3. Allgemeine Eigenschaften und Aufbau der Atomkerne. Massendefekt und Bindungsenergie . . . . .	199
a) Die allgemeinen Eigenschaften der Atomkerne . . . . .	199
b) Allgemeines über Aufbau und Bindungsenergie der Atomkerne . . . . .	202
4. Natürliche und künstliche Radioaktivität und aus ihr erschlossene Kernvorgänge	203
a) Allgemeines . . . . .	203
b) Die Erklärung der $\gamma$ -Strahlung . . . . .	205
c) Die Erklärung des $\alpha$ -Zerfalls . . . . .	206
d) Die Erklärung des $\beta$ -Zerfalls . . . . .	207
e) Die künstliche Radioaktivität . . . . .	209
5. Allgemeines über erzwungene Kernumwandlungen und ihren Ablauf . . . . .	209
6. Erzeugung, Eigenschaften und Nachweis des Neutrons . . . . .	215
7. Die Ausbeute erzwungener Kernumwandlungen . . . . .	217
8. Die Uranspaltung . . . . .	219
9. Thermische Kernreaktionen bei höchsten Temperaturen im Innern der Sterne. Die Frage nach der Entstehung der Elemente . . . . .	222
10. Anwendungen der Kernphysik, insbesondere der künstlichen Kernumwandlungen	225
11. Aufbau und Systematik der Atomkerne . . . . .	227
12. Stoßvorgänge höchster Energie bei der Höhenstrahlung . . . . .	231
a) Stoßvorgänge schneller Elektronen . . . . .	231
b) Das Meson, sein Verhalten und seine Stoßprozesse . . . . .	233
c) Stöße schneller Protonen und Neutronen . . . . .	236
13. Kernkräfte und Theorie der Elementarteilchen . . . . .	237
14. Das Problem der universellen Naturkonstanten . . . . .	241
Literatur . . . . .	243

**VI. Physik der Moleküle.**

1. Ziel der Molekülphysik und Zusammenhang mit der Chemie . . . . .	244
2. Methoden der Molekülforschung . . . . .	245
3. Allgemeines über Aufbau, Struktur und Bedeutung von Molekülspektren . . . . .	250
4. Die Systematik der Elektronenterme zweiatomiger Moleküle . . . . .	252
5. Schwingung und Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle . . . . .	257
a) Schwingungsterme und Potentialkurvenschema . . . . .	257
b) Schwingungszustandsänderungen und ultrarote Schwingungsbanden . . . . .	259
c) Das FRANK-CONDON-Prinzip als Übergangsregel für gleichzeitigen Elektronen- und Schwingungsquantensprung . . . . .	260
d) Der Aufbau eines Elektronenbandensystems. Kantenschema und Kantenformeln	263
6. Zerfall und Bildung zweiatomiger Moleküle und ihr Zusammenhang mit den kontinuierlichen Molekülspektren . . . . .	265
a) Moleküldissoziation und Bestimmung der Dissoziationsenergie. . . . .	265
b) Die Prädissoziation . . . . .	268
c) Die Vorgänge bei der Molekülbildung aus Atomen . . . . .	269

7. Grenzen des Molekülbegriffs. VAN DER WAALS-Moleküle und Stoßpaare . . . .	271
8. Die Molekülrotation und die Ermittlung von Trägheitsmomenten und Kern- abständen aus der Rotationsstruktur der Spektren zweiatomiger Moleküle . . .	274
a) Rotationstermschema und ultrarotes Rotationsspektrum . . . . .	274
b) Das Rotations-schwingungsspektrum . . . . .	275
c) Die Rotationsstruktur der normalen Elektronenbande . . . . .	276
d) Der Einfluß des Elektronensprungs auf die Rotationsstruktur . . . . .	279
e) Der Einfluß des Kernspins auf die Rotationsstruktur symmetrischer Moleküle. Ortho- und Parawasserstoff . . . . .	279
9. Bandenintensitäten und bandenspektroskopische Temperaturbestimmung . . .	280
10. Isotopiemessungen an Molekülspektren . . . . .	282
11. Überblick über Spektren und Bau vielatomiger Moleküle . . . . .	283
a) Elektronenanregung und Ionisation mehratomiger Moleküle . . . . .	284
b) Rotationsstruktur und Trägheitsmomente mehratomiger Moleküle . . . . .	286
c) Schwingung und Dissoziation mehratomiger Moleküle . . . . .	287
12. Die physikalische Erklärung der chemischen Bindung . . . . .	290
Literatur . . . . .	296

## VII. Der flüssige und feste Zustand der Materie vom Standpunkt der Atomphysik.

1. Allgemeines über die Struktur des flüssigen und des festen Zustands der Materie	296
2. Ideale und reale Kristalle. Strukturempfindliche und strukturunempfindliche Kristalleigenschaften . . . . .	299
3. Der Kristall als Makromolekül. Ionengitter, Atomgitter und Molekülgitter . . .	300
4. Kristallsysteme und Strukturanalyse . . . . .	301
5. Gitterenergie, Elastizität, Kompressibilität und Wärmeausdehnung von Ionen- kristallen . . . . .	303
6. Überblick über Bindung und Eigenschaften des metallischen Zustands . . . . .	306
7. Kristallschwingungen und die Ermittlung ihrer Frequenzen aus Ultrarotspektrum und Ramaneffekt . . . . .	308
8. Elektronenanordnung und Elektronensprungspektren im Kristall. Das Energie- bändermodell . . . . .	310
9. Besetzte und nicht vollbesetzte Energiebänder im Kristall. Isolator und elektri- scher Leiter im Energiebändermodell . . . . .	313
10. Das Potentialtopfmodell des Metalls. Austrittsarbeit, Glühemission, Feldemission, Berührungsspannung . . . . .	315
11. Ferromagnetismus als Kristalleigenschaft . . . . .	319
12. Gitterfehler, Diffusion und Ionenwanderung in Kristallen . . . . .	322
13. Elektronenleitung und innerer Photoeffekt in Halbleiterkristallen . . . . .	323
14. Absorption und Elektronenwanderung in Halogenidkristallen. Der photographische Elementarprozeß . . . . .	325
15. Die Lumineszenz von Kristallphosphoren . . . . .	328
16. Stoßvorgänge an festen Oberflächen . . . . .	331
Literatur . . . . .	333
Tabelle der für die Atomphysik wichtigsten Konstanten und Beziehungen . . .	333
Sachverzeichnis . . . . .	334