

# EINFÜHRUNG IN DIE ATOMPHYSIK

VON

WOLFGANG FINKELNBURG

ZWEITE, UMGEARBEITETE UND ERWEITERTE AUFLAGE

MIT 250 ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

ISBN 978-3-662-01397-7 ISBN 978-3-662-01396-0 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-01396-0

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG IN FREMDE SPRACHEN,  
VORBEHALTEN. COPYRIGHT 1948 AND 1951 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG  
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG 1951  
SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 2ND EDITION 1951

*DEM ANDENKEN MEINES VATERS*

*PROFESSOR DR. MED. RUDOLF FINKELNBURG*

*GESTORBEN IN BONN*

*WO ER LEHRTE UND BIS ZUR LETZTEN STUNDE ÄRZTLICH WIRKTE*

*AM 10. JUNI 1950 KURZ VOR VOLLENDUNG*

*SEINES 80. LEBENSJAHRES*

## Vorwort zur ersten Auflage.

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 Interessenkreis 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 verlorenght. 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 5. 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 heranzuführen 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

WOLFGANG FINKELNBURG

## Vorwort zur zweiten Auflage.

Die überaus freundliche Beurteilung, die die erste Auflage dieses Buches sowie die inzwischen im Verlage McGraw-Hill in New York erschienene verbesserte englische Auflage gefunden haben, bedeutet für den Verfasser die Verpflichtung, die ihm bewußt gewordenen Mängel der Darstellung nach Möglichkeit zu beseitigen und das Buch auf dem neuesten Stand unserer Kenntnis zu halten. Dies erscheint um so notwendiger, als das stürmische Tempo der atomphysikalischen Forschung in keiner Weise nachgelassen hat, ja in der Kernphysik, der Höhenstrahlphysik und der Festkörperphysik sich in den letzten Jahren noch verschärft hat.

Die Kapitel V (Kernphysik) und VII (Festkörper-Atomphysik) sind daher weitgehend umgeschrieben, und die Darstellung ist im übrigen ganz allgemeinklarer gefaßt und in zahlreichen Einzelheiten ergänzt und korrigiert worden. Dem Kapitel II wurde ein Abschnitt über Photonen angefügt. In Kapitel III wurde dem Abschnitt über Spektroskopie eine kurze Diskussion der neuen Hochfrequenzspektroskopie eingefügt, die Darstellung des Atommagnetismus verbessert und die Abweichung des Elektronenmoments vom BOHRschen Magneton mit ihren Konsequenzen erwähnt. In Kapitel IV wurde der Abschnitt über die FERMI-Statistik durch Behandlung der BOSE-Statistik (im Zusammenhang mit dem Helium II-Problem) ergänzt und auf die tiefere physikalische Bedeutung der beiden Theorien eingegangen. Der Abschnitt über die philosophische Bedeutung der Quantenmechanik wurde unter Benutzung REICHENBACHScher Ideen erweitert und klarer gefaßt. Im Kernphysik-Kapitel V wurden bei den Meßgeräten der Kristallzähler und das Szintilloskop eingefügt und die Besprechung der Beschleunigungsmaschinen durch eine Behandlung des linearen Beschleunigers, des Elektronen-Cyklotrons, des Elektronen-Synchrotrons und der riesigen, auf dem Synchrotron-Prinzip beruhenden Protonenbeschleuniger (Bevatron bzw. Kosmotron) erweitert. Die neuen radioaktiven Reihen wurden eingefügt, der Abschnitt über Kernspaltung erweitert und verbessert, die Wasserstoffbombe erwähnt, ein Abschnitt über Energieniveauschemata von Atomkernen eingefügt und das Problem der Nukleonen-Quantenzahlen kurz diskutiert. Im Zusammenhang mit der Erzeugung und Zerstrahlung von Elektronenpaaren wurde die DIRACsche Löchertheorie eingeführt. Die Höhenstrahlphysik wurde unter Berücksichtigung der aufregenden Entdeckungen auf dem Mesonengebiet neu geschrieben und das Problem der Elementarteilchen als das Zentralproblem der gegenwärtigen Atomphysik gekennzeichnet. In Kapitel VI wurde die BRAGGSche Methode zur Ermittlung von Molekülstrukturen und eine Diskussion der neuen KOSSELSchen Überlegungen zur Theorie der homöopolaren Bindung eingefügt. In Kapitel VII schließlich wurde die Behandlung der metallischen Bindung verbessert, das Energiebändermodell theoretisch besser begründet, der Mechanismus der elektrischen Leitung etwas ausführlicher diskutiert und ein Abschnitt über Supraleitung eingefügt. Der Besprechung des Ferromagnetismus wurde eine solche des Antiferromagnetismus angefügt. Die Abschnitte über Festkörperdiffusion, über die F-Zentren, über die Photoleitung und über Phosphoreszenz wurden völlig neu geschrieben, desgleichen die entsprechend ihrem stürmischen Fortschritt erweiterte Halbleiterphysik. Als besonders hübsche Anwendung wurde hier auf den Transistor hingewiesen. Die den einzelnen Kapiteln folgenden Literaturhinweise wurden unter Heranziehung auch der wichtigsten ausländischen Buchliteratur erwei-

tert, doch wurde zwecks Wahrung des Charakters des Buches auf Einzelzitate wieder verzichtet. Alle bis Frühjahr 1950 veröffentlichten Ergebnisse wurden, soweit sie in den Rahmen des Buches passen, berücksichtigt.

Der Verfasser ist zahlreichen Kollegen und ihren Instituten für die Überlassung von Abbildungen für dieses Buch zu Dank verbunden; entsprechende Hinweise werden in den Abbildungsunterschriften gegeben. Sein Dank gilt ferner einer Anzahl von Kollegen und Studenten, besonders den Herren Prof. Dr. W. KOSSEL, Dr. HEINZ RAU, Prof. Dr. W. RIEZLER und Dr. WILHELM SCHMIDT, die ihn auf Irrtümer und Druckfehler der ersten Auflage aufmerksam gemacht haben. Für solche Hinweise wird der Verfasser auch in Zukunft stets dankbar sein. Sein Dank gilt schließlich seinem früheren Mitarbeiter B. OFTRING für wertvolle Hinweise und Hilfe bei den Korrekturen sowie dem Verlag und der Druckerei für die muster-gültige Ausführung des Buches.

Z. Z. Fort Belvoir, Virginia, USA, Sommer 1950

WOLFGANG FINKELNBURG

# 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, Photonen.

1. Belege für die Atomistik der Materie und der Elektrizität . . . . .	8
2. Masse, Größe und Zahl der Atome. Das Periodische System der Elemente . . . . .	10
a) Atomgewicht und Periodisches System . . . . .	10
b) Die Bestimmung der LOSCHMIDTSchen Zahl und der absoluten Atommassen . . . . .	13
c) Die Größe der Atome . . . . .	15
3. Belege für den Aufbau der Atome aus Kern und Elektronenhülle. Allgemeines über Atommodelle . . . . .	18
4. Freie Elektronen und Ionen . . . . .	23
a) Die Erzeugung freier Elektronen . . . . .	23
b) Die Bestimmung von Ladung und Masse des Elektrons . . . . .	26
c) Anwendungen des freien Elektrons. Elektronengeräte . . . . .	30
d) Freie Ionen . . . . .	33
5. Überblick über den Aufbau der Atomkerne . . . . .	35
6. Die Isotopie . . . . .	35
a) Entdeckung der Isotopie und Bedeutung für die Atomgewichte . . . . .	35
b) Deutung und Eigenschaften der Isotope . . . . .	36
c) Die Bestimmung der Massen und relativen Häufigkeiten von Isotopen . . . . .	38
d) Die Verfahren der Isotopentrennung . . . . .	43
7. Photonen . . . . .	51
Literatur . . . . .	54

## III. Atomspektren und Atombau.

1. Aufnahme, Auswertung und Einteilung von Spektren . . . . .	55
a) Spektralapparate und ihre Anwendung in verschiedenen Spektralgebieten . . . . .	55
b) Emissions- und Absorptionsspektren . . . . .	60
c) Wellenlängen- und Intensitätsmessungen . . . . .	62
d) Linien, Banden, kontinuierliche Spektren . . . . .	64
2. Serienformeln und Termdarstellung von Linienspektren . . . . .	65
3. Die Grundvorstellungen und Postulate der BOHRschen Atomtheorie . . . . .	68
4. Die Anregung von Quantensprüngen durch Stöße . . . . .	72
5. Das Wasserstoffatom und seine Spektren nach der BOHRschen Theorie . . . . .	77
6. Atomvorgänge und ihre Umkehrung. Ionisation und Wiedervereinigung. Kontinuierliche Atomspektren und ihre Deutung . . . . .	84
a) Stöße erster und zweiter Art und ihre Folgeprozesse. Emission und Absorption . . . . .	84
b) Stoßionisation und Dreierstoß-Rekombination . . . . .	85



c) Photoionisation und Seriegrenzkontinuum in Absorption . . . . .	86
d) Strahlungsrekombination und Seriegrenzkontinua in Emission . . . . .	88
e) Elektronenbremsstrahlung . . . . .	89
7. Die Spektren der wasserstoffähnlichen Ionen und der spektroskopische Verschiebungssatz . . . . .	91
8. Die Röntgenspektren, ihre atomtheoretische Deutung und ihr Zusammenhang mit den optischen Spektren . . . . .	95
a) Elektronenschalenaufbau und Röntgenspektren . . . . .	96
b) Der Mechanismus der Röntgenlinienemission . . . . .	97
c) Die Röntgenabsorptionsspektren . . . . .	98
d) Die Feinstruktur der Röntgenspektren und Absorptionskanten . . . . .	100
9. Die Spektren der Alkaliatome und ihre Deutung, Termfolgen . . . . .	102
10. Die Spektren der Mehrelektronenatome und ihre Termsymbole, Multiplizitätssysteme und Mehrfachanregung . . . . .	109
11. Metastabile Zustände . . . . .	115
12. Der Elektronenspin und die Systematik der Atomzustände (Die Theorie der Multipletts) . . . . .	117
13. Die atomtheoretische Deutung der magnetischen Eigenschaften der Atome . . . . .	126
14. Atome im elektrischen und magnetischen Feld, Richtungsquantelung und Orientierungsquantenzahl . . . . .	130
a) Richtungsquantelung und STERN-GERLACH-Versuch . . . . .	131
b) Der normale ZEEMAN-Effekt der Singulett-Atome . . . . .	132
c) Der anomale ZEEMAN-Effekt und der PASCHEN-BACK-Effekt der Nicht-Singulett-Atome . . . . .	133
d) Der STARK-Effekt . . . . .	135
15. Korrespondenzprinzip und Linienintensitäten . . . . .	137
16. Die atomtheoretische Erklärung des Periodischen Systems der Elemente . . . . .	140
17. Die Hyperfeinstruktur der Atomlinien, Isotopie-Effekte und Einfluß des Kernspins . . . . .	151
18. Die natürliche Breite der Spektrallinien und ihre Beeinflussung durch innere und äußere Störungen . . . . .	154
Literatur . . . . .	158

#### IV. Die quantenmechanische Atomtheorie.

1. Der Übergang von der BOHRschen zur quantenmechanischen Atomtheorie . . . . .	159
2. Der Welle-Teilchen-Dualismus beim Licht und bei der Materie . . . . .	161
3. Die HEISENBERGSche Unbestimmtheitsbeziehung . . . . .	165
4. DE BROGLIES Materiewellen und ihre Bedeutung für die BOHRsche Atomtheorie . . . . .	169
5. Die Grundgleichungen der Wellenmechanik. Eigenwerte und Eigenfunktionen. Die Matrizenmechanik und ihr Verhältnis zur Wellenmechanik . . . . .	172
6. Die Bedeutung der wellenmechanischen Ausdrücke, Eigenfunktionen und Quantenzahlen. Spektrale Intensität und Übergangswahrscheinlichkeit . . . . .	177
7. Beispiele für die wellenmechanische Behandlung atomarer Systeme . . . . .	181
a) Der Rotator mit starrer Achse . . . . .	181
b) Der lineare harmonische Oszillator . . . . .	183
c) Das H-Atom . . . . .	185
8. Wechselwirkung gekoppelter atomarer Systeme. Austauschresonanz und Austauschenergie . . . . .	191
9. Der quantenmechanische Tunneleffekt (Der Durchgang durch einen Potentialwall) . . . . .	196
10. Die Quantenstatistiken nach FERMI und BOSE und ihre physikalische Bedeutung . . . . .	198
11. Leistungen, Grenzen und philosophische Bedeutung der Quantenmechanik . . . . .	202
Literatur . . . . .	208

**V. Die Physik der Atomkerne.**

1. Die Kernphysik im Rahmen der allgemeinen Atomphysik . . . . .	209
2. Experimentelle Nachweismethoden für Kernvorgänge . . . . .	210
3. Die Erzeugung energiereicher Kerngeschosse in Beschleunigungsmaschinen . . . . .	215
4. Allgemeine Eigenschaften der Atomkerne . . . . .	224
5. Allgemeines über Kernaufbau, Massendefekt und Bindungsenergie . . . . .	228
6. Natürliche und künstliche Radioaktivität und aus ihr erschlossene Kernvorgänge . . . . .	231
a) Der natürliche radioaktive Zerfall . . . . .	231
b) Die Erklärung der $\gamma$ -Strahlung . . . . .	233
c) Die Erklärung des $\alpha$ -Zerfalls . . . . .	235
d) Die Erklärung des $\beta$ -Zerfalls und die Existenz des Neutrino . . . . .	237
e) Künstliche Radioaktivität und die Existenz des Positrons . . . . .	238
f) Der K-Effekt . . . . .	239
7. Allgemeines über erzwungene Kernumwandlungen und ihren Ablauf . . . . .	240
8. Erzeugung, Eigenschaften und Nachweis des Neutrons . . . . .	245
9. Die Energiebilanz von Kernprozessen und die Energieniveauschemata von Atomkernen . . . . .	248
10. Die Ausbeute erzwungener Kernumwandlungen . . . . .	252
11. Die Kernspaltung und die neuen Elemente . . . . .	254
12. Die Freimachung von ausnutzbarer Atomenergie . . . . .	258
13. Anwendungen radioaktiver Isotope . . . . .	262
14. Thermische Kernreaktionen bei höchsten Temperaturen im Inneren der Fixsterne und die Frage nach der Entstehung der Elemente . . . . .	263
15. Aufbau und Systematik der Atomkerne . . . . .	268
16. Stoßvorgänge höchster Energie bei der Höhenstrahlung . . . . .	274
17. Stoßprozesse energiereicher Elektronen, Elektronenpaarprozesse und DIRACS Löchertheorie. Kaskadenschauer . . . . .	277
18. Mesonen und ihre Rolle in der Höhenstrahl- und Kernphysik . . . . .	281
19. Kernkräfte und Theorie der Elementarteilchen . . . . .	285
20. Das Problem der universellen Naturkonstanten . . . . .	289
Literatur . . . . .	292

**VI. Physik der Moleküle.**

1. Ziel der Molekülphysik und Zusammenhang mit der Chemie . . . . .	293
2. Methoden der Molekülforschung . . . . .	295
3. Allgemeines über Aufbau, Struktur und Bedeutung von Molekülspektren . . . . .	301
4. Die Systematik der Elektronenterme zweiatomiger Moleküle . . . . .	303
5. Schwingung und Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle . . . . .	308
a) Schwingungsterme und Potentialkurvenschema . . . . .	308
b) Schwingungszustandsänderungen und ultrarote Schwingungsbanden . . . . .	311
c) Das FRANK-CONDON-Prinzip als Übergangsregel für gleichzeitigen Elektronen- und Schwingungsquantensprung . . . . .	312
d) Der Aufbau eines Elektronenbandensystems. Kantenschema und Kantenformeln . . . . .	315
6. Zerfall und Bildung zweiatomiger Moleküle und ihr Zusammenhang mit den kontinuierlichen Molekülspektren . . . . .	317
a) Moleküldissoziation und Bestimmung der Dissoziationsenergie . . . . .	317
b) Die Prädissoziation . . . . .	320
c) Die Vorgänge bei der Molekülbildung aus Atomen . . . . .	321
7. Grenzen des Molekülbegriffs, VAN DER WAALS-Moleküle und Stoßpaare . . . . .	323

8. Die Molekülrotation und die Ermittlung von Trägheitsmomenten und Kernabständen aus der Rotationsstruktur der Spektren zweiatomiger Moleküle . . . . .	326
a) Rotationstermschema und ultrarotes Rotationspektrum . . . . .	326
b) Das Rotationsschwingungsspektrum . . . . .	328
c) Die Rotationsstruktur der normalen Elektronenbande . . . . .	329
d) Der Einfluß des Elektronensprungs auf die Rotationsstruktur . . . . .	332
e) Der Einfluß des Kernspins auf die Rotationsstruktur symmetrischer Moleküle. Ortho- und Parawasserstoff . . . . .	332
9. Bandenintensitäten und bandenspektroskopische Temperaturbestimmung . . . . .	333
10. Isotopiemessungen an Molekülspektren . . . . .	335
11. Überblick über Spektren und Bau vielatomiger Moleküle . . . . .	336
a) Elektronenanregung und Ionisation mehratomiger Moleküle . . . . .	337
b) Rotationsstruktur und Trägheitsmomente mehratomiger Moleküle . . . . .	339
c) Schwingung und Dissoziation mehratomiger Moleküle . . . . .	340
12. Die physikalische Erklärung der chemischen Bindung . . . . .	343
Literatur . . . . .	350

## 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 . . . . .	351
2. Ideale und reale Kristalle. Strukturempfindliche und Strukturunempfindliche Kristalleigenschaften . . . . .	355
3. Der Kristall als Makromolekül. Ionengitter, Atomgitter und Molekülgitter . . . . .	356
4. Kristallsysteme und Strukturanalyse . . . . .	357
5. Gitterenergie, Elastizität, Kompressibilität und Wärmeausdehnung von Ionenkristallen . . . . .	360
6. Überblick über Bindung und Eigenschaften des metallischen Zustands . . . . .	364
7. Kristallschwingungen und die Ermittlung ihrer Frequenzen aus Ultrarotspektrum und RAMAN-Effekt . . . . .	367
8. Elektronenanordnung und Elektronensprungsspektren im Kristall. Das Energiebändermodell . . . . .	368
9. Besetzte und nicht vollbesetzte Energiebänder im Kristall. Isolator und elektrischer Leiter im Energiebändermodell . . . . .	373
10. Das Potentialtopfmodell des Metalls. Austrittsarbeit, Glühemission, Feldemission, Berührungsspannung . . . . .	376
11. Ferromagnetismus als Kristalleigenschaft . . . . .	380
12. Supraleitung . . . . .	384
13. Gitterfehler, Diffusion und Ionenwanderung in Kristallen . . . . .	386
14. Lichtabsorption und Elektronenbewegung in Halogenidkristallen. Der photographische Primärprozeß . . . . .	389
15. Elektronenhalbleitung und verwandte Erscheinungen. Sperrschichten und Gleichrichter-Wirkung. Der Transistor . . . . .	392
16. Innerer Photoeffekt, Photoleitfähigkeit und Photo-EMK in Kristallen . . . . .	396
17. Die Lumineszenz von Kristallphosphoren . . . . .	399
18. Stoßvorgänge an festen Oberflächen . . . . .	403
Literatur . . . . .	405
Tabelle der für die Atomphysik wichtigsten Konstanten und Beziehungen . . . . .	407
Sachverzeichnis . . . . .	408