

# Inhaltsverzeichnis

## I. Einleitung

	Seite
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. Allgemeines über Atome, Ionen, Elektronen, Atomkerne und Photonen

1. Belege für die Atomistik der Materie und der Elektrizität . . . . .	8
2. Masse, Größe und Zahl der Atome. Das Periodensystem der Elemente . . . . .	9
a) Atomgewicht und Periodensystem . . . . .	9
b) Die Bestimmung der AVOGADRO-Konstante und der absoluten Atommassen . . . . .	12
c) Die Größe der Atome . . . . .	13
3. Belege für den Aufbau der Atome aus Kern und Elektronenhülle. Allgemeines über Atommodelle . . . . .	15
4. Freie Elektronen und Ionen . . . . .	19
a) Die Erzeugung freier Elektronen . . . . .	20
b) Die Bestimmung von Ladung und Masse des Elektrons . . . . .	21
c) Anwendungen des freien Elektrons. Elektronengeräte . . . . .	25
d) Freie Ionen . . . . .	28
5. Überblick über den Aufbau der Atomkerne . . . . .	29
6. Die Isotopie . . . . .	30
a) Entdeckung der Isotopie und Bedeutung für die Atomgewichte . . . . .	30
b) Deutung und Eigenschaften der Isotope . . . . .	30
c) Die Bestimmung der Massen und relativen Häufigkeiten von Nukliden. Die Massenspektroskopie . . . . .	32
d) Die Verfahren der Isotopentrennung . . . . .	41
7. Photonen . . . . .	43
Literatur . . . . .	46

## III. Atomspektren und Atombau

1. Aufnahme, Auswertung und Einteilung von Spektren . . . . .	47
a) Methoden der Spektroskopie in den verschiedenen Spektralgebieten . . . . .	47
b) Emissions- und Absorptionsspektren . . . . .	51
c) Wellenlängen und Intensitäten . . . . .	53
d) Linien-, Banden- und kontinuierliche Spektren . . . . .	53
2. Serienformeln und Termdarstellung von Linienspektren . . . . .	54
3. Die Grundvorstellungen der BOHRschen Atomtheorie . . . . .	56
4. Die Anregung von Quantensprüngen durch Stöße . . . . .	60
5. Das Wasserstoffatom und seine Spektren nach der BOHRschen Theorie . . . . .	64
6. Atomvorgänge und ihre Umkehrung. Ionisierung und Wiedervereinigung. Kontinuierliche Atomspektren und ihre Deutung . . . . .	70
a) Stöße erster und zweiter Art und ihre Folgeprozesse. Emission und Absorption . . . . .	70
b) Stoßionisierung und Dreierstoß-Rekombination . . . . .	71

	Seite
c) Photoionisierung und Seriangrenzkontinuum in Absorption. . . . .	72
d) Strahlungsrekombination und Seriangrenzkontinua in Emission . . . . .	73
e) Elektronenbremsstrahlung . . . . .	75
7. Die Spektren der wasserstoffähnlichen Ionen und der spektroskopische Verschiebungssatz . . . . .	76
8. Die Spektren der Alkaliatome und ihre Deutung. Die <i>S</i> -, <i>P</i> -, <i>D</i> -, <i>F</i> -Termfolgen . . . . .	79
9. Der Dublettcharakter der Spektren von Einelektronenatomen und der Einfluß des Elektronenspins . . . . .	86
a) Bahndrehimpuls, Eigendrehimpuls (Spin) und Gesamtdrehimpuls der Einelektronenatome . . . . .	86
b) Die Dublettstruktur der Alkaliatomterme . . . . .	88
c) Dublettcharakter und Feinstruktur der BALMER-Terme des Wasserstoffatoms . . . . .	89
10. Die Röntgenspektren, ihre atomtheoretische Deutung und ihr Zusammenhang mit den optischen Spektren . . . . .	91
a) Elektronenschalenaufbau und Röntgenspektren . . . . .	91
b) Der Mechanismus der Röntgenlinienemission . . . . .	92
c) Die Feinstruktur der Röntgenlinien . . . . .	93
d) Die Röntgenabsorptionsspektren und ihre Kantenstruktur . . . . .	95
11. Allgemeines über die Spektren der Mehrelektronenatome. Multiplizitätssysteme und Mehrfachanregung . . . . .	98
12. Systematik der Terme und Termsymbole bei Mehrelektronenatomen . . . . .	100
13. Der Einfluß des Elektronenspins und die Theorie der Multipletts von Mehrelektronenatomen . . . . .	103
14. Metastabile Zustände und ihre Wirkungen . . . . .	106
15. Die atomtheoretische Deutung der magnetischen Eigenschaften der Elektronen und Atome . . . . .	108
16. Atome im elektrischen und magnetischen Feld. Richtungsquantelung und Orientierungsquantenzahl . . . . .	113
a) Richtungsquantelung und STERN-GERLACH-Versuch . . . . .	114
b) Der normale ZEEMAN-Effekt der Singulettatome . . . . .	115
c) Der anomale ZEEMAN-Effekt und der PASCHEN-BACK-Effekt der Nichtsingulettatome . . . . .	116
d) Der STARK-Effekt . . . . .	118
17. Die Multiplettaufspaltung als magnetischer Wechselwirkungseffekt . . . . .	120
18. PAULI-Prinzip und abgeschlossene Elektronenschalen . . . . .	121
19. Die atomtheoretische Erklärung des Periodensystems der Elemente . . . . .	123
20. Die Hyperfeinstruktur der Atomlinien. Isotopie-Effekte und Einfluß des Kernspins . . . . .	133
21. Die natürliche Breite der Spektrallinien und ihre Beeinflussung durch innere und äußere Störungen . . . . .	135
22. BOHRs Korrespondenzprinzip und das Verhältnis der Quantentheorie zur klassischen Physik . . . . .	139
23. Übergangswahrscheinlichkeiten und Intensitätsfragen. Lebensdauer und Oszillatorenstärke . . . . .	142
24. Maser und Laser . . . . .	144
Literatur . . . . .	146

#### IV. Die quantenmechanische Atomtheorie

1. Der Übergang von der BOHRschen zur quantenmechanischen Atomtheorie . . . . .	147
2. Der Welle-Teilchen-Dualismus beim Licht und bei der Materie . . . . .	149
3. Die HEISENBERGsche Unbestimmtheitsbeziehung . . . . .	154
4. DE BROGLIES Materiewellen und ihre Bedeutung für die BOHRsche Atomtheorie . . . . .	158
5. Die Grundgleichungen der Wellenmechanik. Eigenwerte und Eigenfunktionen. Die Matrizenmechanik und ihr Verhältnis zur Wellenmechanik . . . . .	162

	Seite
6. Die Bedeutung der wellenmechanischen Ausdrücke, Eigenfunktionen und Quantenzahlen . . . . .	168
7. Beispiele für die wellenmechanische Behandlung atomarer Systeme . . . .	170
a) Der Rotator mit starrer raumfester Achse . . . . .	171
b) Der Rotator mit raumfreier Achse . . . . .	172
c) Der lineare harmonische Oszillator . . . . .	173
d) Das Wasserstoffatom und seine Eigenfunktionen . . . . .	176
8. Die quantenmechanischen Ausdrücke für beobachtbare Eigenschaften atomarer Systeme . . . . .	181
9. Die wellenmechanische Strahlungstheorie. Übergangswahrscheinlichkeit, Auswahlregeln und Polarisationsverhältnisse . . . . .	182
10. Die wellenmechanische Fassung des PAULI-Prinzips und seine Konsequenzen	185
11. Die Wechselwirkung gekoppelter gleichartiger Systeme. Austauschresonanz und Austauschenergie . . . . .	190
12. Der Brechungsindex der $\Psi$ -Wellen und der quantenmechanische Tunnel-effekt (Durchgang eines Teilchens durch einen Potentialwall) . . . . .	195
13. Die Quantenstatistiken nach FERMI und BOSE und ihre physikalische Bedeutung . . . . .	198
14. Die Grundideen der Quantenelektrodynamik. Die Quantelung von Wellenfeldern. . . . .	202
15. Leistungen, Grenzen und philosophische Bedeutung der Quantenmechanik	204
Literatur . . . . .	209

## V. Die Physik der Atomkerne und Elementarteilchen

1. Die Kernphysik im Rahmen der allgemeinen Atomphysik . . . . .	211
2. Methoden zum Nachweis und zur messenden Erfassung von Kernprozessen und Kernstrahlung . . . . .	212
3. Die Erzeugung energiereicher Kerngeschosse in Beschleunigungsmaschinen	219
4. Allgemeine Eigenschaften der Atomkerne . . . . .	229
a) Kernladung, Kernmasse und Aufbau der Atomkerne aus Nukleonen . .	229
b) Durchmesser, Dichte und Form der Atomkerne. . . . .	230
c) Kerndrehimpuls und Kernisomerie . . . . .	231
d) Die Polarisation von Atomkernen bzw. Teilchenstrahlen . . . . .	232
e) Die magnetischen Momente von Proton, Neutron und zusammengesetzten Kernen . . . . .	233
f) Die Parität . . . . .	236
5. Massendefekt und Kernbindungsenergie. Die Ganzzahligkeit der Isotopengewichte . . . . .	236
6. Die natürliche Radioaktivität und die aus ihr erschlossenen Kernvorgänge .	239
a) Die natürlich radioaktiven Zerfallsreihen. . . . .	239
b) Zerfallsart, Zerfallskonstante und Halbwertszeit . . . . .	240
c) Die Zerfallsenergien und ihr Zusammenhang mit den Halbwertszeiten der radioaktiven Kerne . . . . .	241
d) Die Deutung der $\gamma$ -Strahlung und der MÖSSBAUER-Effekt . . . . .	243
e) Termschemata und Zerfallsmöglichkeiten radioaktiver Kerne . . . .	245
f) Die Erklärung des $\alpha$ -Zerfalls . . . . .	246
g) Die Erklärung des $\beta$ -Zerfalls und die Existenz des Neutrino . . . . .	248
7. Künstliche Radionuklide und ihre Umwandlungen . . . . .	250
a) $\beta^+$ -Aktivität, Positronen, Neutrinos und Antineutrinos . . . . .	250
b) Die Kernumwandlung durch Bahnelektroneneinfang . . . . .	252
c) Der Zerfall künstlicher Radionuklide unter Emission von Neutronen oder $\alpha$ -Teilchen . . . . .	252
d) Isomere Kerne und ihre Zerfallsprozesse . . . . .	253
8. Allgemeines über erzwungene Kernumwandlungen und ihren Ablauf . . . .	253
9. Energiebilanz, Reaktionsschwelle und Ausbeute erzwungener Kernreaktionen	258
a) Energiebilanz und Reaktionsschwelle . . . . .	258
b) Ausbeute und Anregungsfunktionen erzwungener Kernreaktionen . . .	259

	Seite
10. Energieniveauschemata von Atomkernen und ihre empirische Ermittlung . . .	261
11. Tröpfchenmodell und Kernsystematik . . . . .	267
12. Einzelnukleonen-Modell und kollektives Kernmodell. Magische Nukleonen- zahlen, Nukleonen-Quantenzahlen und Eigenschaften des Kernrumpfes . . .	273
13. Entdeckung, Eigenschaften und Wirkungen des Neutrons . . . . .	279
a) Entdeckung, Massenbestimmung und Radioaktivität des Neutrons . . .	279
b) Neutronenquellen . . . . .	280
c) Die Erzeugung thermischer und monochromatischer Neutronen . . . .	281
d) Nachweis und Messung von Neutronen . . . . .	282
e) Spezifische neutronenausgelöste Kernreaktionen . . . . .	284
14. Die Kernspaltung . . . . .	284
15. Die Kernspaltungsbombe und ihre Wirkungen . . . . .	289
16. Die Freimachung nutzbarer Atomkernenergie in Kernreaktoren . . . . .	292
17. Anwendungen stabiler und radioaktiver Isotope . . . . .	299
18. Thermische Kernreaktionen bei höchsten Temperaturen im Innern der Sterne. Die Frage nach der Entstehung der Elemente . . . . .	302
19. Die Problematik einer künftigen Energiegewinnung durch Kernfusion . . .	307
20. Stoßvorgänge höchster Energie und Elementarteilchenphysik . . . . .	309
a) Die Primärteilchen der Höhenstrahlung . . . . .	310
b) Die Sekundärprozesse der Höhenstrahlung . . . . .	312
21. Paarerzeugung, Paarzerstrahlung und Antimaterie . . . . .	315
22. Stoßprozesse energiereicher Elektronen und Photonen . . . . .	318
23. Mesonen, Hyperonen und angeregte Elementarteilchenzustände . . . . .	320
24. Die theoretische Deutung der Elementarteilchen . . . . .	328
25. Nukleonen, Mesonenwolken und Kernkräfte . . . . .	335
26. Das Problem der universellen Naturkonstanten . . . . .	337
Literatur . . . . .	339

## VI. Physik der Moleküle

1. Ziel der Molekülphysik und Zusammenhang mit der Chemie . . . . .	343
2. Die allgemeinen Eigenschaften von Molekülen und die Methoden zu ihrer Bestimmung . . . . .	344
a) Größe und Kernanordnung von Molekülen . . . . .	344
b) Permanente Dipolmomente von Molekülen . . . . .	346
c) Polarisierbarkeit und induzierte Dipolmomente von Molekülen . . . .	348
d) Die Anisotropie der Polarisierbarkeit. KERR-Effekt, RAYLEIGH-Streuung und RAMAN-Effekt . . . . .	349
3. Spektroskopische Methoden zur Bestimmung von Molekülkonstanten . . .	351
4. Allgemeines über Aufbau, Struktur und Bedeutung von Molekülspektren. .	354
5. Die Systematik der Elektronenterme zweiatomiger Moleküle . . . . .	357
6. Schwingung und Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle . . . . .	361
a) Schwingungsterme und Potentialkurvenschema . . . . .	361
b) Schwingungszustandsänderungen und ultrarote Schwingungsbanden. . .	365
c) Das FRANCK-CONDON-Prinzip als Übergangsregel für gleichzeitigen Elek- tronen- und Schwingungsquantensprung . . . . .	366
d) Der Aufbau eines Elektronenbandensystems. Kantenschema und Kanten- formeln . . . . .	368
7. Zerfall und Bildung zweiatomiger Moleküle und ihr Zusammenhang mit den kontinuierlichen Molekülspektren . . . . .	370
a) Moleküldissoziation und Bestimmung der Dissoziationsenergie . . . . .	370
b) Die Prädissoziation . . . . .	372
c) Die Vorgänge bei der Molekülbildung aus Atomen . . . . .	374
8. Grenzen des Molekülbegriffs. VAN DER WAALS-Moleküle und Stoßpaare . .	375

	Seite
9. Die Molekülrotation und die Ermittlung von Trägheitsmomenten und Kernabständen aus der Rotationsstruktur der Spektren zweiatomiger Moleküle	378
a) Rotationstermschema und ultrarotes Rotationsspektrum . . . . .	378
b) Das Rotationsschwingungsspektrum . . . . .	380
c) Die Rotationsstruktur der normalen Elektronensprungbande . . . . .	381
d) Der Einfluß des Elektronensprunges auf die Rotationsstruktur . . . . .	384
e) Der Einfluß des Kerndrehimpulses auf die Rotationsstruktur symmetrischer Moleküle. Ortho- und Parawasserstoff . . . . .	384
10. Die Quantelung von Schwingung und Rotation und die spezifische Wärme der Gase . . . . .	386
11. Bandenintensitäten und bandenspektroskopische Temperaturbestimmung .	387
12. Isotopieeffekte in Molekülspektren . . . . .	389
13. Überblick über Spektren und Bau vielatomiger Moleküle . . . . .	390
a) Elektronenanregung und Ionisierung mehratomiger Moleküle . . . . .	390
b) Rotationsstruktur und Trägheitsmomente mehratomiger Moleküle. . . .	392
c) Schwingung und Dissoziation mehratomiger Moleküle . . . . .	393
14. Die physikalische Erklärung der chemischen Bindung . . . . .	396
a) Vorquantenmechanische Erklärungsversuche. Heteropolare Bindung und Oktett-Theorie . . . . .	397
b) Die Quantentheorie der chemischen Bindung . . . . .	398
c) Allgemeines über die Bindung von Atomen mit mehreren Valenzelektronen	402
d) Mehrfachbindungen, gerichtete Valenzen der Stereochemie und Wirkung nichtlokalisierter Valenzelektronen . . . . .	404
15. VAN DER WAALS-Kräfte . . . . .	408
16. Molekularbiologie . . . . .	410
Literatur . . . . .	412

## VII. Festkörper-Atomphysik

1. Allgemeines über die Struktur des festen, des flüssigen und des Plasma-Zustands der Materie . . . . .	414
2. Ideale und reale Kristalle. Strukturempfindliche und strukturunempfindliche Kristalleigenschaften . . . . .	417
3. Der Kristall als Makromolekül. Ionengitter, Atomgitter und Molekülgitter	418
4. Kristallgitter und Strukturanalyse . . . . .	421
5. Gitterenergie, Kristallwachstum und Deutung der Eigenschaften von Ionenkristallen . . . . .	423
6. Piezoelektrizität, Pyroelektrizität und verwandte Erscheinungen . . . . .	427
7. Überblick über Bindung und Eigenschaften des metallischen Zustandes . .	429
8. Kristallschwingungen und die Ermittlung ihrer Frequenzen aus Ultraspektrum und RAMAN-Effekt . . . . .	433
9. Die atomistische Theorie der spezifischen Wärme fester Körper . . . . .	437
10. Allgemeines über Elektronenprozesse in Festkörpern und ihren Zusammenhang mit deren optischen und elektrischen Eigenschaften. . . . .	439
a) Die Bedeutung von Anregung sowie innerer und äußerer Ablösung von Elektronen beim Festkörper . . . . .	439
b) Der Zusammenhang zwischen Spektrum (Farbe) und Leitfähigkeit beim Festkörper . . . . .	439
c) Energie- und Ladungstransport in Festkörpern. Elektronen, positive Löcher (Defektelektronen), Excitonen, Phononen und ihre Bedeutung . . . .	441
d) Die Wechselwirkung zwischen Elektronenprozessen und Kristallgitter. Elektronenfallen . . . . .	443
11. Energetische Anordnung der Elektronen im Kristall. Energiebändermodell und Elektronensprungsspektren von Kristallen . . . . .	444
12. Vollbesetzte und teilbesetzte Energiebänder im Kristall. Isolator und metallischer Leiter nach dem Energiebändermodell . . . . .	452
13. Die Elektronentheorie der metallischen Leitfähigkeit . . . . .	454

	Seite
14. Das Potentialtopfmodell des Metalls. Austrittsarbeit, Photoemission, Glühemission, Feldemission, Berührungsspannung . . . . .	457
15. Die magnetischen Eigenschaften der Festkörper und ihre Erklärung . . . . .	462
a) Bindungszustand und Magnetismus von Festkörpern . . . . .	462
b) Para- und Diamagnetismus der Metalle . . . . .	463
c) Ferromagnetismus als Kristalleigenschaft . . . . .	465
16. Die Ferroelektrizität. . . . .	469
17. Quanteneffekte von Vielteilchensystemen bei tiefsten Temperaturen. Supraleitung und Supraflüssigkeit . . . . .	471
a) Die Supraleitung . . . . .	471
b) Die Supraflüssigkeit des Helium II . . . . .	474
18. Gitterfehlstellen. Diffusion und Ionenwanderung in Kristallen . . . . .	476
19. Fehlstellenelektronen und ihre Wirkungen in Ionenkristallen. Die Physik der Farbzentren und die Grundprozesse der Photographie . . . . .	480
20. Elektronenhalbleitung . . . . .	483
a) Halbleitertypen und ihre Ladungsträger . . . . .	483
b) Die elektrische Leitfähigkeit von Elektronenhalbleitern und ihre Temperaturabhängigkeit. . . . .	486
c) Anwendungen der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Halbleitern . . . . .	487
d) Magnetische Halbleitereffekte und ihre Anwendungen . . . . .	488
21. Der Elektronenaustritt aus Halbleiteroberflächen . . . . .	488
a) Die thermische Elektronenemission von Halbleitern und der Emissionsmechanismus thermischer Oxydkathoden . . . . .	488
b) Die lichtelektrische Elektronenbefreiung aus Halbleiteroberflächen . . . . .	490
c) Die Sekundärelektronenemission und verwandte Erscheinungen. . . . .	492
22. Elektrische und optische Erscheinungen an inneren Grenzflächen in Halbleitern und an Metall-Halbleiter-Kontakten. . . . .	494
a) Gleichrichter- und Detektorwirkungen . . . . .	494
b) Stromtor, Tunneldiode und Halbleiter-Laser . . . . .	497
c) Transistorphysik . . . . .	498
d) Innerer Photoeffekt, Photoleitfähigkeit und Theorie der Halbleiterphotoelemente. . . . .	501
23. Kristallphosphoreszenz . . . . .	504
24. Atomare Vorgänge an festen Oberflächen. . . . .	508
Literatur . . . . .	510
<b>Zusammenstellung der für die Atomphysik wichtigsten Konstanten und Beziehungen</b>	<b>515</b>
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>516</b>