

# 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 Seriegrenzkontinuum in Absorption. . . . .	72
d) Strahlungsrekombination und Seriegrenzkontinua 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 Tunneleffekt (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, Paarerstrahlung 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 Rotationspektrum	378
b) Das Rotationschwingungsspektrum	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 Ultrarotpektrum 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 Elektronensprungspektren 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

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>