

BERGMANN-SCHAEFER

Lehrbuch der Experimentalphysik

Zum Gebrauch bei Akademischen Vorlesungen und
zum Selbststudium

Band IV, Teil 2

Aufbau der Materie

Herausgegeben von H. Gobrecht

Autoren:

Hans Bucka, Jürgen Dietrich, Jürgen Geiger,
Heinrich Gobrecht, Klaus Gobrecht, Achim Hese, Kurt Hunger,
H. Küsters, Martin Lambeck, Günther Lehner, Horst Nelkowski,
Dietrich Neubert, Udo Scherz, Rolf Seiwert, Hugo Strunz,
Arthur Tausend, Ludwig Thomas, Roger Thull, Kurt Ueberreiter,
Hans-Günther Wagemann, Burkhardt Wende

W
DE
G

Walterde Gruyter • Berlin • New York • 1975

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	VII

I. Kapitel. Einführung

von Prof. Dr.-Ing. Heinrich Gobrecht, Technische Universität Berlin

1. Historische Betrachtung	1
2. Erkenntnisse und Arbeitsmethoden seit 1900	7
3. Die Forschung in der Zukunft	13

II. Kapitel. Die Elektronenhülle des Atoms

von Prof. Dr. rer. nat. Rolf Seiwert, Technische Fachhochschule Berlin

1. Die ältere Atomtheorie	
1.1 Das Rutherford-Bohrsche Atommodell	15
1.2 Das Energieniveauschema und die Spektralserien des Wasserstoffatoms	22
1.3 Das Sommerfeldsche Atommodell	24
1.4 Emissions- und Absorptionsprozesse	27
2. Die Wellenmechanik des Atoms mit einem Elektron	
2.1 Die Wellenfunktion	29
2.2 Die Operatoren einiger physikalischer Größen	34
2.3 Die Eigenwerte und Eigenfunktionen der Operatoren der z-Komponente und des Quadrates des Drehimpulses	39
2.4 Die Lösung der zeitunabhängigen Schrödinger-Gleichung	43
2.5 Die Wahrscheinlichkeitsdichte	48
3. Das magnetische Moment des Atoms mit einem Elektron	
3.1 Das zum Bahndrehimpuls gehörende magnetische Moment	52
3.2 Der Stern-Gerlach-Versuch, der Elektronenspin, das zugehörige magnetische Moment und der Gesamtdrehimpuls des Elektrons	56
3.3 Die relativistische und spinabhängige Korrektur der Energiewerte	59
4. Die Emission und Absorption der Strahlung	
4.1 Die Übergangswahrscheinlichkeit und die Oszillatorenstärke	63
4.2 Linienverbreiterung	68
4.3 Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit $A^{\wedge}$	70
5. Das Periodensystem der Elemente	
5.1 Das Pauli-Prinzip	79
5.2 Das Ordnen der Elemente nach ihren chemischen Eigenschaften und der Elektronenzahl	81
5.3 Die Anwendung des Paulischen Ausschließungsprinzips	84
5.4 Der Atomradius und die Ionisierungsenergie	88
6. Das Mehrelektronenatom	
6.1 Die LS-Kopplung und die Niveaubezeichnungen	90
6.2 Parität, Auswahlregeln und MetaStabilität	95
6.3 Die zu einer Elektronenanordnung gehörenden Terme	98

6.4	Die Wechselwirkungen in einem Mehrelektronenatom	101
6.5	Die Abweichung vom Coulomb-Feld	102
6.6	Die elektrostatische Wechselwirkung zwischen den Elektronen	103
6.7	Die Spin-Bahn-Wechselwirkung	106
6.8	Die Bedingungen für die L.S- und die jj-Kopplung	107
6.9	Die radiale Ladungsverteilung	109
6.10	Die Atome der I. Gruppe des Periodensystems	111
6.11	Das Heliumatom und die Atome der II. Gruppe des Periodensystems	115
7.	Atome im homogenen Magnetfeld	
7.1	Der Lande'sche g-Faktor beim Zeeman-Effekt	118
7.2	Der normale Zeeman-Effekt	121
7.3	Der anomale Zeeman-Effekt	125
7.4	Der Paschen-Back-Effekt	126
7.5	Der Übergang vom Zeeman-zum Paschen-Back-Effekt	128
7.6	Der Lamb-Shift	131
7.7	Der Para- und der Diamagnetismus der Atome	134
7.8	Der Hamilton-Operator für ein Elektron im Magnetfeld	128
8.	Atome im homogenen elektrischen Feld	
8.1	Der Stark-Effekt beim Wasserstoffatom	140
8.2	Der Stark-Effekt bei den Mehrelektronenatomen	144
8.3	Die Herabsetzung der Ionisierungsenergie	146
9.	Röntgenstrahlen	
9.1	Das Emissions- und das Absorptionsspektrum	147
9.2	Die charakteristische Röntgenstrahlung	148
9.3	Die Absorption der Röntgenstrahlen	155
9.4	Der Auger-Effekt	158
9.5	Röntgenbremsstrahlung	159
10.	Elastische Stöße zwischen Atomen	
10.1	Der Stoßquerschnitt und die Stoßzahl	163
10.2	Die Abhängigkeit der Wechselwirkungsenergie vom Abstand der Stoßpartner	164
10.3	Die Bewegung der Stoßpartner im ortsfesten, Massenmittelpunkts- und Relativ-Koordinatensystem	166
10.4	Die Abhängigkeit des Ablenkungswinkels und des Streuwinkels vom Stoßparameter	168
10.5	Der differentielle und der totale Streuquerschnitt	170
10.6	Die Erzeugung von langsamen Atomstrahlen und die Messung des Teilchenflusses	176
11.	Unelastische Stöße zwischen Atomen	
11.1	Übersicht über die Stoßprozesse, die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Stoßquerschnitte und die Spinerhaltung	177
11.2	Apparaturen zur Untersuchung der Stoßanregung, der Stoßionisierung und des Ladungsaustauschs	180
11.3	Anregende Stöße	182
11.4	Ionisierende Stöße	186
11.5	Der Ladungsaustausch	188
11.6	Unelastische Stöße zwischen angeregten und unangeregten Atomen	190
	Literatur zum II. Kapitel	194

III. Kapitel. Moleküle und Bindungsarten

von Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Geiger, Universität Trier-Kaiserslautern

1.	Einleitung	199
2.	Elektronenbeugung an Molekülen	203
3.	Bestimmung der Kernabstände aus Elektronenbeugungsuntersuchungen	208
4.	Rotation eines starren Moleküls	211
5.	Quantisierung der Rotation	214
6.	Optische Übergänge zwischen Rotationsniveaus, Rotationsspektren	216
7.	Spektroskopie im Mikrowellenbereich	218
8.	Thermische Besetzung von Rotationsniveaus	220

9.	Der harmonische Oszillator als Modell für ein schwingendes Molekül	222
10.	Quantisierung des linearen harmonischen Oszillators	224
11.	Optische Übergänge zwischen Schwingungsniveaus	227
12.	Schwingungen mehratomiger Moleküle, Normalschwingungen und Normalkoordinaten	231
13.	Schwingungsniveaus, Eigenfunktionen und Auswahlregeln für Schwingungsübergänge bei mehratomigen Molekülen	239
14.	Torsionsschwingungen	241
15.	Inversionsschwingungen	242
16.	Der Ammoniak-Maser	244
17.	Der Raman-Effekt	247
18.	Der anharmonische Oszillator	253
19.	Das Morse-Potential	257
20.	Der nicht-starre Rotator, Zentrifugalverzerrung	258
21.	Der schwingende Rotator	260
22.	Elektronenzustände eines zweiatomigen Moleküls	262
23.	Potentialkurven zweiatomiger Moleküle	264
24.	Born-Oppenheimer-Theorem	265
25.	Schwingungsstruktur eines Elektronenbandensystems	268
26.	Intensitäten in einem Elektronenbandensystem	269
27.	Rotationsstruktur eines Elektronenbandensystems, Bandenzweige und Bandkanten	273
28.	Symmetrie der Moleküleigenfunktion	275
29.	Einfluß des Kernspins auf das Molekülspektrum	279
30.	Molekülaufbau und Elektronenzustände	281
31.	Molekülorbitale (MO)	281
32.	Das Heitler-London-Verfahren (Valenzbindungs-Methode) am Beispiel des Wasserstoff-Moleküls	295
33.	Vergleich von Valenzbindungs (VB)- und Molekülorbitalverfahren (MO)	301
34.	Bindungen in mehratomigen Molekülen	301
35.	Aromatische Moleküle und konjugierte Doppelbindungen	305
	Literatur zum III. Kapitel	307

IV. Kapitel. Flüssigkeiten

A. Nichtelektrolytische Flüssigkeiten

von Prof. Dr. rer. nat. Kurt Ueberreiter, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft,
Berlin-Dahlem

1.	Struktur der Flüssigkeiten	309
2.	Ansätze zur statistischen Theorie des flüssigen Zustandes	316
3.	Kinetische Eigenschaften der Flüssigkeiten	320
	Literatur zum Abschnitt A	326

B. Hochpolymere Flüssigkeiten

von Prof. Dr. rer. nat. Kurt Ueberreiter, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft,
Berlin-Dahlem

1.	Aufbau der Makromoleküle	327
2.	Form der Makromoleküle	328
3.	Mathematische Beschreibung der Gestalt eines Makromoleküls	332
4.	Zustandsdiagramm der Polymeren	337
5.	Gummielastischer Zustand der Polymeren	339
6.	Der visko-elastische Zustand	346
7.	Der flüssige Zustand	348
	Literatur zum Abschnitt B	350

C. Eingefrorene Flüssigkeiten (Gläser)

von Prof. Dr. rer. nat. Kurt Ueberreiter, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft,
Berlin-Dahlem

1. Struktur der Gläser	351
2. Äußere Erscheinungen des Glasübergangs	354
3. Theorien zur Glasbildung	356
4. Glasumwandlung und Bau der Moleküle	359
Literatur zum Abschnitt C	360

D. Flüssige Kristalle

von Prof. Dr. rer. nat. Kurt Ueberreiter, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft,
Berlin-Dahlem

1. Arten von Flüssigkristallen	361
2. Molekulare Ordnung der Flüssigkristalle	362
3. Chemische Konstitution der Flüssigkristalle	364
4. Technische Anwendung der Flüssigkristalle	366
Literatur zum Abschnitt D	370

E. Elektrolytische Flüssigkeiten

von Dr.-Ing. Roger Thull, Universität Erlangen-Nürnberg

1. Van't Hoff'sches Gesetz; Dissoziationstheorie von Svante Arrhenius	371
2. Die Struktur elektrolytischer Flüssigkeiten	377
Literatur zum Abschnitt E	406

V. Kapitel. Der feste Körper

1. Kristalle a) Struktur

von Prof. Dr. phil. habil. Dr. sc. techn. Hugo Strunz, Technische Universität Berlin

Das Raumgitter und die 230 Raumgruppen	407
Strukturbestimmung	422
Strukturtypen	441
Literatur zum Abschnitt 1 a	445

1. Kristalle b) Gitterschwingungen

von Prof. Dr. rer. nat. Udo Scherz, Technische Universität Berlin

1. Einleitung	446
2. Zweiatomige lineare Kette	447
3. Dispersionskurven der Kristalle	450
4. Phononen	451
5. Messung von Dispersionskurven durch Neutronenspektrometrie	462
6. Spezifische Wärmekapazität	465
Literatur zum Abschnitt 1 b	467

1. Kristalle c) Lichtabsorption und Dispersion

von Prof. Dr.-Ing. Heinrich Gobrecht und Prof. Dr.-Ing. Arthur Tausend,
Technische Universität Berlin

1. Einleitung	468
2. Die optischen Konstanten	469

3.	Meßprinzip	473
4.	Experimentelle Bestimmung der optischen Konstanten	481
5.	Die Kramers-Kronig-Relation (KKR)	492
6.	Lichtabsorption durch Ladungsträger	494
7.	Materie im Magnetfeld	505
8.	Kristallfeldaufspaltung	511
9.	Raman- und Brillouin-Streuung	515
10.	Zwei-Photonen-Absorption.	518
11.	Nichtlineare Optik	520
	Literatur zum Abschnitt 1 c	522

1. Kristalle d) Paramagnetische Resonanzen

von Dipl.-Phys. Jürgen Dietrich, Technische Universität Berlin

1.	Allgemeine Beschreibung	523
2.	Klassische Rechnung für die Kerninduktion	524
3.	Quantenmechanische Behandlung	528
4.	Statistik und Relaxation	531
5.	Technologie der Resonanz-Spektrometer	535
6.	Aufbau eines ESR-Spektrometers (Abb. V,107)	537
7.	Anwendungen der NMR	538
8.	Anwendungen der ESR	541
9.	Sondertechniken	543
	Literatur zum Abschnitt 1 d	546

1. Kristalle e) Energiezustände in Kristallen (Bandstrukturen)

von Prof. Dr. rer. nat. Udo Scherz, Technische Universität Berlin

1.	Einleitung	547
2.	Der Idealkristall	549
3.	Gestörte Kristalle	576
	Literatur zum Abschnitt 1 e	585

1. Kristalle f) Fehlordnungen

von Dr. rer. nat. Dietrich Neubert, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Berlin

Überblick	586
Punktfehler	586
Versetzungen	594
Grenzflächen	611
Literatur zum Abschnitt 1 f	613

2. Metalle

von Prof. Dr.-Ing. Ludwig Thomas, Technische Universität Berlin

1.	Kennzeichnung der Metalle	614
2.	Experimentelle Methoden	614
3.	Einstoffsysteme	616
4.	Mehrstoffsysteme	625
5.	Phasenumwandlungen	630
6.	Mechanische Eigenschaften.	640
7.	Durch die Elektronenstruktur bestimmte Eigenschaften von Metallen	653
	Literatur zum Abschnitt 2	664

3. Halbleiter

von Dr.-Ing. Hans-Günther Wagemann, Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin

1.	Definition des Halbleiters	665
2.	Übersicht über Halbleiter	666
3.	Energiebänder-Modell und Leitungstypen kristalliner Halbleiter	667
4.	Das Fermi-Niveau und die Berechnung der Ladungsträgerkonzentrationen im thermodynamischen Gleichgewicht kristalliner Halbleiter	674
5.	Transporterscheinungen	681
6.	Generations- und Rekombinationsprozesse	687
7.	Die Halbleiter-Oberfläche	692
8.	Halbleiter-Sperrschichten	704
9.	Amorphe Halbleiter	719
	Literatur zum Abschnitt 3	721

4. Lumineszenz und Photoleitung

von Prof. Dr.-Ing. Horst Nelkowsky, Technische Universität Berlin

4.1	Einführung	722
4.2	Lumineszenzmodelle	726
	Das Zentrenmodell 728, Das Bändermodell 735	
4.3	Die Elektrolumineszenz	752
4.4	Spezielle Leuchtstoffe und Anwendungen der Lumineszenz	760
	Binäre Verbindungen 760, Organische Leuchtstoffe 767	
4.5	Photoeffekte in Halbleitern	768
	Photoleitung in homogenem Material 769, Photokapazitive Effekte 776, Photoeffekte an p-n Übergängen und Metalleiter Kontakten 778, Optoelektronik 783	
	Literatur zum Abschnitt 4	784

5. Magnetismus

von Prof. Dr.-Ing. Martin Lambeck, Technische Universität Berlin

5.1	Definitionen und Einheiten	786
5.2	Erscheinungsformen des Magnetismus	787
5.3	Das Bohi-Van Leeuwen Theorem	790
5.4	Deutung magnetischer Vorgänge	791
5.5	Diamagnetismus und chemische Bindung	792
5.6	Paramagnetismus und Hundsche Regel	795
5.7	Die Wirkung des Kristallfeldes	799
5.8	Magnetismus der Leitungselektronen	801
5.9	Spontane Magnetisierung als Kollektivphänomen	803
	Bandmodell des Ferromagnetismus 804, Badersche Regeln 806, Oszillierende Austauschkopplung 808, Amorphe Ferromagnetika 809, Superaustausch und Antiferromagnetismus 810, Ferrimagnetismus 813, Schwache Ferromagnetika 814	
5.10	Magnetische Bereiche und Wände	815
	Austauschenergie 816, Kristallenergie 817, Spannungsenergie 818, Feldenergie und Entmagnetisierung 819, Bereichsaufteilung 820, Wandenergie 822, Einbereichteilchen 824, Dünne Schichten 825, Methoden der Bereichsabbildung 828	
5.11	Ummagnetisierungsvorgänge	829
	Wandverschiebung, Nachwirkung und Barkhausen-Effekt 830, Rotation 833, Weichmagnetische Werkstoffe 835, Hartmagnetische Stoffe 835, Stoffe mit Austauschanisotropie 838, Relaxation 839	
	Literatur zum Abschnitt 5	840

VI. Kapitel. Makroskopische Quantenzustände

(Supraleitung und Supraflüssigkeit)

von Dr. Klaus H. Gobrecht, Universität Grenoble und Institut Laue-Langevin, Grenoble

1. Einleitung	841
2. Supraleitung	842
2.1 Elektrizitätsleitung in Metallen	842
2.2 Cooper-Paare	844
2.3 BCS-Theorie	845
2.4 Verschwinden des Widerstandes	846
2.5 Kritischer Strom und Energielücke	847
2.6 Isotopeneffekt	849
2.7 Tunneleffekt und Phononenspektroskopie	849
2.8 Vorkommen der Supraleitung	851
2.9 Thermische Eigenschaften	853
2.10 Meißner-Ochsenfeld-Effekt	855
2.11 Kritische Feldstärke	856
2.12 Thermodynamik des Phasenübergangs	858
2.13 Typ II-Supraleiter	862
2.14 Flußliniengitter	865
2.15 Erzeugung hoher Magnetfelder	866
2.16 Flußquantisierung	868
2.17 Josephson-Effekte	869
3. i Flüssiges Helium	872
3.1 Phasendiagramm	872
3.2 X-Punkt	873
3.3 Zwei-Flüssigkeiten-Modell	875
3.4 Wärmeleitung	876
3.5 Zweiter Schall	877
3.6 Heliumfilm	878
3.7 Kritische Geschwindigkeit	879
3.8 Anregungsspektrum	880
3.9 Rotierendes Helium	881
3.10 Quantisierte Wirbel	883
3.11 Wirbelfadengitter	886
3.12 ^3He - ^4He -Gemische	886
3.13 Entmischungskryostat	888
3.14 Supraflüssiges ^3He	890
4. Zusammenfassender Vergleich der Eigenschaften von Supraleitern und He II	892
4.1 Transporteigenschaften	892
4.2 Einfluß der elektrischen Ladung	894
4.3 Phasenkohärenzeffekte	896
4.4 Schwankungserscheinungen	897
4.5 Schlußbemerkung	899
Literatur zum VI. Kapitel	900

VII. Kapitel. Elementarteilchen

von Prof. Dr. rer. nat. Hans Bucka, Technische Universität Berlin

1. Einleitung	901
2. Phänomenologische Beschreibung von Wechselwirkungen	903
3. Symmetrieeigenschaften von Teilchen und Wechselwirkungen und Erhaltungssätze	907
3.1 Energie, Impuls, Drehimpuls	908
3.2 Parität	911
3.3 Ladungskonjugation	914
3.4 Teilchen und Antiteilchen	916

3.5	Erhaltungssätze für Teilchenzahl und Statistik.	919
3.6	Isospin	921
3.7	Strangeness	924
4.	Multipletts im Baryonen- und Mesonenspektrum	927
4.1	Teilchenzustände des Baryonen- und Mesonenspektrums	927
4.2	Multipletts der SU3-Symmetrie	931
4.3	Energieaufspaltung der Multipletts, „broken Symmetrie“	937
4.4	Elektromagnetische Eigenschaften und U-Spin-Multipletts	940
4.5	Berücksichtigung des Spins und einige Aspekte für Multipletts der Gruppe SU ₆ .	941
4.6	Modell für die Schwerpunktsenergie von Multipletts im Mesonenspektrum	943
5.	Experimentelle Untersuchungen der starken Wechselwirkung	946
5.1	Streuphasen der n-Meson-Nukleon-Streuung und Resonanzzustände der Nukleonen	946
5.2	Resonanzen im 7r-Mesonen-System	949
5.3	Bestimmung von Matrixelementen und Quantenzahlen aus der Dichteverteilung in DALITZ-Diagrammen	956
5.4	Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung	962
5.5	Teilchen mit Strangeness	966
6.	Einige allgemeine Relationen zur Übergangsamplitude mit Berücksichtigung von Teilchenreaktionen bei hohen Energien	968
6.1	Streuphasen, Wirkungsquerschnitt und optisches Theorem	969
6.2	Dispersionsrelationen	970
6.3	Eigenschaften der Vorwärts- und Rückwärtsstreuung bei hohen Energien und Mandelstam-Diagramme	977
6.4	Regge-Trajectories und Energieabhängigkeit des Wirkungsquerschnitts vom Impulsübertrag	983
6.5	Veneziano-Amplituden	988
7.	Untersuchungen von Prozessen der schwachen Wechselwirkung	989
7.1	(3-Wechselwirkung der Nukleonen	989
7.2	Zerfall von n-Mesonen und $\bar{i}$ -Mesonen	993
7.3	Zerfall geladener A>Mesonen in zwei und drei Λ -Mesonen	999
7.4	Eigenschaften der neutralen $\bar{A}$ -Mesonen	1001
7.5	Weitere Zerfälle durch schwache Wechselwirkung	1009
8.	Untersuchungen von Prozessen der elektromagnetischen Wechselwirkung	1010
8.1	Elektromagnetische Momente	1011
8.2	Formfaktoren	1013
8.3	Übergänge durch elektromagnetische Wechselwirkung	1014
8.4	Spontane Zerfälle	1016
	Literatur zum VII. Kapitel	1019

VIII. Kapitel. Kernphysik

von Prof. Dr. rer. nat. Achim Hese, Technische Universität Berlin

1.	Grundlegende Begriffe	1021
	Zusammensetzung, Nomenklatur und Systematik der Atomkerne	1021
	Einheiten und Definitionen	1024
2.	Quantenmechanische Elemente, Symmetrien und Invarianzen	1029
	Translationsinvarianz	1033
	Galileiinvarianz	1035
	Rotationsinvarianz	1036
	Raumspiegelungsinvarianz	1045
	Permutationssymmetrie	1047
	Isospin-Invarianz	1048
3.	Grundeigenschaften der Atomkerne	1062
	Kernmassen und Bindungsenergien	1064
	Die Dichteverteilung von Protonen und Neutronen im Kern – Der Kernradius	1070
	Die Isotopieverschiebung von Spektrallinien	1084
	Exotische Atome	1094
	Kerndrehimpulse und Kernmomente	1103

4.	Die Kernkräfte	1135
	Das Deuteron	1135
	Die Nukleon-Nukleon-Streuung	1146
	Mesonentheorie der Kernkräfte	1163
5.	Kernmodelle	1171
	Das Fermi-Gas-Modell	1171
	Die Weizsäcker-Formel	1178
	Das Schalenmodell	1181
	Kollektive Modelle	1206
6.	Der Zerfall instabiler Kerne	1212
	Zerfallsgesetze und Einheiten	1212
	Der α -Zerfall	1219
	Kernspaltung	1230
	Elektromagnetische Übergänge	1232
	Der β -Zerfall – die Form des erlaubten Spektrums	1249
7.	Kernreaktionen	1257
	Erhaltungssätze bei Kernreaktionen	1259
	Resonanzen	1265
	Literatur zum VIII. Kapitel	1269

IX. Kapitel. Reaktorphysik

von Dr. Heinz Küsters, Kernforschungszentrum Karlsruhe

1.	Aufgabenstellung der Reaktorphysik	1273
2.	Neutronenphysikalische Grundlagen	1275
2.1	Die Spaltneutronen	1276
2.2	Wechselwirkung von Neutronen mit Materie	1279
	Wirkungsquerschnitte, mittlere freie Weglänge 1279, Die inelastische Streuung 1283, Die elastische Streuung 1286, Streuprozesse von Neutronen unterhalb 1 eV, Thermalisierung 1290, Einfangresonanzen 1292	
3.	Allgemeine physikalische Eigenschaften von Reaktoren	1294
3.1	Die Kettenreaktion	1294
3.2	Die Energieabhängigkeit der Neutronenausbeute $\eta(E)$ und wesentliche Folgerungen	1295
3.3	Neutronenmultiplikation in U^{238} oder Natur-Uran	1297
3.4	Physikalische Anforderungen an einen Neutronen-Moderator	1298
3.5	Kühlmittel und Strukturmaterial	1299
3.6	Der kritische Zustand eines Reaktors	1301
3.7	Neutronenzyklus in Thermischen und Schnellen Reaktoren	1302
4.	Neutronenbremsung in unendlich ausgedehnten Medien:	
	Energieverteilung der Neutronen	1304
4.1	Neutronenflußdichte und Reaktionsrate	1305
4.2	Bilanzgleichung für die Neutronen-Reaktionsraten	1306
4.3	Abbremsung in Moderatorbereichen, $1/E$ -Spektrum	1306
4.4	Abbremsung im Resonanzbereich der schweren Kerne, Resonanzfeinstruktur der Energieverteilung	1308
4.5	Abbremsung im Bereich breiter Streuresonanzen, numerische Spektrumsbestimmung	1310
4.6	Das Multigruppenverfahren, effektive Wirkungsquerschnitte	1310
4.7	Energieverteilung thermischer Neutronen	1313
4.8	Resonanzeinfang im unendlich ausgedehnten Medium	1315
5.	Neutronen-Diffusion: Die Ortsverteilung der Neutronen in Reaktoren	1318
5.1	Die Diffusionsgleichung	1319
5.2	Randbedingungen und Gültigkeitsgrenzen der Diffusionstheorie	1321
5.3	Einfache Lösungsformen der Diffusionsgleichung	1323

5.4	Heterogene Systeme, die Einheits-Zelle	1325
6.	Die stationäre Multigruppen-Diffusionsgleichung; Kritikalität und Neutronenmultiplikationskonstante als Eigenwert	1328
6.1	Die Multigruppenform der Diffusionsgleichung	1328
6.2	Kritikalität	1328
6.3	Eigenwert der Diffusionsgleichung und Neutronenmultiplikation	1329
6.4	Die Vierfaktorenformel	1330
7.	Physikalische Auslegungsdaten eines frischen Reaktors	1332
7.1	Das Spaltstoffinventar und andere Auslegungsdaten für die wichtigsten Vertreter heutiger Leistungsreaktor-Baulinien	1332
7.2	Leistungsverteilung	1341
8.	Veränderungen der Neutronenmultiplikation während des Reaktorbetriebs; Grundsätzliche Bemerkungen	1342
8.1	Änderung der Isotopenzusammensetzung	1342
8.2	Spaltstoffüberschuß, Reaktorregelung	1343
8.3	Brennstoffmanagement	1343
8.4	Temperaturänderungen	1344
8.5	Kühlmittelverlust	1346
8.6	Zeitverhalten des Reaktors bei Störfällen	1346
9.	Behandlung des Langzeitverhaltens von Reaktoren	1350
9.1	Die Abbrandgleichung	1350
9.2	Der Abbrand des Spaltstoffes	1352
9.3	Plutoniumaufbau	1353
9.4	Plutoniumrückführung	1354
9.5	Spaltproduktaufbau	1354
9.6	Reaktivitätseffekte	1355
9.7	Konversions- und Brutraten	1357
10.	Reaktordynamik	1357
10.1	Die kinetischen Gleichungen	1357
10.2	Das Modell des Punktreaktors	1360
10.3	Einfache Lösungen der Punktkinetischen Gleichungen ohne Rückwirkung	1363
10.4	Reaktivitätsstörungen mit Temperaturrückwirkung.	1365
	Literatur zum IX. Kapitel	1369

X. Kapitel. Das Plasma

von Prof. Dr.-Ing. Burkhard Wende, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Berlin

1.	Überblick und Abgrenzung	1371
2.	Plasmabegriff und Debye-Theorie	1373
3.	Einige Elementarprozesse in Gasen und Plasmen. — Wechselwirkungen zwischen Atomen, Elektronen, Ionen und Photonen	1377
3.1	Stoßquerschnitt, Stoßfrequenz, freie Weglänge	1377
3.2	Elastische Stöße	1381
3.3	Unelastische Stöße	1386
4.	Plasma im vollständigen thermodynamischen Gleichgewicht, Grundlegende Temperaturabhängigkeiten	1391
5.	Energieaustauschprozesse im Plasma und lokales thermodynamisches Gleichgewicht.	1396
6.	Erzeugung von Laborplasmen; Anwendungen	1405
6.1	Laborplasmen	1405
6.2	Anwendungen	1411
7.	Energieinhalt (Enthalpie und spezifische Wärmekapazität	1414
8.	Transportvorgänge	1420
8.1	Elektrische Leitfähigkeit	1421
8.2	Wärmeleitfähigkeit	1426

9.	Plasma in elektrischen und magnetischen Feldern . .	1429
9.1	Teilchenmodell	1429
9.2	Magnetohydrodynamik und Magnetohydrostatik . .	1434
10.	Wellen im Plasma	1439
11.	Strahlung von Plasmen	1443
11.1	Emission, Absorption, Kirchhoff-Satz	1444
11.2	Strahlung aus großen Plasmavolumen	1445
11.3	Emission und Absorption von Spektrallinien	1447
11.4	Verbreiterung von Spektrallinien	1452
11.5	Emission und Absorption kontinuierlicher Strahlung	1458
	Literatur zum X. Kapitel	1464

XI. Kapitel. Fusionsexperimente

von Prof. Dr. rer. nat. Günther Lehner, Universität Stuttgart

1.	Kernphysikalische Grundlagen	1467
2.	Magnetohydrodynamik und Magnetohydrostatik	1476
3.	Der Pinch-Effekt	1479
3.1	Der z-Pinch-Effekt	1480
3.2	Der ©-Pinch-Effekt	1486
4.	Toroidaler Plasmaeinschluß	1489
4.1	Rotationssymmetrische toroidale Anordnungen	1501
4.2	Nicht rotationssymmetrische toroidale Anordnungen. .	1501
5.	Spiegelmaschinen	1504
6.	Zusammenfassung	1506
	Literatur zum XI. Kapitel	1506

XII. Kapitel. Die Sterne

von Prof. Dr. rer. nat. Kurt Hunger, Technische Universität Berlin

1.	Einleitung	1509
1.1	Allgemeiner Überblick	1509
1.2	Historische Bemerkungen	1510
2.	Beobachtungen	1511
2.1	Integrale Zustandsgrößen	1511
2.2	Zustandsdiagramme	1514
3.	Gleichgewichtsbedingungen	1518
3.1	Hydrostatisches Gleichgewicht. Massenbilanz	1518
3.2	Energiegleichgewicht	1520
3.3	Energietransport	1524
4.	Konstitutive Gleichungen	1534
4.1	Zustandsgleichung $P(p,T)$	1535
4.2	Opazitätskoeffizient « (p,T)	1537
4.3	Kernenergie-Erzeugung $e(p,T)$	1540
5.	Lösungen der Aufbaugleichungen	1547
5.1	Randbedingungen, „Eindeutigkeits“-Satz (Russel-Vogt-Theorem)	1547
5.2	Lösungsmethoden	1549
5.3	Standard-Transformation, Homologe Sterne	1550
5.4	Vollkonvektive Sterne. Hayashi-Grenze	1555
6.	Sternentwicklung	1558
6.1	Sternentstehung	1558
6.2	Hauptreihen-Phase	1562
6.3	Nachhauptreihen-Entwicklung. Alter von Sternhaufen	1564
6.4	Rote Riesen. He-Flash	1567
6.5	Massenverlust. Spätphasen	1572

7.	Endstadien	1575
7.1	Weiße Zwerge	1575
7.2	Neutronensterne	1577
7.3	Schwarze Löcher (kollabierte Sterne)	1579
8.	Schlußbetrachtung	1580
	Literatur zum XII. Kapitel	1580
Namen- und Sachregister		XXI
Konstanten		XLV11
Umrechnungsfaktoren für Energieeinheiten		XLVIII
Periodensystem der Elemente		XLIX