

Gunnar Lindström Rudolf Langkau
Wolfgang Scobel

Physik kompakt 3

Quantenphysik
und Statistische Physik

Zweite Auflage
Mit 170 Abbildungen



Springer

Professor Dr. Dr. h.c. Gunnar Lindström
Professor Dr. Rudolf Langkau
Professor Dr. Wolfgang Scobel
Universität Hamburg
Institut für Experimentalphysik
Luruper Chaussee 149
22761 Hamburg, Deutschland
e-mail: gunnar.lindstroem@desy.de
wolfgang.scobel@desy.de

Die erste Auflage erschien in zwei Teilbänden in dem 6teiligen Werk *Physik kompakt* in der Reihe: Vieweg Studium – Grundkurs Physik, herausgegeben von Hanns Ruder, bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme:
Physik kompakt. -
Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris ; Tokio : Springer
(Springer-Lehrbuch)
Bd. 3. Quantenphysik und Statistische Physik / Gunnar Lindström ... - 2. Aufl. - 2002
ISBN 3-540-43139-X

ISBN 3-540-43139-X 2. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ein Unternehmen der BertelsmannSpringer Science+Business Media GmbH

<http://www.springer.de>

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Datenkonvertierung von Fa. LE-TeX, Leipzig
Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg
Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10860389 56/3141/ba - 5 4 3 2 1 0

Inhaltsverzeichnis

Teil I Quantenphysik

1	Grenzen der klassischen Physik	3
2	Atomarer Aufbau der Materie	7
2.1	Atom- und Elektronen-Hypothese	7
2.2	Physikalische Begriffe und Zusammenhänge	11
2.3	Experimentelle Methoden zur Bestimmung der LOSCHMIDT-Zahl und der Elementarladung	12
3	Quantennatur elektromagnetischer Strahlung	21
3.1	Strahlung des Schwarzen Körpers	21
3.2	Spezifische Wärme fester Substanzen	28
3.3	Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie: Fotoeffekt, Compton-Effekt, Paareffekt. Das Photon	30
4	Wellennatur der Teilchenstrahlung	41
4.1	Hypothese von DE BROGLIE	41
4.2	Experimente zum Nachweis von Materiewellen	44
4.3	Darstellung von Materiewellen, Wellenpakete	50
5	Welle-Teilchen-Dualismus und Unschärferelation	55
5.1	Welle-Teilchen-Dualismus	55
5.2	Unschärferelation	62
5.3	Beispiel zur Energie-Zeit-Unschärfe	68
6	Atomspektren und Atommodelle	79
6.1	Atomare Linienspektren	79
6.2	Ältere Atommodelle (Historischer Rückblick)	81
6.3	BOHRsches Atommodell (1913)	86
7	Wellenfunktion	93
7.1	Wiederholung und Zusammenfassung	93
7.2	Erläuterung des Begriffs Wahrscheinlichkeit	94

7.3	Wellenfunktion zur Beschreibung eines quantenmechanischen Zustands, allgemeiner Fall	96
8	Schrödinger-Gleichung	101
8.1	Die Wellenfunktion als Lösung der Differentialgleichung, axiomatische Bedeutung, Eigenschaften	101
8.2	Die Wellengleichung der klassischen Physik als Konsequenz der gültigen Axiome	102
8.3	Plausibilitätsbetrachtung zum Verständnis der SCHRÖDINGER-Gleichung	105
8.4	Eigenschaften der SCHRÖDINGER-Gleichung und allgemeine Konsequenzen für ihre Lösungen	108
9	Erwartungswerte, Operatoren, Eigenwerte, Eigenfunktionen	117
9.1	Erwartungswerte	117
9.2	Operatoren, Korrespondenzprinzip	121
9.3	Eigenwertgleichung, Eigenwerte und Eigenfunktionen	124
9.4	Entwicklung einer Wellenfunktion nach Eigenfunktionen eines hermiteschen Operators	129
9.5	Zusammenfassung der Axiome der Quantenmechanik	132
10	Heisenbergsche Unschärferelation und Ehrenfest-Theorem als Konsequenz der Axiome	135
10.1	HEISENBERGSche Unschärferelation	135
10.2	EHRENFEST-Theorem	136
11	Lösung der SCHRÖDINGER-Gleichung in einfachen Beispielen	139
11.1	Streuung freier Teilchen an einer Potentialstufe	139
11.2	Tunneleffekt durch eine Potentialbarriere	147
11.3	Kastenpotential, gebundene Zustände	153
11.4	Eindimensionaler harmonischer Oszillator	159
11.5	Gebundene und ungebundene Zustände, allgemeines	164
12	Das Wasserstoff-Atom, Ein-Elektron-Systeme	167
12.1	Aufstellung und Lösung der SCHRÖDINGER-Gleichung	167
12.2	Wellenfunktionen des Ein-Elektron-Systems	181
12.3	Emission und Absorption elektromagnetischer Strahlung, Auswahlregeln für Dipolstrahlung, Termschema	187
13	Magnetisches Dipolmoment von Bahndrehimpuls und Eigendrehimpuls des Elektrons	197
13.1	Bahndrehimpuls und magnetisches Moment, ZEEMAN-Effekt ..	197

13.2	Spin und magnetisches Moment des Elektrons, STERN-GERLACH-Experiment und RICHARDSON-EINSTEIN-DE HAAS-Effekt	201
13.3	Spin-Bahn-Wechselwirkung, Feinstruktur	204
14	Mehr-Elektronen-Atome	215
14.1	Modell unabhängiger Teilchen	215
14.2	Zentralfeld-Näherung, Abschirmung des Kernpotentials durch die Elektronenhülle	218
14.3	Elektronen als ununterscheidbare = identische Teilchen. Antisymmetrische und symmetrische Wellenfunktion. Austausch-Wechselwirkung	222
14.4	Berücksichtigung des Elektronenspins. Ortswellenfunktion, Spinwellenfunktion und Gesamtwellenfunktion. Antisymmetrie der Gesamtwellenfunktion. Elektronen als Fermionen	225
14.5	Das Niveauschema des He-Atoms	227
14.6	PAULI-Prinzip, Grundzustände der Viel-Elektronen-Atome. Periodisches System der Elemente	229

Teil II Statistische Physik

1	Quantenmechanische Grundlagen	235
2	Verteilungen und Mikrozustände	237
3	Die Wahrscheinlichkeit für einen Zustand	243
3.1	Grundsätzliches zum Begriff der Wahrscheinlichkeit	243
3.2	Die Wahrscheinlichkeits-Hypothese	244
4	Der Gleichgewichtszustand	247
4.1	Allgemeine Vorbemerkungen	247
4.2	Das Auffinden des Gleichgewichtszustandes	247
4.3	Der Gleichgewichtszustand bei der BOLTZMANN-Statistik	251
4.4	Der Gleichgewichtszustand bei der BOSE-Statistik	252
4.5	Der Gleichgewichtszustand bei der FERMI-Statistik	253
4.6	Formaler Vergleich der drei Verteilungen	254
4.7	Zur Bedeutung der Parameter α und β	254
5	Energieniveaus bei einem idealen Gas	263
5.1	Vorbemerkung	263
5.2	Energieniveaus in einem eindimensionalen Potentialtopf	263
5.3	Energieniveaus in einem dreidimensionalen Potentialtopf	265

5.4	Quantenzustände im Impulsraum	269
5.5	Zustandsdichte und Besetzungsdichte	273
6	Mittelwerte und Streuungen physikalischer Größen	277
6.1	Mittelwerte	277
6.2	Schwankungen und Streuungen	279
6.3	Streuung der Besetzungszahlen im Gleichgewichtszustand....	280
7	Anwendungen des Modells des idealen Gases	285
7.1	Ideales Gas aus Massenpunkten	285
7.1.1	Zustandssumme und Energie-Verteilung	285
7.1.2	Betrachtungen im Phasenraum	290
7.1.3	Druck und Zustandsgleichung	295
7.1.4	Ideales Gas im Schwerfeld	298
7.2	Ideales Gas aus zweiatomigen Molekülen	301
7.2.1	Allgemeines	301
7.2.2	Ideales Gas aus rotierenden zweiatomigen Molekülen ..	303
7.2.3	Ideales Gas aus schwingenden zweiatomigen Molekülen	307
7.2.4	Ideales Gas aus elektrischen Dipolen im elektrischen Feld	310
7.3	Ideales Gas aus Photonen (Hohlraum-Strahlung)	316
7.4	Ideales Gas aus Phononen (Wärmekapazität fester Körper) ..	324
7.5	Ideales Gas aus Elektronen (Leitungselektronen in Metallen) .	334
7.6	Ideales Gas aus Nukleonen (FERMI-Gas-Modell der Atomkerne)	346
8	Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik	349
9	Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik	353
10	Anwendung des Ersten Hauptsatzes bei der Beschreibung spezieller Zustandsänderungen	361
11	Wärmekraftmaschinen	367
11.1	Allgemeine Vorbemerkungen	367
11.2	Die STIRLING-Maschine	368
11.3	Die CARNOT-Maschine	373
11.4	Die Photonengas-Maschine	377
12	Die Entropie	383
12.1	Allgemeine Einführung des Begriffes	383
12.2	Entropieänderungen an Beispielen ausgewählter Prozesse	387
12.3	Die statistische Definition der Entropie	395
12.4	Entropie und physikalische Korrektur der BOLTZMANNschen Zählung	398

13	Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik	405
14	Der Übergang zum realen Gas	407
14.1	Vorbemerkung	407
14.2	Der Virialsatz für ein Teilchensystem	407
14.3	Das innere und das äußere Virial	409
14.4	Die VAN DER WAALS'sche Näherung für das innere Virial	412
14.5	Verflüssigung und Verdampfung	416
14.6	Die innere Energie eines realen Gases in der VAN DER WAAL'schen Näherung	424
14.7	Der JOULE-THOMSON-Effekt	427
	Sachwortverzeichnis	431

Physik kompakt 3

Quantenphysik und Statistische Physik

Lindström, G.; Langkau, R.; Scobel, W.

2002, XIV, 444 S. 4 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-540-43139-8