

Arnim Wachter Henning Hoerber

Repetitorium Theoretische Physik

Geleitwort von Klaus Schilling

Mit 80 Abbildungen,
67 Anwendungen und vollständigen Lösungswegen
sowie einem kommentierten Literaturverzeichnis



Springer

Dr. Armin Wachter

Pallas Gesellschaft
für parallele Anwendungen
und Systeme mbH
Hermühlheimer Strasse 10
D-50321 Brühl
E-Mail: wachter@pallas.de

Dr. Henning Hoerber

Compagnie Générale de Géophysique
CGG House, 4 Dukes Green Avenue
Feltham, Middlesex TW14 0LR
United Kingdom
E-Mail: hhoerber@cgg.com

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Wachter, Armin:

Repetitorium theoretische Physik /
Armin Wachter; Henning Hoerber. –
Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest;
Hongkong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio:
Springer, 1998
(Springer-Lehrbuch)
ISBN 3-540-62989-0

ISBN 3-540-62989-0 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 Funk- sendung, 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 1998
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.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage von den Autoren mit Springer- \TeX -Makros
Herstellung: G. Dimler
Einbandgestaltung: design & production GmbH, Heidelberg

SPIN: 10546040

56/3144 – 5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

Anwendungsverzeichnis	XIX
1. Mechanik	1
1.1 Newtonsche Mechanik	2
1.1.1 Koordinatensysteme und Vektoren	3
1.1.2 Newtonsche Axiome	5
1.1.3 Physikalische Folgerungen, Erhaltungssätze	8
1.1.4 Beschleunigte Koordinatensysteme und Inertialsysteme, Galilei-Invarianz	14
1.1.5 N -Teilchensysteme	20
Anwendungen	23
1.2 Lagrange-Formalismus	28
1.2.1 Zwangskräfte, d'Alembertsches Prinzip und Lagrange-Gleichungen	29
1.2.2 Erhaltungssätze	35
1.2.3 Hamilton-Prinzip und Wirkungsfunktional	38
Anwendungen	43
1.3 Hamilton-Formalismus	50
1.3.1 Hamiltonsche Gleichungen	50
1.3.2 Erhaltungssätze	52
1.3.3 Poisson-Klammer	54
1.3.4 Kanonische Transformationen	56
1.3.5 Hamilton-Jacobi-Gleichung	60
Anwendungen	63
1.4 Bewegung starrer Körper	66
1.4.1 Allgemeine Bewegung starrer Körper	67
1.4.2 Rotation des starren Körpers um einen Punkt	69
1.4.3 Eulersche Winkel und Lagrange-Gleichungen	72
Anwendungen	74
1.5 Zentralkraftprobleme	77
1.5.1 Zwei-Teilchensysteme	77
1.5.2 Konservative Zentralkräfte, $1/r$ -Potentiale	79
1.5.3 Keplersche Gesetze und Gravitationspotential	83

1.5.4	Ein-Teilchenstreuung an ein festes Target	87
1.5.5	Zwei-Teilchenstreuung	91
	Anwendungen	95
1.6	Relativistische Mechanik	99
1.6.1	Grundvoraussetzungen, Minkowski-Raum, Lorentz-Transformation	100
1.6.2	Relativistische Effekte	105
1.6.3	Kausalitätsprinzip, raum-, zeit- und lichtartige Vektoren	106
1.6.4	Lorentzinvariante Formulierung der relativistischen Mechanik	108
1.6.5	Lagrange-Formulierung der relativistischen Mechanik .	112
	Anwendungen	115
2.	Elektrodynamik	119
2.1	Formalismus der Elektrodynamik	120
2.1.1	Maxwell-Gleichungen und Lorentz-Kraft	121
2.1.2	Interpretation der Maxwell-Gleichungen	123
2.1.3	Energie- und Impulserhaltungssatz	126
2.1.4	Physikalische Einheiten	130
	Anwendungen	132
2.2	Lösungen der Maxwell-Gleichungen in Form von Potentialen .	134
2.2.1	Skalarpotential und Vektorpotential	135
2.2.2	Eichtransformationen	135
2.2.3	Allgemeine Lösung der homogenen Wellengleichungen .	139
2.2.4	Spezielle Lösung der inhomogenen Wellengleichungen, retardierte Potentiale	140
	Anwendungen	143
2.3	Lorentzinvariante Formulierung der Elektrodynamik	146
2.3.1	Lorentz-Tensoren	146
2.3.2	Lorentzinvariante Maxwell-Gleichungen	148
2.3.3	Transformationsverhalten elektromagnetischer Felder .	151
2.3.4	Lorentz-Kraft und Invarianz	152
2.3.5	Energie- und Impulserhaltung	153
	Anwendungen	155
2.4	Strahlungstheorie	157
2.4.1	Liénard-Wiechert-Potentiale	158
2.4.2	Strahlungsenergie	161
2.4.3	Dipolstrahlung	164
	Anwendungen	168
2.5	Zeitunabhängige Elektrodynamik	169
2.5.1	Elektrostatik und Magnetostatik	170
2.5.2	Multipolentwicklung statischer Potentiale und Felder..	173
2.5.3	Randwertprobleme der Elektrostatik I	178
2.5.4	Randwertprobleme der Elektrostatik II	184

2.5.5	Feldverteilungen in der Magnetostatik	188
	Anwendungen	192
2.6	Elektrodynamik in Materie	194
2.6.1	Makroskopische Maxwell-Gleichungen	195
2.6.2	Materialgleichungen	201
2.6.3	Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen	203
	Anwendungen	205
2.7	Elektromagnetische Wellen	208
2.7.1	Ebene Wellen in nichtleitenden Medien	208
2.7.2	Reflektion und Brechung	211
2.7.3	Überlagerung von Wellen, Wellenpakete	216
2.7.4	Ebene Wellen in leitenden Medien	220
2.7.5	Zylindrischer Hohlleiter	221
	Anwendungen	224
2.8	Lagrange-Formalismus in der Elektrodynamik	226
2.8.1	Lagrange- und Hamilton-Funktion eines geladenen Teilchens	227
2.8.2	Lagrange-Dichte des elektromagnetischen Feldes	228
2.8.3	Erhaltungssätze, Noether-Theorem	231
2.8.4	Interne Symmetrien und Eichprinzip	233
	Anwendungen	237
3.	Quantenmechanik	239
3.1	Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik	241
3.1.1	Hilbert-Raum	242
3.1.2	Lineare Operatoren	246
3.1.3	Eigenwertproblem	248
3.1.4	Darstellung von Vektoren und linearen Operatoren	252
	Anwendungen	255
3.2	Allgemeiner Aufbau der Quantentheorie	258
3.2.1	Grenzen der klassischen Physik	258
3.2.2	Postulate der Quantenmechanik	259
3.2.3	Quantenmechanische Messung	263
3.2.4	Schrödinger-Bild und Schrödinger-Gleichung	266
3.2.5	Andere Bilder der Quantentheorie	269
3.2.6	Darstellungen	272
	Anwendungen	278
3.3	Eindimensionale Systeme	280
3.3.1	Betrachtungen zur Schrödinger-Gleichung im Ortsraum	281
3.3.2	Zerfließen eines freien Wellenpaketes	284
3.3.3	Potentialstufe	286
3.3.4	Potentialkasten	291
3.3.5	Harmonischer Oszillator	294
	Anwendungen	296

3.4	Quantenmechanische Drehimpulse	299
3.4.1	Allgemeine Eigenschaften	299
3.4.2	Bahndrehimpuls	302
3.4.3	Spin	304
3.4.4	Addition von Drehimpulsen	305
3.4.5	Spin-Bahn- und Spin-Spin-Kopplung	308
	Anwendungen	310
3.5	Schrödinger-Gleichung in drei Dimensionen	313
3.5.1	Zwei-Teilchensysteme und Separation der Schwerpunktsbewegung	314
3.5.2	Radiale Schrödinger-Gleichung	315
3.5.3	Freies Teilchen	317
3.5.4	Kugelsymmetrischer Potentialtopf	320
3.5.5	Naives Wasserstoffatom	321
	Anwendungen	326
3.6	Elektromagnetische Wechselwirkung	328
3.6.1	Elektron im elektromagnetischen Feld	328
3.6.2	Eichinvarianz der Schrödinger-Gleichung	330
3.6.3	Stern-Gerlach-Experiment	334
	Anwendungen	336
3.7	Störungsrechnung und reales Wasserstoffatom	339
3.7.1	Zeitunabhängige Störungstheorie	339
3.7.2	Stark-Effekt	343
3.7.3	Feinstrukturaufspaltung	345
3.7.4	Anomaler Zeeman-Effekt	348
3.7.5	Hyperfeinstrukturaufspaltung	349
	Anwendungen	351
3.8	Atomare Übergänge	353
3.8.1	Zeitabhängige Störungstheorie	353
3.8.2	Spontane Emission, Phasenraum der Photonen	360
3.8.3	Auswahlregeln in der Dipolnäherung	362
3.8.4	Intensitätsregeln	365
3.8.5	$2P_{3/2} \rightarrow 1S_{1/2}$ -Übergang	366
	Anwendungen	367
3.9	N -Teilchensysteme	370
3.9.1	Unterscheidbare Teilchen	370
3.9.2	Identische Teilchen, Pauli-Prinzip	371
3.9.3	Druck der Fermionen	375
	Anwendungen	377
3.10	Streutheorie	379
3.10.1	Streuamplitude und Wirkungsquerschnitt	380
3.10.2	Streuphasenanalyse bei zentralsymmetrischen Potentialen	385

3.10.3	Resonanzstreuung	389
3.10.4	Gegenseitige Streuung von Teilchen	391
	Anwendungen	396
4.	Statistische Physik und Thermodynamik	399
4.1	Grundlagen der statistischen Physik	401
4.1.1	Zustände, Phasenraum, Ensembles und Wahrscheinlichkeiten	402
4.1.2	Klassische statistische Physik: Wahrscheinlichkeitsdichte	405
4.1.3	Quantenstatistische Physik: Dichteoperator	406
4.1.4	Zeitliche Entwicklung eines Ensembles	409
	Anwendungen	414
4.2	Ensemble-Theorie I: Mikrokanonisches Ensemble und Entropie	416
4.2.1	Mikrokanonisches Ensemble	416
4.2.2	Prinzip der maximalen Entropie	419
4.2.3	Gleichgewichtsbedingungen und generalisierte Kräfte	421
	Anwendungen	424
4.3	Ensemble-Theorie II: Kanonisches und großkanonisches Ensemble	428
4.3.1	Kanonisches Ensemble	428
4.3.2	Großkanonisches Ensemble	433
4.3.3	Vergleich der Ensembles	437
	Anwendungen	439
4.4	Entropie und Informationstheorie	442
4.4.1	Informationstheorie und Shannon-Entropie	442
4.4.2	Variation der Entropie	446
	Anwendungen	451
4.5	Thermodynamik	453
4.5.1	Hauptsätze der Thermodynamik	455
4.5.2	Thermodynamische Potentiale	458
4.5.3	Zustandsänderungen und thermische Koeffizienten	461
4.5.4	Gleichgewicht und Stabilität	462
4.5.5	Wärme kraftmaschinen und Kreisprozesse	466
	Anwendungen	472
4.6	Klassische Maxwell-Boltzmann-Statistik	474
4.6.1	Klassischer Grenzfall	475
4.6.2	Virial- und Äquipartitionstheorem	476
4.6.3	Harmonischer Oszillator	478
4.6.4	Ideale Spinsysteme, Paramagnetismus	484
	Anwendungen	489
4.7	Quantenstatistik	491
4.7.1	Allgemeiner Formalismus	492
4.7.2	Ideales Fermi-Gas	501

4.7.3	Ideales Bose-Gas	507
	Anwendungen	512
A.	Mathematischer Anhang	517
A.1	Vektoroperationen	517
A.2	Integralsätze	519
A.3	Partielle Differentialquotienten	520
A.4	Vollständige Funktionensysteme, Fourier-Analyse	522
A.5	Bessel-Funktionen, sphärische Bessel-Funktionen	523
A.6	Legendre-Funktionen, Legendre-Polynome, Kugelflächenfunktionen	525
B.	Literaturverzeichnis	529
B.1	Allgemeine Lehrbücher	529
B.2	Mechanik	530
B.3	Elektrodynamik	530
B.4	Quantenmechanik	531
B.5	Statistische Physik und Thermodynamik	533
	Sachverzeichnis	535