

# Inhaltsverzeichnis

Anwendungsverzeichnis .....	XXI
<b>1. Mechanik .....</b>	<b>1</b>
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 .....	13
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 .....	37
Anwendungen .....	42
1.3 Hamilton-Formalismus .....	49
1.3.1 Hamiltonsche Gleichungen .....	49
1.3.2 Erhaltungssätze .....	51
1.3.3 Poisson-Klammer .....	53
1.3.4 Kanonische Transformationen .....	55
1.3.5 Hamilton-Jacobi-Gleichung .....	59
Anwendungen .....	62
1.4 Bewegung starrer Körper .....	65
1.4.1 Allgemeine Bewegung starrer Körper .....	66
1.4.2 Rotation des starren Körpers um einen Punkt .....	68
1.4.3 Eulersche Winkel und Lagrange-Gleichungen .....	70
Anwendungen .....	73
1.5 Zentralkraftprobleme .....	76
1.5.1 Zwei-Teilchensysteme .....	76
1.5.2 Konservative Zentralkräfte, $1/r$ -Potentiale .....	78
1.5.3 Keplersche Gesetze und Gravitationspotential .....	82

1.5.4	Ein-Teilchenstreuung an ein festes Target .....	86
1.5.5	Zwei-Teilchenstreuung .....	89
	Anwendungen .....	94
1.6	Relativistische Mechanik .....	98
1.6.1	Grundvoraussetzungen, Minkowski-Raum, Lorentz-Transformation .....	99
1.6.2	Relativistische Effekte .....	103
1.6.3	Kausalitätsprinzip, raum-, zeit- und lichtartige Vektoren .....	105
1.6.4	Lorentzkovariante Formulierung der relativistischen Mechanik .....	106
1.6.5	Lagrange-Formulierung der relativistischen Mechanik .	111
	Anwendungen .....	113
<b>2.</b>	<b>Elektrodynamik .....</b>	<b>117</b>
2.1	Formalismus der Elektrodynamik .....	118
2.1.1	Maxwell-Gleichungen und Lorentz-Kraft .....	119
2.1.2	Interpretation der Maxwell-Gleichungen .....	121
2.1.3	Energie- und Impulserhaltungssatz .....	124
2.1.4	Physikalische Einheiten .....	128
	Anwendungen .....	130
2.2	Lösungen der Maxwell-Gleichungen in Form von Potentialen .	132
2.2.1	Skalarpotential und Vektorpotential .....	133
2.2.2	Eichtransformationen .....	133
2.2.3	Allgemeine Lösung der homogenen Wellengleichungen .	137
2.2.4	Spezielle Lösung der inhomogenen Wellengleichungen, retardierte Potentiale .....	138
	Anwendungen .....	141
2.3	Lorentzkovariante Formulierung der Elektrodynamik .....	144
2.3.1	Lorentz-Tensoren .....	144
2.3.2	Lorentzkovariante Maxwell-Gleichungen .....	146
2.3.3	Transformationsverhalten elektromagnetischer Felder .	149
2.3.4	Lorentz-Kraft und Kovarianz .....	150
2.3.5	Energie- und Impulserhaltung .....	151
	Anwendungen .....	153
2.4	Strahlungstheorie .....	155
2.4.1	Liénard-Wiechert-Potentiale .....	156
2.4.2	Strahlungsenergie .....	159
2.4.3	Dipolstrahlung .....	162
	Anwendungen .....	165
2.5	Zeitunabhängige Elektrodynamik .....	167
2.5.1	Elektrostatik und Magnetostatik .....	168
2.5.2	Multipolentwicklung statischer Potentiale und Felder ..	171
2.5.3	Randwertprobleme der Elektrostatik I .....	176
2.5.4	Randwertprobleme der Elektrostatik II .....	181

2.5.5	Feldverteilungen in der Magnetostatik.....	186
	Anwendungen.....	189
2.6	Elektrodynamik in Materie.....	192
2.6.1	Makroskopische Maxwell-Gleichungen.....	192
2.6.2	Materialgleichungen.....	198
2.6.3	Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen.....	200
	Anwendungen.....	202
2.7	Elektromagnetische Wellen.....	205
2.7.1	Ebene Wellen in nichtleitenden Medien.....	206
2.7.2	Reflexion und Brechung.....	209
2.7.3	Überlagerung von Wellen, Wellenpakete.....	214
2.7.4	Ebene Wellen in leitenden Medien.....	218
2.7.5	Zylindrischer Hohlleiter.....	219
	Anwendungen.....	221
2.8	Lagrange-Formalismus in der Elektrodynamik.....	224
2.8.1	Lagrange- und Hamilton-Funktion eines geladenen Teilchens.....	224
2.8.2	Lagrange-Dichte des elektromagnetischen Feldes.....	226
2.8.3	Erhaltungssätze, Noether-Theorem.....	228
2.8.4	Interne Symmetrien und Eichprinzip.....	230
	Anwendungen.....	234
<b>3.</b>	<b>Quantenmechanik.....</b>	<b>237</b>
3.1	Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik.....	239
3.1.1	Hilbert-Raum.....	240
3.1.2	Lineare Operatoren.....	244
3.1.3	Eigenwertproblem.....	246
3.1.4	Darstellung von Vektoren und linearen Operatoren... ..	250
	Anwendungen.....	253
3.2	Allgemeiner Aufbau der Quantentheorie.....	255
3.2.1	Grenzen der klassischen Physik.....	255
3.2.2	Postulate der Quantenmechanik.....	257
3.2.3	Quantenmechanische Messung.....	260
3.2.4	Schrödinger-Bild und Schrödinger-Gleichung.....	264
3.2.5	Andere Bilder der Quantentheorie.....	266
3.2.6	Darstellungen.....	270
	Anwendungen.....	275
3.3	Eindimensionale Systeme.....	278
3.3.1	Betrachtungen zur Schrödinger-Gleichung im Ortsraum.....	278
3.3.2	Zerfließen eines freien Wellenpaketes.....	281
3.3.3	Potentialstufe.....	283
3.3.4	Potentialkasten.....	287
3.3.5	Harmonischer Oszillator.....	290
	Anwendungen.....	293

3.4	Quantenmechanische Drehimpulse .....	296
3.4.1	Allgemeine Eigenschaften .....	296
3.4.2	Bahndrehimpuls .....	299
3.4.3	Spin .....	301
3.4.4	Addition von Drehimpulsen .....	302
3.4.5	Spin-Bahn- und Spin-Spin-Kopplung .....	305
	Anwendungen .....	307
3.5	Schrödinger-Gleichung in drei Dimensionen .....	310
3.5.1	Zwei-Teilchensysteme und Separation der Schwerpunktsbewegung .....	310
3.5.2	Radiale Schrödinger-Gleichung .....	312
3.5.3	Freies Teilchen .....	314
3.5.4	Kugelsymmetrischer Potentialtopf .....	316
3.5.5	Naives Wasserstoffatom .....	318
	Anwendungen .....	322
3.6	Elektromagnetische Wechselwirkung .....	324
3.6.1	Elektron im elektromagnetischen Feld .....	324
3.6.2	Eichinvarianz der Schrödinger-Gleichung .....	327
3.6.3	Stern-Gerlach-Experiment .....	330
	Anwendungen .....	332
3.7	Störungsrechnung und reales Wasserstoffatom .....	334
3.7.1	Zeitunabhängige Störungstheorie .....	335
3.7.2	Stark-Effekt .....	339
3.7.3	Feinstrukturaufspaltung .....	341
3.7.4	Anomaler Zeeman-Effekt .....	343
3.7.5	Hyperfeinstrukturaufspaltung .....	345
	Anwendungen .....	347
3.8	Atomare Übergänge .....	349
3.8.1	Zeitabhängige Störungstheorie .....	349
3.8.2	Spontane Emission, Phasenraum der Photonen .....	355
3.8.3	Auswahlregeln in der Dipolnäherung .....	357
3.8.4	Intensitätsregeln .....	360
3.8.5	$2p_{3/2} \rightarrow 1s_{1/2}$ -Übergang .....	362
	Anwendungen .....	363
3.9	$N$ -Teilchensysteme .....	366
3.9.1	Unterscheidbare Teilchen .....	366
3.9.2	Identische Teilchen, Pauli-Prinzip .....	367
3.9.3	Druck der Fermionen .....	370
	Anwendungen .....	372
3.10	Streutheorie .....	375
3.10.1	Streuamplitude und Wirkungsquerschnitt .....	375
3.10.2	Streuphasenanalyse bei zentralsymmetrischen Potentialen .....	380

3.10.3	Resonanzstreuung .....	384
3.10.4	Gegenseitige Streuung von Teilchen .....	387
	Anwendungen .....	391
<b>4.</b>	<b>Statistische Physik und Thermodynamik .....</b>	<b>395</b>
4.1	Grundlagen der statistischen Physik .....	397
4.1.1	Zustände, Phasenraum, Ensembles und Wahrscheinlichkeiten .....	398
4.1.2	Klassische statistische Physik: Wahrscheinlichkeitsdichte .....	402
4.1.3	Quantenstatistische Physik: Dichteoperator .....	402
4.1.4	Zeitliche Entwicklung eines Ensembles .....	405
	Anwendungen .....	410
4.2	Ensemble-Theorie I: Mikrokanonisches Ensemble und Entropie .....	412
4.2.1	Mikrokanonisches Ensemble .....	413
4.2.2	Prinzip der maximalen Entropie .....	415
4.2.3	Gleichgewichtsbedingungen und generalisierte Kräfte ..	417
	Anwendungen .....	421
4.3	Ensemble-Theorie II: Kanonisches und großkanonisches Ensemble .....	424
4.3.1	Kanonisches Ensemble .....	425
4.3.2	Großkanonisches Ensemble .....	429
4.3.3	Vergleich der Ensembles .....	433
	Anwendungen .....	435
4.4	Entropie und Informationstheorie .....	438
4.4.1	Informationstheorie und Shannon-Entropie .....	438
4.4.2	Variation der Entropie .....	442
	Anwendungen .....	447
4.5	Thermodynamik .....	449
4.5.1	Hauptsätze der Thermodynamik .....	451
4.5.2	Thermodynamische Potentiale .....	454
4.5.3	Zustandsänderungen und thermische Koeffizienten ...	457
4.5.4	Gleichgewicht und Stabilität .....	458
4.5.5	Wärmekraftmaschinen und Kreisprozesse .....	462
	Anwendungen .....	467
4.6	Klassische Maxwell-Boltzmann-Statistik .....	470
4.6.1	Klassischer Grenzfall .....	470
4.6.2	Virial- und Äquipartitionstheorem .....	472
4.6.3	Harmonischer Oszillator .....	473
4.6.4	Ideale Spinsysteme, Paramagnetismus .....	479
	Anwendungen .....	484
4.7	Quantenstatistik .....	486
4.7.1	Allgemeiner Formalismus .....	487
4.7.2	Ideales Fermi-Gas .....	496

4.7.3	Ideales Bose-Gas .....	501
	Anwendungen .....	507
<b>A.</b>	<b>Mathematischer Anhang</b> .....	511
A.1	Vektoroperationen .....	511
A.2	Integralsätze .....	513
A.3	Partielle Differentialquotienten .....	514
A.4	Vollständige Funktionensysteme, Fourier-Analyse .....	515
A.5	Bessel-Funktionen, sphärische Bessel-Funktionen .....	517
A.6	Legendre-Funktionen, Legendre-Polynome, Kugelflächenfunktionen .....	519
<b>B.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	523
B.1	Allgemeine Lehrbücher .....	523
B.2	Mechanik .....	524
B.3	Elektrodynamik .....	524
B.4	Quantenmechanik .....	525
B.5	Statistische Physik und Thermodynamik .....	526
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	529