

Inhalt

Vorwort — v

1	Newtonsche Mechanik — 1
1.1	Kinematik — 1
1.2	Der reelle Vektorraum $\mathbb{R}^n$ — 1
1.3	Euklidische Struktur — 2
1.4	Bewegung eines Massenpunktes — 4
1.5	Newtonsche Gesetze — 5
1.6	Arbeit und Energie — 7
1.7	Zweikörpersystem — 9
1.8	Systeme von mehreren Massenpunkten — 10
2	Das Prinzip der kleinsten Wirkung — 15
2.1	Einführung — 15
2.2	Zwangsbedingungen — 16
2.3	Variation einer Funktion — 18
2.4	Das Hamiltonsche Prinzip — 19
3	Die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen — 21
3.1	Die Lagrangeschen Gleichungen — 21
3.2	Forminvarianz der Lagrangeschen Gleichungen — 23
3.3	Beispiele — 25
3.4	Verallgemeinerte Potentiale — 27
3.5	Lagrangesche Gleichungen und allgemeine Zwangsbedingungen — 28
4	Symmetrien und Erhaltungssätze — 33
4.1	Verallgemeinerte Impulse — 33
4.2	Zyklische Koordinaten — 34
4.3	Noether-Theorem — 36
4.4	Impulserhaltung — 37
4.5	Drehimpulserhaltung — 38
4.6	Zentralkräfte — 39
4.7	Hamilton-Funktion — 43
5	Hamiltonsche Mechanik — 45
5.1	Legendre-Transformation — 45
5.2	Die Hamiltonschen Gleichungen — 46
5.3	Der Phasenraum — 50

5.4	Das Prinzip der kleinsten Wirkung im Phasenraum —	50
5.5	Die Poissonschen Klammern —	52
6	Kanonische Transformationen —	55
6.1	Punkt- und kanonische Transformationen —	55
6.2	Kanonische Transformationen und Poisson-Klammern —	56
6.3	Infinitesimale kanonische Transformationen —	57
7	Drehungen —	61
7.1	Drehmatrix —	61
7.2	Infinitesimale Drehungen —	63
7.3	Drehgruppe —	65
7.4	Drehungen und Observable —	68
7.5	Tensoren —	69
7.6	Tensoralgebra —	72
8	Rotierende Koordinatensysteme —	77
8.1	Winkelgeschwindigkeit —	77
8.2	Geschwindigkeit im rotierenden Koordinatensystem —	80
8.3	Bewegungsgleichung im rotierenden Koordinatensystem —	81
8.4	Das Foucaultsche Pendel —	83
8.5	Euler-Winkel —	85
9	Relativitätstheorie —	89
9.1	Postulate —	89
9.2	Einfache Lorentz-Transformation —	89
9.3	Intervalle, 4-Abstände —	91
9.4	Transformation der Geschwindigkeiten —	93
9.5	Transformation der Beschleunigung —	94
9.6	4-Vektoren —	95
9.7	Homogene Lorentz-Transformation —	96
9.8	Infinitesimale Lorentz-Transformationen —	99
9.9	4-Tensoren —	103
9.10	Kovarianz der Naturgesetze —	105
9.11	Lorentzkovariante Kinematik eines Massenpunktes —	106
9.12	Kovariantes Wirkungsprinzip —	109
9.13	Streuung von Teilchen —	112
10	Maxwell-Gleichungen —	115
10.1	Relativistische Dynamik —	115
10.2	Die relativistische Kraft —	116
10.3	Transformationsverhalten von $\vec{E}$ und $\vec{B}$ —	119

10.4	Der elektromagnetische Feldtensor —	120
10.5	4-Potentiale —	121
10.6	Homogene Maxwell-Gleichungen —	122
10.7	Die inhomogenen Maxwell-Gleichungen —	123
10.8	Eichtransformationen —	124
10.9	Differentialgleichungen für die Potentiale —	125
10.10	Poyntingsches Theorem —	126
10.11	Das Ohmsche Gesetz —	128
10.12	Lagrangesche Formulierung —	130
10.13	Noether-Theorem für Felder —	132
11	Elektrostatik —	135
11.1	Das elektrostatische Feld —	135
11.2	Das Coulombsche Gesetz —	136
11.3	Die Green-Funktion —	139
11.4	Multipolentwicklung in der Elektrostatik —	140
12	Elektromagnetische Strahlung —	143
12.1	Green-Funktionen, Retardierte Potentiale —	143
12.2	Multipolentwicklung der retardierten Potentiale —	146
12.3	Elektrische Dipolstrahlung E_1 —	149
12.4	Lineare Antennen —	153
13	Maxwell-Gleichungen in Materie —	157
13.1	Mittelung —	157
13.2	Mikroskopisches Modell —	159
14	Ebene Elektromagnetische Wellen —	167
14.1	Die Wellengleichung —	167
14.2	Polarisation —	170
14.3	Brechung und Reflexion —	171
15	Komplexe Vektorräume —	175
15.1	Vektoren —	175
15.2	Der komplexe Vektorraum $\mathbb{C}^N$ —	175
15.3	Skalarprodukt —	176
15.4	Basis —	179
15.5	Lineare Operatoren —	180
15.6	Inverser Operator —	182
15.7	Der adjungierte Operator —	183
15.8	Unitäre Operatoren —	184
15.9	Eigenwerte und Eigenvektoren —	185

15.10	Erwartungswert —	187
15.11	Operatoridentitäten —	188
15.12	Die Spur eines Operators —	189
15.13	Produktraum —	189
15.14	Der Hilbertsche Funktionenraum $\mathbb{L}^2$ —	191
15.15	Vollständigkeit in $\mathbb{L}^2$ —	192
15.16	Konvergenz —	193
15.17	Lineare Operatoren im Hilbertschen Funktionenraum —	194
15.18	Nicht-Normierbare Basen —	195
16	Grundlagen der Quantenmechanik —	197
16.1	Zustände und Observable in der klassischen Mechanik —	197
16.2	Postulate der Quantenmechanik —	197
16.3	Dynamik —	204
16.4	Heisenberg-Bild —	206
16.5	Schrödinger-Bild —	207
16.6	Energie-Eigenzustände —	209
17	Quantentheorie des Spins —	215
17.1	Das Stern-Gerlach Experiment —	215
17.2	Der zwei-dimensionale Zustandsraum $\mathbb{C}^2$ —	218
17.3	Spin-Operatoren —	220
17.4	Spinpräzession —	226
17.5	Allgemeinere Zwei-Zustandssysteme —	230
18	Quanteninformation und Verschränkung —	235
18.1	Qubits —	235
18.2	Verschränkung —	236
18.3	Die Bellsche Ungleichung —	238
19	Der harmonische Oszillator —	243
19.1	Energieeigenwerte —	243
19.2	Zeitliche Entwicklung —	249
20	Orts- und Impulsdarstellung —	253
20.1	Der Ortsoperator —	253
20.2	Translationen und der Impulsoperator: —	256
20.3	Der Hamilton-Differentialoperator —	259
20.4	Teilchen im Potentialtopf —	260
20.5	Der harmonische Oszillator —	262
20.6	Bahndrehimpuls —	264

20.7	Starrer Rotator — 265
20.8	Impulsraum — 267
21	Der Dichteoperator — 269
21.1	Der Dichteoperator für reine Zustände — 269
21.2	Der Dichte-Operator für statistische Gemische — 271
21.3	Dichtematrix für Spin- $\frac{1}{2}$ -Systeme — 273
21.4	Eigenschaften der allgemeinen Dichtematrix — 274
21.5	Zeitliche Entwicklung eines gemischten Systems — 275
21.6	Dichte-Operator für Teilsysteme — 276
21.7	Von Neumannsches Messpostulat — 278
21.8	Dekohärenz — 280
22	Die Feynmansche Quantenmechanik — 283
22.1	Der Propagator — 283
23	Symmetrien in der Quantenmechanik — 289
23.1	Das Wignersche Theorem — 289
23.2	Unitäre Transformationen — 290
23.3	Symmetrie — 292
23.4	Drehungen in der klassischen Mechanik — 294
23.5	Drehungen in der Quantenmechanik — 295
23.6	Observable und Drehungen — 296
23.7	Drehimpuls-Vertauschungsrelationen — 298
23.8	Endliche Drehungen — 299
23.9	Darstellungen von Spin- $\frac{1}{2}$ -Systemen — 300
23.10	Neutronen-Interferenz — 302
23.11	Drehinvarianz und Drehimpulserhaltung — 304
24	Eigenwertproblem von Drehimpulsoperatoren — 307
24.1	Drehimpuls-Eigenvektoren: — 307
24.2	Leiteroperatoren — 308
24.3	Eigenwerte von J^2 und J_z — 308
24.4	Matrixdarstellung des Drehoperators — 311
24.5	Drehmatrix und Euler-Winkel — 312
24.6	Entartungen — 313
24.7	Ganzzahlige und Halbzahlige j — 314
25	Addition von Drehimpulsen — 315
25.1	Produktraum — 315
25.2	Spin-Bahn-Kopplung — 316

25.3	Clebsch-Gordan-Koeffizienten —	319
25.4	Zwei Spin- $\frac{1}{2}$ -Systeme —	321
26	Bahndrehimpuls in der Ortsdarstellung —	325
26.1	Bahndrehimpuls —	325
26.2	Drehimpuls-Eigenfunktionen —	328
26.3	Bestimmung der $Y_l^m(\theta, \varphi)$ —	331
27	Das Wasserstoffatom —	333
27.1	Zentralpotentiale —	333
27.2	Das Wasserstoff-Atom —	335
28	Diskrete Symmetrien —	339
28.1	Raumspiegelungen, Parität —	339
28.2	Zeitumkehr —	344
29	Zeitunabhängige Störungstheorie —	351
29.1	Nicht-Entarteter Fall —	351
29.2	Entartung —	354
30	Feinstruktur des Wasserstoffatoms —	357
30.1	Spin-Bahn-Kopplung —	357
30.2	Relativistische Korrektur —	360
30.3	Darwin-Term —	361
31	Identische Teilchen —	365
31.1	Permutationssymmetrie —	365
31.2	Das Heliumatom —	367
32	Quanten-Statistische Mechanik —	371
32.1	Einführung —	371
32.2	Temperatur —	377
32.3	Statistische Quantenmechanik —	378
32.4	Entropie —	381
32.5	Stationäre Ensembles —	382
32.6	Thermodynamik —	389
32.7	Das ideale Boltzmann-Gas —	390
32.8	Systeme identischer Teilchen —	392
32.9	Das ideale Quantengas —	394

33 Quantenfelder — 401

33.1 Felder und Teilchen — 401

33.2 Quantisierung von Feldern — 403

33.3 Beobachtbarkeit und Realität in der Quantentheorie — 415

34 Allgemeine Relativitätstheorie — 417

34.1 Gravitation in der klassischen Mechanik — 417

34.2 Allgemeinen Koordinatentransformationen — 418

34.3 Die kovariante Ableitung — 423

34.4 Der Krümmungstensor — 425

34.5 Geodäten — 428

34.6 Die Einstein-Gleichungen — 429

34.7 Die Schwarzschild-Lösung — 435

Literatur — 443

Stichwortverzeichnis — 445