

# Inhalt

## Vorwort — v

<b>1</b>	<b>Newton'sche Mechanik — 1</b>
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	Newton'sche Gesetze — 5
1.6	Arbeit und Energie — 7
1.7	Zweikörpersystem — 9
1.8	Systeme von mehreren Massenpunkten — 10
<b>2</b>	<b>Das Prinzip der kleinsten Wirkung — 15</b>
2.1	Einführung — 15
2.2	Zwangsbedingungen — 16
2.3	Variation einer Funktion — 18
2.4	Das Hamiltonsche Prinzip — 19
<b>3</b>	<b>Die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen — 21</b>
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
<b>4</b>	<b>Symmetrien und Erhaltungssätze — 33</b>
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
<b>5</b>	<b>Hamiltonsche Mechanik — 45</b>
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
<b>6</b>	<b>Kanonische Transformationen — 55</b>
6.1	Punkt- und kanonische Transformationen — 55
6.2	Kanonische Transformationen und Poisson-Klammern — 56
6.3	Infinitesimale kanonische Transformationen — 57
<b>7</b>	<b>Drehungen — 61</b>
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
<b>8</b>	<b>Rotierende Koordinatensysteme — 77</b>
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
<b>9</b>	<b>Relativitätstheorie — 89</b>
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
<b>10</b>	<b>Maxwell-Gleichungen — 115</b>
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	<b>Elektrostatik — 135</b>
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	<b>Elektromagnetische Strahlung — 143</b>
12.1	Green-Funktionen, Retardierte Potentiale — 143
12.2	Multipolentwicklung der retardierten Potentiale — 146
12.3	Elektrische Dipolstrahlung E1 — 149
12.4	Lineare Antennen — 153
13	<b>Maxwell-Gleichungen in Materie — 157</b>
13.1	Mittelung — 157
13.2	Mikroskopisches Modell — 159
14	<b>Ebene Elektromagnetische Wellen — 167</b>
14.1	Die Wellengleichung — 167
14.2	Polarisation — 170
14.3	Brechung und Reflexion — 171
15	<b>Komplexe Vektorräume — 175</b>
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 $L^2$ — 191
15.15	Vollständigkeit in $L^2$ — 192
15.16	Konvergenz — 193
15.17	Lineare Operatoren im Hilbertschen Funktionenraum — 194
15.18	Nicht-Normierbare Basen — 195
<b>16</b>	<b>Grundlagen der Quantenmechanik — 197</b>
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
<b>17</b>	<b>Quantentheorie des Spins — 215</b>
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
<b>18</b>	<b>Quanteninformation und Verschränkung — 235</b>
18.1	Qubits — 235
18.2	Verschränkung — 236
18.3	Die Bellsche Ungleichung — 238
<b>19</b>	<b>Der harmonische Oszillator — 243</b>
19.1	Energieeigenwerte — 243
19.2	Zeitliche Entwicklung — 249
<b>20</b>	<b>Orts- und Impulsdarstellung — 253</b>
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	<b>Starrer Rotator — 265</b>
20.8	<b>Impulsraum — 267</b>
<b>21</b>	<b>Der Dichteoperator — 269</b>
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 Neumansches Messpostulat — 278
21.8	Dekohärenz — 280
<b>22</b>	<b>Die Feynmansche Quantenmechanik — 283</b>
22.1	Der Propagator — 283
<b>23</b>	<b>Symmetrien in der Quantenmechanik — 289</b>
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
<b>24</b>	<b>Eigenwertproblem von Drehimpulsoperatoren — 307</b>
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
<b>25</b>	<b>Addition von Drehimpulsen — 315</b>
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
<b>26</b>	<b>Bahndrehimpuls in der Ortsdarstellung —</b>	<b>325</b>
26.1	Bahndrehimpuls —	325
26.2	Drehimpuls-Eigenfunktionen —	328
26.3	Bestimmung der $Y_l^m(\theta, \varphi)$ —	331
<b>27</b>	<b>Das Wasserstoffatom —</b>	<b>333</b>
27.1	Zentralpotentiale —	333
27.2	Das Wasserstoff-Atom —	335
<b>28</b>	<b>Diskrete Symmetrien —</b>	<b>339</b>
28.1	Raumspiegelungen, Parität —	339
28.2	Zeitumkehr —	344
<b>29</b>	<b>Zeitunabhängige Störungstheorie —</b>	<b>351</b>
29.1	Nicht-Entarteter Fall —	351
29.2	Entartung —	354
<b>30</b>	<b>Feinstruktur des Wasserstoffatoms —</b>	<b>357</b>
30.1	Spin-Bahn-Kopplung —	357
30.2	Relativistische Korrektur —	360
30.3	Darwin-Term —	361
<b>31</b>	<b>Identische Teilchen —</b>	<b>365</b>
31.1	Permutationssymmetrie —	365
31.2	Das Heliumatom —	367
<b>32</b>	<b>Quanten-Statistische Mechanik —</b>	<b>371</b>
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

<b>33</b>	<b>Quantenfelder — 401</b>
33.1	Felder und Teilchen — 401
33.2	Quantisierung von Feldern — 403
33.3	Beobachtbarkeit und Realität in der Quantentheorie — 415
<b>34</b>	<b>Allgemeine Relativitätstheorie — 417</b>
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
<b>Literatur — 443</b>	
<b>Stichwortverzeichnis — 445</b>	