Inhalt

1 Mechanik des Massenpunktes 19

1.1 Grundbegriffe 19
1.1.1 Mechanik 19
1.1.2 Masse und Massenpunkt 19
1.1.3 Die Länge 20
1.1.4 Die Zeit 21

1.2 Kinematik des Massenpunktes 25
1.2.1 Der Massenpunkt auf der Geraden 25
1.2.2 Der Massenpunkt im dreidimensionalen Raum 27
1.2.3 Die Kreisbewegung 31
1.2.4 Kinematik bezogen auf die Bahn des Massenpunktes 34

1.3 Die Newtonschen Axiome 37
1.3.1 Das Prinzip vom Parallelogramm der Kräfte 38
1.3.2 Das Reaktionsprinzip 39
1.3.3 Das Trägheitsgesetz 40
1.3.4 Das Grundgesetz der Dynamik 40
1.3.5 Integralform des Grundgesetzes 42

1.4 Arbeit und Energie 42
1.4.1 Die Arbeit 42
1.4.2 Die Leistung 44
1.4.3 Kraftfelder 45
1.4.4 Konservative Kraftfelder 46
1.4.5 Die potentielle Energie 48
1.4.6 Die kinetische Energie 49

1.5 Die Gravitation 49
1.5.1 Die Keplerschen Gesetze 50
1.5.2 Das universelle Gravitationsgesetz von Newton 50
1.5.3 Gravitationsfeld eines Massenpunktes 52
1.5.4 Gravitationsfeld eines Systems von Massenpunkten 54
1.5.5 Massenverteilung und Dichte 55
1.5.6 Gravitationsfeld einer kontinuierlichen Massenverteilung 56
1.5.7 Gravitationsfeld einer homogenen Kugel 57
1.5.8 Gravitationsfeld einer kugelsymmetrischen Massenverteilung 58
1.5.9 Das Gewicht 58
1.5.10 Gewichtsbedingte Bewegungen 59
1.5.11 Identität von schwerer und träger Masse 61

1.6 Zentralbewegungen 61
1.6.1 Mechanisches Drehmoment und Drall 62
1.6.2 Bewegungen bedingt durch Zentralkräfte 62

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/871304732

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

1.7 Rückstoß und Raketenantrieb 63
1.7.1 Der Rückstoß eines Geschützes 64
1.7.2 Der Schub der Düse 64
1.7.3 Die allgemeine Raketengleichung 65
1.7.4 Die Bewegung der kräftefreien Rakete 65

1.8 Systeme von Massenpunkten 65
1.8.1 Der Impulssatz 66
1.8.2 Impulserhaltung 66
1.8.3 Der Schwerpunktsatz 67
1.8.4 Der Drallsatz 67
1.8.5 Erhaltung des Dralls 69
1.8.6 Der Energiesatz 69

1.9 Stöße 70
1.9.1 Das Stoßproblem 70
1.9.2 Erhaltungssätze 71
1.9.3 Stoßtypen 71
1.9.4 Der Stoß auf der Geraden 71
1.9.5 Der ebene elastische Stoß von gleichen Massen 72

1.10 Gleichgewicht und Stabilität 72
1.10.1 Gleichgewichtslagen 73
1.10.2 Klassifizierung des Gleichgewichts 73
1.10.3 Strukturelle Stabilität 74
1.10.4 Katastrophen 75
1.10.5 Der Wattsche Zentrifugalregulator 76

1.11 Darstellungen der klassischen Mechanik 78
1.11.1 Newton-Mechanik 78
1.11.2 Lagrange-Mechanik 79
1.11.3 Hamilton-Mechanik 79
1.11.4 Hamilton-Jacobi-Mechanik 80

2 Relativität 83

2.1 Klassische Relativität gleichförmig bewegter Bezugssysteme 83
2.1.1 Das Relativitätsprinzip 83
2.1.2 Die Galilei-Transformation 84
2.1.3 Die klassische Mechanik 84

2.2 Klassische Relativität beschleunigter Bezugssysteme 84
2.2.1 Trägheitskräfte 84
2.2.2 Das Prinzip von d'Alembert 85
2.2.3 Gleichförmig rotierende Bezugssysteme 86
2.2.4 Die Erde als rotierendes Bezugssystem 88

2.3 Die spezielle Relativitätstheorie 89
2.3.1 Widersprüche der klassischen Relativität 89
2.3.2 Die Theorie von Einstein 90
2.3.3 Der Grenzfall kleiner Geschwindigkeiten 92

2.4 Aspekte der speziellen Relativitätstheorie 92
2.4.1 Die Addition von Geschwindigkeiten 92
2.4.2 Die Lorentz-Kontraktion 93
2.4.3 Die Zeitdilatation 94
2.4.4 Relativität der Gleichzeitigkeit 94
2.4.5 Relativistische Beschleunigung 95

2.5 Die relativistische Energie 95
2.5.1 Die Beziehung von Einstein 95
2.5.2 Relativistische Energie und Ruhmasse 96
2.5.3 Relativistische Energie und Impuls 96
2.5.4 Die kinetische Energie 97

3 Mechanik der starren Körper 98

3.1 Grundbegriffe und Kinematik 98
3.1.1 Definition des starren Körpers 98
3.1.2 Masse und Dichte 98
3.1.3 Der Schwerpunkt 98
3.1.4 Drehungen des starren Körpers 99
3.1.5 Freiheitsgrade der Bewegung 100

3.2 Statik des starren Körpers 100
3.2.1 Kräfte am starren Körper 100
3.2.2 Kräftepaare 101
3.2.3 Die Dyname 102
3.2.4 Die Wirkung der Schwerkraft auf den starren Körper 103

3.3 Der starre Rotator 103
3.3.1 Kinematik des starren Rotators 103
3.3.2 Das Trägheitsmoment 104
3.3.3 Der Drehimpuls des starren Rotators 105
3.3.4 Dynamik des starren Rotators 106
3.3.5 Das physikalische Pendel 108

3.4 Der Kreisel 109
3.4.1 Kinematik des Kreisels 109
3.4.2 Drehimpuls und kinetische Energie 110
3.4.3 Dynamik des kräftefreien Kreisels 112
3.4.4 Kreisel unter dem Einfluß von Kräften 115

4 **Mechanik deformierbarer Medien** 117

4.1 Mechanische Eigenschaften der Materie 117
4.1.1 Mechanische Spannungen 117
4.1.2 Oberflächenspannung 122
4.1.3 Übersicht 125

4.2 Statik der Flüssigkeiten und Gase 126
4.2.1 Massenkräfte 126
4.2.2 Volumenkräfte oder Kraftdichten 126
4.2.3 Druck und Druckgradient 127
4.2.4 Flüssigkeiten und Gase im Schwerefeld 128

4.3 Kinematik der Flüssigkeiten und Gase 130
4.3.1 Lokale und totale zeitliche Änderungen 130
4.3.2 Die Kontinuitätsgleichung 132
4.3.3 Stationäre Strömungen 133
4.3.4 Strömungen inkompressibler Flüssigkeiten 134
4.3.5 Stationäre Potentialströmungen 134
4.3.6 Rotation und Zirkulation 135

4.4 Dynamik der reibungslosen Flüssigkeiten und Gase 136
4.4.1 Die Bewegungsdifferentialgleichung 136
4.4.2 Die Bernoulli-Gleichung 137
4.4.3 Die Bernoulli-Gleichung inkompressibler reibungsloser Flüssigkeiten 137
4.4.4 Laminare Strömung einer inkompressiblen reibungslosen Flüssigkeit in einem Rohr 138

4.5 Potentialströmungen inkompressibler Flüssigkeiten 139
4.5.1 Definition 139
4.5.2 Das Geschwindigkeitspotential 139
4.5.3 Paradoxon von d'Alembert 140
4.5.4 Komplexe Darstellung der ebenen Potentialströmung 140
4.5.5 Komplexe Darstellung einer Quelle in der Ebene 141
4.5.6 Die komplexe Darstellung der Potentialströmung um einen Zylinder 142

4.6 Wirbel 142
4.6.1 Der Potentialwirbel 142
4.6.2 Die Helmholtzschen Wirbelsätze 144
4.6.3 Strömungen um Wirbelfäden 145

4.7 Überschallströmungen 145
4.7.1 Der Machsche Kegel 145
4.7.2 Unter- und Überschallströmungen eines idealen Gases in einem Rohr 146

4.8 Dynamik viskoser Flüssigkeiten und Gase 149
4.8.1 Viskosität 149
4.8.2 Spannungstensoren der Viskosität 152
4.8.3 Volumenkräfte der Viskosität 152
4.8.4 Die Bewegungsgleichung viskoser Medien 153
4.8.5 Reibungswiderstand in viskosen Flüssigkeiten 154
4.8.6 Ähnlichkeitsgesetze 156

4.9 Turbulente Strömungen 158
4.9.1 Turbulenz und Reynolds-Kriterium 158
4.9.2 Turbulente Strömung in einem Rohr 159
4.9.3 Die Prandtlsche Grenzschicht 160
4.9.4 Druckwiderstand auf umströmte Körper 162
4.9.5 Strömungswiderstand einer Kugel 163
4.9.6 Widerstand einer Strömung parallel zu einer Wand 165

4.10 Der dynamische Auftrieb 165
4.10.1 Das Gesetz von Kutta-Joukowski 165
4.10.2 Der Magnus-Effekt 166
4.10.3 Auftrieb und induzierter Widerstand eines Flügels 167

5 Elektrizität und Magnetismus 171

5.1 Elektrostatik 171
5.1.1 Die elektrische Ladung 171
5.1.2 Wechselwirkung zwischen zwei elektrischen Punktladungen 172
5.1.3 Elektrische Felder 173
5.1.4 Elektrostatik von Metallen 177
5.1.5 Elektrische Kondensatoren 181
5.1.6 Die Energie im elektrischen Feld 184
5.1.7 Kräfte im elektrischen Feld 184
5.1.8 Permanente elektrische Dipole 186
5.1.9 Induzierte elektrische Dipole 188

5.2 Dielektrische Eigenschaften der Materie 189
5.2.1 Phänomenologie 189
5.2.2 Grenzfläche zwischen zwei Dielektrika 191
5.2.3 Die elektrische Polarisation 192
5.2.4 Atomistische Deutung der dielektrischen Eigenschaften 193
5.2.5 Dielektrische Dispersion 194

5.3 Stationäre elektrische Ströme 196
5.3.1 Der elektrische Strom 196
5.3.2 Das ohmsche Gesetz 197
5.3.3 Spezifischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit 198
5.3.4 Die Kontinuitätsgleichung des elektrischen Stromes 199
5.3.5 Potentialtheorie der ohmschen Leiter 199
5.3.6 Die Leistung des elektrischen Stromes 200

5.4 Elektrische Leiter ... 201
5.4.1 Die Faraday-Gesetze der Elektrolyse ... 201
5.4.2 Mikroskopische Deutung der elektrischen Leitfähigkeit ... 201
5.4.3 Feste elektrische Leiter ... 203
5.4.4 Normale Metalle ... 205
5.4.5 Supraleiter ... 206
5.4.6 Halbleiter ... 210

5.5 Magnetismus ... 213
5.5.1 Einleitung ... 213
5.5.2 Magnetische Dipole ... 213
5.5.3 Die Feldgleichung des Magnetismus ... 215
5.5.4 Magnetfelder elektrischer Ströme ... 215
5.5.5 Bewegte elektrische Ladungen im magnetischen Feld ... 217
5.5.6 Das Induktionsgesetz von Faraday ... 219
5.5.7 Anwendungen des Induktionsgesetzes ... 221
5.5.8 Die magnetische Feldenergie ... 223
5.5.9 Der magnetische Dipol als Kreisstrom ... 223

5.6 Magnetische Eigenschaften der Materie ... 225
5.6.1 Phänomenologie ... 225
5.6.2 Grenzflächen zwischen zwei Magnetika ... 227
5.6.3 Die Magnetisierung ... 228
5.6.4 Der Zusammenhang zwischen dem Magnetfeld, der Magnetisierung und der magnetischen Induktion ... 229
5.6.5 Mikroskopische Deutung der magnetischen Eigenschaften ... 230

5.7 Quasistationäre Ströme ... 233
5.7.1 Einleitung ... 233
5.7.2 Lineare Schaltungen ... 233
5.7.3 Wechselströme ... 235
5.7.4 Schaltvorgänge und Impulse ... 237

5.8 Die Maxwellschen Gleichungen ... 240
5.8.1 Korrektur des Durchflutungsgesetzes von Ampère ... 240
5.8.2 Vollständige phänomenologische Theorie der Elektrizität und des Magnetismus ... 240
5.8.3 Die elektromagnetischen Eigenschaften des Vakuums ... 241

6 Schwingungen und Wellen ... 242

6.1 Harmonische Schwingungen ... 242
6.1.1 Definition ... 242
6.1.2 Beispiele harmonischer Oszillatoren ... 242
6.1.3 Lösungen der Bewegungsgleichung des harmonischen Oszillators ... 243
6.1.4 Energie des harmonischen Oszillators ... 244

6.2 Linear gedämpfte harmonische Schwingungen 244
6.2.1 Definition 244
6.2.2 Beispiele linear gedämpfter harmonischer Oszillatoren 245
6.2.3 Lösungen der Bewegungsgleichung 246

6.3 Erzwungene harmonische Schwingungen 247
6.3.1 Definition 247
6.3.2 Erzwungene Schwingung im LRC-Schwingkreis 247
6.3.3 Erzwungene Schwingungen bei unterkritischer Dämpfung 247
6.3.4 Resonanz und Kreisgüte 249

6.4 Rückkopplung 251
6.4.1 Definition 251
6.4.2 Stromproportionale Rückkopplung eines LRC-Schwingkreises 251
6.4.3 Wirkungen der Rückkopplung 252

6.5 Gekoppelte Schwingungen 253
6.5.1 Das System der Bewegungsgleichungen 253
6.5.2 Normalkoordinaten und Eigenkreisfrequenzen 253
6.5.3 Normal- oder Eigenschwingungen 254
6.5.4 Wirkung der Kopplung auf entartete Normalschwingungen 255
6.5.5 Schwingungen zweiatomiger Moleküle 255
6.5.6 Schwingungen mehratomiger Moleküle 256
6.5.7 Schwebungen 257

6.6 Das Frequenzspektrum 258
6.6.1 Fourier-Reihen 258
6.6.2 Amplitudenmodulation 259
6.6.3 Die Fourier-Transformation 260

6.7 Zweidimensionale harmonische Schwingungen 261
6.7.1 Lissajous-Figuren 261
6.7.2 Phasenvergleich gleichfrequenter Schwingungen 262
6.7.3 Zweidimensionale Schwingungen mit verschiedenen Frequenzen . . 262

6.8 Wellen und Wellengeschwindigkeiten 263
6.8.1 Der Begriff Welle 263
6.8.2 Wellentypen 264
6.8.3 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit 265
6.8.4 Überlagerung von Wellen 266
6.8.5 Harmonische Wellen 266
6.8.6 Dispersion und Gruppengeschwindigkeit 268

6.9 Wellen ohne Dispersion 271
6.9.1 Die Wellengleichung 271
6.9.2 Lösungen der Wellengleichung 271
6.9.3 Seilwellen 273
6.9.4 Schallwellen in Flüssigkeiten und Gasen 274
6.9.5 Elektromagnetische Wellen im Vakuum 278

6.10 Wellen mit Dispersion ... 280
6.10.1 Dispersion und Wellengleichung ... 280
6.10.2 Wellen auf der linearen Kette ... 281
6.10.3 Wellen auf Flüssigkeitsoberflächen ... 283
6.10.4 Elektromagnetische Wellen in dispersiven Medien ... 284
6.10.5 Plasmawellen ... 285

6.11 Stehende Wellen ... 286
6.11.1 Grundlagen ... 286
6.11.2 Stehende Wellen auf Saiten ... 287
6.11.3 Stehende Wellen auf Membranen ... 289

6.12 Reflexion und Brechung von Wellen an ebenen Grenzflächen ... 290
6.12.1 Reflexion bei senkrechtem Einfall ... 290
6.12.2 Das Brechungsgesetz von Snellius ... 291
6.12.3 Die Totalreflexion ... 291
6.12.4 Polarisation bei Reflexion und Brechung ... 292
6.12.5 Brewster-Bedingung ... 292

6.13 Geometrische Optik ... 293
6.13.1 Laufzeit und Lichtweg ... 293
6.13.2 Das Fermatsche Prinzip ... 294
6.13.3 Paraxiale Optik ... 296
6.13.4 Photometrie ... 300

6.14 Interferenz ... 302
6.14.1 Zweistrahlinterferenz ... 302
6.14.2 Schallinterferenz nach Quincke ... 303
6.14.3 Das Michelson-Interferometer ... 303
6.14.4 Fourier-Spektroskopie ... 304
6.14.5 Vielstrahlinterferenz ... 304
6.14.6 Das Interferometer von Fabry und Perot ... 306
6.14.7 Kohärenz ... 307

6.15 Beugung ... 307
6.15.1 Beugung und geometrische Optik ... 307
6.15.2 Das Prinzip von Huygens ... 308
6.15.3 Fraunhofer-Beugung am Spalt ... 308
6.15.4 Beugungsgitter ... 310
6.15.5 Auflösungsvermögen von Mikroskopen nach Abbe ... 311

6.16 Abstrahlung elektromagnetischer Wellen ... 312
6.16.1 Vektorpotential und Hertzscher Vektor ... 312
6.16.2 Hertzscher Dipol ... 315
6.16.3 Die Stabantenne ... 317
6.16.4 Abstrahlung einer beschleunigten Punktladung ... 318

6.17 Doppler-Effekt 318
6.17.1 Normaler Doppler-Effekt 319
6.17.2 Relativistischer Doppler-Effekt der elektromagnetischen Wellen . . . 319

7 Quanten- und Wellenmechanik 321

7.1 Quantentheorie der elektromagnetischen Strahlung 321
7.1.1 Die Planckschen Beziehungen 321
7.1.2 Der photoelektrische Effekt 322
7.1.3 Die Bremsstrahlung 323
7.1.4 Der Compton-Effekt 323
7.1.5 Der Strahlungsdruck 324
7.1.6 Wirkung der Gravitation auf Photonen 325

7.2 Wellennatur der Materieteilchen 326
7.2.1 Die Beziehung von de Broglie 326
7.2.2 Die Dispersion der de Broglie-Wellen 327
7.2.3 Kathodenstrahlen 327

7.3 Grundbegriffe der Wellenmechanik 328
7.3.1 Aufgabe und Eigenart der Wellenmechanik 328
7.3.2 Quantenmechanische Operatoren 329
7.3.3 Der Hamilton-Operator 331
7.3.4 Die zeitabhängige Schrödinger-Gleichung 331
7.3.5 Die zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung 332
7.3.6 Das Teilchen im Potentialtopf 334

7.4 Die Bedeutung der Wellenfunktion 335
7.4.1 Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit 335
7.4.2 Erwartungswerte und Schwankungsquadrate von Observablen 337
7.4.3 Heisenbergsche Vertauschungsrelationen und Unbestimmtheitsrelation 339
7.4.4 Die Kontinuitätsgleichung der Wellenmechanik 340
7.4.5 Mathematische Eigenschaften der Eigenfunktionen 341
7.4.6 Matrixdarstellung quantenmechanischer Operatoren 343

7.5 Wellenmechanik des eindimensionalen harmonischen Oszillators 345
7.5.1 Die Schrödinger-Gleichung des harmonischen Oszillators 345
7.5.2 Energieeigenwerte und Eigenfunktionen 346
7.5.3 Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren 348

7.6 Die Quantenmechanik des Drehimpulses 350
7.6.1 Drehimpulsoperatoren 350
7.6.2 Eigenwerte und Eigenfunktionen 351

7.7 Quantisierte magnetische Dipolmomente 352
7.7.1 Das Bohrsche Magneton 352
7.7.2 Das quantisierte magnetische Dipolmoment des Elektronendralls . . 354
7.7.3 Der Elektronenspin und sein magnetisches Moment 354
7.7.4 Kernspins und ihre magnetischen Momente 357

7.8 Quantenmechanik des Wasserstoffatoms 359
7.8.1 Einfaches Modell des Wasserstoffatoms 359
7.8.2 Die Schrödinger-Gleichung des Wasserstoffatoms 359
7.8.3 Energieeigenwerte und Eigenfunktionen 361
7.8.4 Der Drehimpuls des Wasserstoffatoms 363
7.8.5 Exakt meßbare Observable des Wasserstoffatoms 363
7.8.6 Spektrallinien des Wasserstoffatoms 363

7.9 Das Elektron im periodischen Potential 364
7.9.1 Elektronen im Festkörper 364
7.9.2 Bloch-Wellen 366
7.9.3 Die Bandstruktur der Energie 368

8 Thermodynamik 371

8.1 Zustandsgleichung und Temperatur 371
8.1.1 Grundbegriffe 371
8.1.2 Aggregatzustände und Phasen 372
8.1.3 Temperaturskalen 374
8.1.4 Die Zustandsgleichung der idealen Gase 375
8.1.5 Die Zustandsgleichung der realen Gase 376

8.2 Wärmekapazitäten 378
8.2.1 Die Wärme 378
8.2.2 Spezifische und molare Wärmekapazitäten 379
8.2.3 Molare Wärmekapazitäten idealer Gase 379
8.2.4 Molare Wärmekapazitäten fester Körper 380

8.3 Wärmeleitung 382
8.3.1 Der Wärmestrom 382
8.3.2 Die erste Wärmeleitungsgleichung 382
8.3.3 Die Kontinuitätsgleichung der Wärme 383
8.3.4 Die zweite Wärmeleitungsgleichung 383
8.3.5 Stationäre eindimensionale Wärmeleitung 384
8.3.6 Der eindimensionale Wärmepol 385
8.3.7 Komplexe Dispersionsrelation von Wärmeleitung und Diffusion 385

8.4 Wärme, Arbeit und Energie 387
8.4.1 Arbeit an und von thermodynamischen Systemen 387
8.4.2 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 387
8.4.3 Molare Wärmekapazitäten der idealen Gase 388

8.5 Entropie und zweiter Hauptsatz ... 390
8.5.1 Zustandsänderungen ... 390
8.5.2 Reversible adiabatische Zustandsänderungen idealer Gase ... 391
8.5.3 Der Carnotsche Kreisprozeß ... 391
8.5.4 Die Entropie ... 395
8.5.5 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ... 396

8.6 Thermodynamische Potentiale ... 398
8.6.1 Übersicht ... 398
8.6.2 Die innere Energie ... 398
8.6.3 Die Enthalpie ... 399
8.6.4 Die Helmholtzsche freie Energie ... 400
8.6.5 Das Gibbssche Potential ... 401
8.6.6 Relationen zwischen thermodynamischen Potentialen und Zustandsgrößen ... 402

8.7 Spezielle thermodynamische Zustandsänderungen ... 403
8.7.1 Isotherm isobare Phasenumwandlungen ... 403
8.7.2 Der Joule-Thomson-Effekt ... 404

8.8 Das Nernstsche Wärmetheorem ... 405
8.8.1 Die Entropie beim absoluten Temperaturnullpunkt ... 405
8.8.2 Unerreichbarkeit des absoluten Temperaturnullpunkts ... 406

9 Statistische Mechanik ... 407

9.1 Die Brownsche Bewegung ... 407
9.1.1 Das Phänomen und seine Bedeutung ... 407
9.1.2 Die Formel von Einstein ... 407

9.2 Boltzmann-Statistik ... 408
9.2.1 Beschreibung des Systems ... 408
9.2.2 Der Phasenraum ... 408
9.2.3 Statistische Mittelwerte ... 409
9.2.4 Die thermodynamische Wahrscheinlichkeit ... 410
9.2.5 Boltzmann-Statistik einer kanonischen Gesamtheit ... 412
9.2.6 Statistische Deutung thermodynamischer Größen ... 413
9.2.7 Statistische Schwankungen thermodynamischer Größen ... 414

9.3 Kinetische Theorie der einatomigen idealen Gase ... 415
9.3.1 Der Phasenraum ... 415
9.3.2 Die Zustandssumme ... 415
9.3.3 Thermodynamische Größen ... 416
9.3.4 Die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung ... 416
9.3.5 Das Äquipartitions- oder Gleichverteilungsgesetz ... 417

9.4 Quantenstatistik 418
9.4.1 Fermionen und Bosonen 418
9.4.2 Die Verteilungsfunktionen von Fermi-Dirac und Bose-Einstein . . . 419
9.4.3 Statistik des harmonischen Oszillators 420
9.4.4 Einstein-Modell der spezifischen Wärme 421
9.4.5 Zustandsdichten 422
9.4.6 Das Elektronengas in Metallen 423
9.4.7 Theorie der Wärmestrahlung 424

10 Atomkerne und Elementarteilchen 429

10.1 Einleitung 429
10.1.1 Abmessungen und Energien 429
10.1.2 Der Wirkungsquerschnitt 429
10.1.3 Streuung 430
10.2 Der Aufbau der Atomkerne 431
10.2.1 Bausteine der Kerne 431
10.2.2 Kernradien 432
10.2.3 Kernkräfte 433
10.2.4 Bindungsenergie der Kerne 434
10.2.5 Kernniveaus 436
10.3 Radioaktivität 437
10.3.1 Instabile Kerne 437
10.3.2 Das statistische Zerfallsgesetz 438
10.3.3 Der α-Zerfall 439
10.3.4 Der β-Zerfall 441
10.3.5 Die γ-Strahlung 442
10.4 Kernreaktionen 443
10.4.1 Kernreaktionen mit Neutroneneinfang 443
10.4.2 Kernreaktionen mit geladenen Teilchen 444
10.4.3 Kernspaltung 444
10.4.4 Kernverschmelzung 446
10.5 Elementarteilchen 446
10.5.1 Klassifizierung 446
10.5.2 Innere Struktur 449
10.5.3 Wechselwirkung und Zerfälle 450

Anhang

A 1 Literatur 452

A 1.1 Physik allgemein 452
A 1.2 Physik speziell 454

A 1.3 Mathematik allgemein 459
A 1.4 Mathematik speziell 460
A 1.5 Fachwörterbücher und Lexika 461

A 2 Physikalische Einheiten 462

A 2.1 Einleitung 462
A 2.1.1 Einheitensysteme 462
A 2.1.2 Zehnerpotenzen physikalischer Einheiten 463
A 2.1.3 Logarithmische Einheiten 463
A 2.2 Mechanische Einheiten 463
A 2.3 Elektrische und magnetische Einheiten 468
A 2.3.1 Vergleich verschiedener Einheiten 468
A 2.3.2 Elektromagnetische Gleichungen 471
A 2.3.3 Beschreibung des elektrischen Verhaltens der Materie 472
A 2.3.4 Beschreibung des magnetischen Verhaltens der Materie 472
A 2.4 Skala der elektromagnetischen Wellen 473
A 2.5 Thermodynamische Einheiten 474
A 2.6 Molekulare Energieeinheiten 474
A 2.7 Photometrische Einheiten 475

A 3 Physikalische Konstanten und Tabellen 476

A 3.1 Konstanten 476
A 3.2 Periodisches System der Elemente 478
A 3.3 Grundzustände der Atome 479

A 4 Mathematische Tabellen 482

A 4.1 Mathematische Konstanten 482
A 4.1.1 Reelle Zahlen 482
A 4.1.2 Komplexe Zahlen 482
A 4.2 Spezielle Funktionen 483
A 4.2.1 Die Exponentialfunktion 483
A 4.2.2 Der natürliche Logarithmus 484
A 4.2.3 Die Hyperbelfunktionen 485
A 4.2.4 Inverse Hyperbelfunktionen 487
A 4.2.5 Die trigonometrischen Funktionen 488
A 4.2.6 Die zyklometrischen Funktionen 491
A 4.2.7 Zylinderfunktionen ganzzahliger Ordnung 492
A 4.2.8 Hermite-Polynome 495
A 4.2.9 Legendre-Polynome und zugeordnete Legendre-Kugelfunktionen 496

A 4.2.10 Laguerre-Polynome ... 497
A 4.2.11 Kugelfunktionen und Orbitale ... 498
A 4.2.12 Normierte Eigenfunktionen des Wasserstoffatoms ... 499
A 4.2.13 Die δ-„Funktion" ... 499

A 4.3 Fourier-Reihen ... 500

A 4.4 Laplace-Transformation ... 502

A 4.5 Gewöhnliche Differentialgleichungen ... 503
A 4.5.1 Homogene lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten ... 503
A 4.5.2 Inhomogene lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten ... 504
A 4.5.3 Homogene lineare Differentialgleichungen mit veränderlichen Koeffizienten ... 506
A 4.5.4 Inhomogene lineare Differentialgleichungen mit veränderlichen Koeffizienten ... 508
A 4.5.5 Nichtlineare Differentialgleichungen ... 508

A 4.6 Vektoralgebra im reellen dreidimensionalen Raum ... 509
A 4.6.1 Vektoren ... 509
A 4.6.2 Das Skalarprodukt ... 510
A 4.6.3 Das Vektorprodukt ... 511
A 4.6.4 Gemischte Produkte ... 511
A 4.6.5 Kartesisches Koordinatensystem ... 511
A 4.6.6 Polare und axiale Vektoren ... 512

A 4.7 Vektoranalysis im reellen dreidimensionalen Raum ... 513
A 4.7.1 Definition der Operatoren in kartesischen Koordinaten ... 513
A 4.7.2 Operatoren in Zylinderkoordinaten ... 514
A 4.7.3 Operatoren in Kugelkoordinaten ... 514
A 4.7.4 Allgemeine Rechenregeln ... 515
A 4.7.5 Integralsätze ... 515

A 4.8 Statistische Verteilungen ... 517
A 4.8.1 Grundlagen ... 517
A 4.8.2 Die Binomialverteilung ... 517
A 4.8.3 Die Poisson-Verteilung ... 517
A 4.8.4 Die Normalverteilung ... 518

A 5 Fachwörter der Physik ... 519

Sachverzeichnis ... 536