

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Einleitung</b> .....  | 1  |
| <b>2. Die Newtonsche Mechanik</b> .....   | 3  |
| 2.1 Zeit und Raum in der Klassischen Mechanik .....   | 3  |
| 2.2 Die Newtonschen Gesetze .....   | 6  |
| 2.3 Einige wichtige Kraftgesetze .....  | 9  |
| 2.4 Der Energiesatz für einen Massenpunkt in einem Kraftfeld .....  | 12 |
| 2.4.1 Wegintegrale .....  | 12 |
| 2.4.2 Arbeit und Energiesatz .....  | 15 |
| 2.5 Mehrere Punktteilchen in Wechselwirkung .....   | 17 |
| 2.6 Der Impuls und die Impulsbilanz .....   | 20 |
| 2.7 Der Drehimpuls und die Drehimpulsbilanz .....   | 24 |
| 2.8 Das Zwei-Körper-Problem .....   | 26 |
| 2.9 Das Kepler-Problem .....  | 30 |
| 2.10 Die Streuung .....   | 34 |
| 2.10.1 Die Relativbewegung bei der Streuung .....   | 35 |
| 2.10.2 Schwerpunktsystem und Laborsystem .....  | 37 |
| 2.11 Der Streuquerschnitt .....   | 41 |
| 2.12 Der Virialsatz .....   | 43 |
| 2.13 Mechanische Ähnlichkeit .....  | 45 |
| 2.14 Einige allgemeine Betrachtungen zu Mehr-Körper-Problemen .....   | 46 |
| <b>3. Die Lagrangeschen Methoden in der Klassischen Mechanik</b> .....  | 49 |
| 3.1 Problemstellung und Lösungsskizze am Beispiel des Pendels .....   | 49 |
| 3.2 Die Lagrangesche Methode erster Art .....   | 50 |
| 3.3 Die Lagrangesche Methode zweiter Art .....  | 54 |
| 3.4 Die Energiebilanz bei Bewegungen, die durch Zwangsbedingungen eingeschränkt sind .....                    | 58 |
| 3.5 Nichtholonome Zwangsbedingungen .....   | 63 |
| 3.6 Invarianzen und Erhaltungssätze .....   | 66 |
| 3.7 Die Hamilton-Funktion .....   | 69 |
| 3.7.1 Hamiltonsche und Lagrangesche Bewegungsgleichungen ....   | 69 |
| 3.7.2 Ausblick auf weitere Entwicklungen der theoretischen Mechanik und die Theorie Dynamischer Systeme ..... | 72 |
| 3.8 Das Hamiltonsche Prinzip der stationären Wirkung .....  | 75 |
| 3.8.1 Funktionale und Funktionalableitungen .....   | 75 |
| 3.8.2 Das Hamiltonsche Prinzip .....  | 77 |
| 3.8.3 Das Hamiltonsche Prinzip für Systeme mit holonomen Zwangsbedingungen .....                              | 78 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>4. Der starre Körper</b> .....  | 81  |
| 4.1 Die Kinematik des starren Körpers .....  | 81  |
| 4.2 Der Trägheitstensor und die kinetische Energie eines starren Körpers                   | 84  |
| 4.2.1 Definition und einfache Eigenschaften des Trägheitstensors ..                        | 84  |
| 4.2.2 Berechnung von Trägheitstensoren .....   | 87  |
| 4.3 Der Drehimpuls eines starren Körpers, die Eulerschen<br>Kreiselgleichungen .....       | 89  |
| 4.4 Die Bewegungsgleichungen für die Eulerschen Winkel .....                               | 93  |
| <b>5. Bewegungen in einem Nicht-Inertialsystem</b> .....                                   | 99  |
| 5.1 Scheinkräfte in Nicht-Inertialsystemen .....   | 99  |
| 5.2 Das Foucaultsche Pendel .....  | 102 |
| <b>6. Lineare Schwingungen</b> .....   | 105 |
| 6.1 Linearisierung um Gleichgewichtspunkte .....   | 105 |
| 6.2 Einige allgemeine Bemerkungen zu linearen Differentialgleichungen                      | 106 |
| 6.3 Homogene lineare Systeme mit einem Freiheitsgrad und konstanten<br>Koeffizienten ..... | 108 |
| 6.4 Homogene lineare Systeme mit $n$ Freiheitsgraden und konstanten<br>Koeffizienten ..... | 111 |
| 6.4.1 Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen .....  | 111 |
| 6.4.2 Beispiele für die Berechnung von Eigenschwingungen .....                             | 113 |
| 6.5 Die Antwort eines linearen Systems auf äußere Kräfte .....                             | 117 |
| 6.5.1 Harmonische äußere Kräfte .....  | 117 |
| 6.5.2 Überlagerung von harmonischen äußeren Kräften .....                                  | 119 |
| 6.5.3 Periodische äußere Kräfte .....  | 119 |
| 6.5.4 Beliebige äußere Kräfte .....  | 120 |
| <b>7. Klassische Statistische Mechanik</b> .....   | 123 |
| 7.1 Thermodynamische Systeme und Verteilungsfunktionen .....                               | 123 |
| 7.2 Die Entropie .....   | 126 |
| 7.3 Temperatur, Druck und chemisches Potential .....                                       | 129 |
| 7.3.1 Systeme mit Austausch von Energie .....  | 129 |
| 7.3.2 Systeme mit Austausch von Volumen .....  | 132 |
| 7.3.3 Systeme mit Austausch von Energie und Teilchen .....                                 | 133 |
| 7.4 Die Gibbssche Fundamentalform und die Formen des<br>Energieaustausches .....           | 134 |
| 7.5 Die kanonische Gesamtheit und die freie Energie .....                                  | 136 |
| 7.6 Thermodynamische Potentiale .....  | 141 |
| 7.7 Materialgrößen .....   | 143 |
| 7.8 Zustandsänderungen und ihre Realisierungen .....                                       | 145 |
| 7.8.1 Reversible und irreversible Realisierungen .....                                     | 145 |
| 7.8.2 Adiabatische und nicht-adiabatische Realisierungen .....                             | 147 |
| 7.8.3 Der Joule-Thomson Prozeß .....   | 150 |
| 7.9 Umwandlung von Wärme in Arbeit, der Carnotsche Wirkungsgrad                            | 152 |
| 7.10 Die Hauptsätze der Wärmelehre .....   | 156 |
| 7.11 Der phänomenologische Ansatz in der Thermodynamik .....                               | 157 |
| 7.11.1 Thermodynamik und Statistische Mechanik .....                                       | 157 |
| 7.11.2 Zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik .....  | 159 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 7.11.3     | Zum zweiten und dritten Hauptsatz der Thermodynamik . . . .   | 160        |
| 7.11.4     | Thermische und kalorische Zustandsgleichung . . . . .   | 162        |
| 7.12       | Gleichgewichts- und Stabilitätsbedingungen . . . . .  | 164        |
| 7.12.1     | Gleichgewicht und Stabilität bei Austauschprozessen . . . . .   | 164        |
| 7.12.2     | Gleichgewicht, Stabilität und thermodynamische Potentiale .   | 166        |
| <b>8.</b>  | <b>Anwendungen der Thermodynamik</b> . . . . .  | <b>169</b> |
| 8.1        | Phasenübergänge und Phasendiagramme . . . . .   | 170        |
| 8.2        | Die Umwandlungswärme bei Phasenumwandlungen . . . . .   | 172        |
| 8.3        | Lösungen . . . . .  | 176        |
| 8.4        | Das Henrysche Gesetz, die Osmose . . . . .  | 178        |
| 8.4.1      | Das Henrysche Gesetz . . . . .  | 178        |
| 8.4.2      | Die Osmose . . . . .  | 179        |
| 8.5        | Phasenübergänge in Lösungen . . . . .   | 181        |
| 8.5.1      | Mischbarkeit nur in einer Phase . . . . .   | 181        |
| 8.5.2      | Mischbarkeit in zwei Phasen . . . . .   | 184        |
| <b>9.</b>  | <b>Elemente der Strömungslehre</b> . . . . .  | <b>185</b> |
| 9.1        | Einige einführende Bemerkungen zur Strömungslehre . . . . .   | 185        |
| 9.2        | Die allgemeine Bilanzgleichung . . . . .  | 187        |
| 9.3        | Die speziellen Bilanzgleichungen . . . . .  | 190        |
| 9.4        | Entropieproduktion, verallgemeinerte Kräfte und Flüsse . . . . .  | 194        |
| 9.5        | Die Differentialgleichungen der Strömungslehre und<br>ihre Spezialfälle . . . . .                               | 197        |
| 9.6        | Einige elementare Anwendungen der Navier-Stokes Gleichungen . .   | 200        |
| <b>10.</b> | <b>Die wichtigsten linearen partiellen Differentialgleichungen der Physik</b> . . .                             | <b>205</b> |
| 10.1       | Allgemeines . . . . .   | 205        |
| 10.1.1     | Typen linearer partieller Differentialgleichungen,<br>Formulierung von Rand- und Anfangswertproblemen . . . . . | 205        |
| 10.1.2     | Anfangswertprobleme im $\mathbb{R}^D$ . . . . .   | 207        |
| 10.1.3     | Inhomogene Gleichungen und Greensche Funktionen . . . . .   | 209        |
| 10.2       | Lösungen der Wellengleichung . . . . .  | 210        |
| 10.3       | Randwertprobleme . . . . .  | 212        |
| 10.3.1     | Vorbetrachtungen . . . . .  | 212        |
| 10.3.2     | Beispiele für Randwertprobleme . . . . .  | 213        |
| 10.3.3     | Allgemeine Behandlung von Randwertproblemen . . . . .   | 215        |
| 10.4       | Die Helmholtz-Gleichung in Kugelkoordinaten, Kugelfunktionen<br>und Bessel-Funktionen . . . . .                 | 217        |
| 10.4.1     | Der Separationsansatz . . . . .   | 217        |
| 10.4.2     | Die Gleichungen für die Winkelvariablen, Kugelfunktionen .  | 218        |
| 10.4.3     | Die Gleichung für die Radialvariable, Bessel-Funktionen . .   | 221        |
| 10.4.4     | Lösungen der Helmholtz-Gleichung . . . . .  | 222        |
| 10.4.5     | Ergänzende Betrachtungen . . . . .  | 223        |
| <b>11.</b> | <b>Elektrostatik</b> . . . . .  | <b>225</b> |
| 11.1       | Die Grundgleichungen der Elektrostatik und erste Folgerungen . .  | 225        |
| 11.1.1     | Coulombsches Gesetz und elektrisches Feld . . . . .   | 225        |
| 11.1.2     | Elektrostatisches Potential und Poisson-Gleichung . . . . .   | 226        |

|  |            |
|--|------------|
| 11.1.3 Beispiele und wichtige Eigenschaften elektrostatischer Felder                     | 228        |
| 11.2 Randwertprobleme in der Elektrostatik, Greensche Funktionen ..                      | 230        |
| 11.2.1 Dirichletsche und Neumannsche Greensche Funktionen ....                           | 230        |
| 11.2.2 Ergänzende Bemerkungen zu Randwertproblemen der<br>Elektrostatik .....            | 232        |
| 11.3 Berechnung Greenscher Funktionen, die Methode der Bildladungen                      | 233        |
| 11.4 Berechnung Greenscher Funktionen, Entwicklung nach<br>Kugelflächenfunktionen .....  | 237        |
| 11.5 Lokalisierte Ladungsverteilungen, die Multipol-Entwicklung .....                    | 239        |
| 11.6 Die elektrostatische potentielle Energie .....                                      | 241        |
| <b>12. Bewegte Ladungen, Magnetostatik .....</b>   | <b>243</b> |
| 12.1 Das Biot-Savartsche Gesetz, die Grundgleichungen<br>der Magnetostatik .....         | 243        |
| 12.1.1 Elektrische Stromdichte und Magnetfeld .....                                      | 243        |
| 12.1.2 Vektorpotential und Ampèresches Gesetz .....                                      | 245        |
| 12.1.3 Das SI-System der Maßeinheiten in der Elektrodynamik ....                         | 246        |
| 12.2 Lokalisierte Stromverteilungen .....  | 247        |
| 12.2.1 Das magnetische Dipolmoment .....   | 247        |
| 12.2.2 Kraft, Potential und Drehmoment im<br>magnetostatischen Feld .....                | 249        |
| <b>13. Zeitabhängige elektromagnetische Felder .....</b>                                 | <b>253</b> |
| 13.1 Die Maxwell-Gleichungen .....   | 253        |
| 13.2 Potentiale und Eichtransformationen .....   | 255        |
| 13.3 Elektromagnetische Wellen im Vakuum, die Polarisation<br>transversaler Wellen ..... | 256        |
| 13.4 Elektromagnetische Wellen, der Einfluß der Quellen .....                            | 258        |
| 13.5 Die Energie des elektromagnetischen Feldes .....                                    | 261        |
| 13.5.1 Energiebilanz und Poynting-Vektor .....   | 261        |
| 13.5.2 Energiefluß des Strahlungsfeldes .....  | 262        |
| 13.5.3 Energie des elektrischen Feldes .....   | 264        |
| 13.5.4 Energie des magnetischen Feldes .....   | 265        |
| 13.5.5 Selbstenergie und Wechselwirkungsenergie .....                                    | 266        |
| 13.6 Der Impuls des elektromagnetischen Feldes .....                                     | 267        |
| <b>14. Elemente der Elektrodynamik kontinuierlicher Medien .....</b>                     | <b>269</b> |
| 14.1 Die makroskopischen Maxwell-Gleichungen .....                                       | 269        |
| 14.1.1 Mikroskopische und makroskopische Felder .....                                    | 269        |
| 14.1.2 Gemittelte Ladungsdichte und elektrische Verschiebung ....                        | 270        |
| 14.1.3 Gemittelte Stromdichte und magnetische Feldstärke .....                           | 271        |
| 14.2 Elektrostatische Felder in kontinuierlichen Medien .....                            | 274        |
| 14.3 Magnetostatische Felder in kontinuierlichen Medien .....                            | 276        |
| 14.4 Ebene Wellen in Materie, Wellenpakete .....   | 277        |
| 14.4.1 Die Frequenzabhängigkeit der Suszeptibilität .....                                | 278        |
| 14.4.2 Wellenpakete, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit .....                            | 280        |
| 14.5 Reflexion und Brechung an ebenen Grenzflächen .....                                 | 283        |
| 14.5.1 Grenzbedingungen, Reflexions- und Brechungsgesetz .....                           | 283        |
| 14.5.2 Die Fresnelschen Formeln .....  | 284        |

|   |     |
|---|-----|
| 14.5.3 Spezielle Effekte bei Reflexion und Brechung .....       | 285 |
| a) Der Brewstersche Winkel .....                                | 285 |
| b) Totale Reflexion .....                                       | 286 |
| c) Krümmung des Lichtweges in einem<br>inhomogenen Medium ..... | 286 |
| <b>Anhang</b> .....   | 289 |
| A. Die $\Gamma$ -Funktion .....                                 | 289 |
| B. Kegelschnitte .....  | 290 |
| C. Tensoren .....   | 291 |
| D. Fourier-Reihen und Fourier-Integrale .....                   | 293 |
| D.1 Fourier-Reihen .....  | 293 |
| D.2 Fourier-Integrale und Fourier-Transformationen .....        | 297 |
| E. Distributionen und Greensche Funktionen .....                | 299 |
| E.1 Distributionen .....  | 299 |
| E.2 Greensche Funktionen .....                                  | 301 |
| F. Vektoranalysis und krummlinige Koordinaten .....             | 303 |
| F.1 Vektorfelder und skalare Felder .....                       | 303 |
| F.2 Linien-, Flächen- und Volumenintegrale .....                | 303 |
| F.3 Satz von Stokes .....                                       | 305 |
| F.4 Satz von Gauß .....   | 306 |
| F.5 Einige Anwendungen der Integralsätze .....                  | 307 |
| F.6 Krummlinige Koordinaten .....                               | 307 |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....                               | 311 |
| <b>Namen- und Sachverzeichnis</b> .....                         | 315 |