

C. Thomsen · H.-E. Gumlich

# Ein Jahr für die **Physik**

**Newton, Feynman und andere**

**W&T**

WISSENSCHAFT &  
TECHNIK VERLAG



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Teil 1: Klassische Mechanik und Relativitätstheorie</b> | <b>1</b>  |
| <b>1 Zum Aufwärmen</b>                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 Koordinatensysteme . . . . .                           | 2         |
| 1.2 Elementare Bewegungen . . . . .                        | 4         |
| 1.3 Drehbewegungen . . . . .                               | 7         |
| <b>2 Newtons Axiome und die Gravitation</b>                | <b>8</b>  |
| 2.1 Erstes Newtonsches Axiom . . . . .                     | 9         |
| 2.2 Zweites Newtonsches Axiom . . . . .                    | 9         |
| 2.3 Drittes Newtonsches Axiom . . . . .                    | 11        |
| 2.4 Anwendungen der Axiome . . . . .                       | 11        |
| 2.5 Gravitation . . . . .                                  | 14        |
| <b>3 Arbeit, Energie und Erhaltungssätze</b>               | <b>17</b> |
| 3.1 Arbeit . . . . .                                       | 17        |
| 3.2 Felder . . . . .                                       | 26        |
| 3.3 Drehungen starrer Körper . . . . .                     | 27        |
| 3.4 Erhaltungssätze . . . . .                              | 31        |
| <b>4 Schwingungen in der Physik</b>                        | <b>32</b> |
| 4.1 Ungedämpfte harmonische Schwingungen . . . . .         | 33        |
| 4.2 Gedämpfte Schwingungen . . . . .                       | 44        |
| 4.3 Erzwungene Schwingungen . . . . .                      | 49        |
| 4.4 Resonanzen bei erzwungenen Schwingungen . . . . .      | 52        |
| 4.5 Überlagerte Schwingungen . . . . .                     | 54        |
| 4.6 Fourieranalyse . . . . .                               | 55        |
| <b>5 Wellenphänomene</b>                                   | <b>56</b> |
| 5.1 Wellenausbreitung . . . . .                            | 56        |
| 5.2 Wellengleichung . . . . .                              | 60        |
| 5.3 Interferenzen und Gruppengeschwindigkeit . . . . .     | 63        |
| <b>6 Spezielle Relativitätstheorie</b>                     | <b>66</b> |
| 6.1 Addition von Geschwindigkeiten . . . . .               | 66        |
| 6.2 Michelson-Morley-Experiment . . . . .                  | 68        |
| 6.3 Einsteinsche Postulate . . . . .                       | 70        |

|                                   |   |            |
|-----------------------------------|---|------------|
| 6.4                               | Zeit, Länge, Masse und Energie werden “relativ” . . . . .   | 72         |
| 6.5                               | Das Myonen-Experiment . . . . .                             | 79         |
| <b>Teil 2: Elektrizitätslehre</b> |   | <b>80</b>  |
| <b>7</b>                          | <b>Elektrostatik</b>  | <b>80</b>  |
| 7.1                               | Coulombgesetz . . . . .                                     | 81         |
| 7.2                               | Elektrisches Feld . . . . .                                 | 85         |
| 7.3                               | Gaußscher Satz . . . . .                                    | 87         |
| 7.4                               | Arbeit, Potential, Spannung und Energie . . . . .           | 89         |
| 7.5                               | Elektrische Felder und Materie . . . . .                    | 95         |
| 7.6                               | Kondensator und Millikanversuch . . . . .                   | 98         |
| <b>8</b>                          | <b>Statische magnetische Felder und Ströme</b>              | <b>103</b> |
| 8.1                               | Magnetische Dipole und magnetisches Feld . . . . .          | 104        |
| 8.2                               | Materie im Magnetfeld . . . . .                             | 105        |
| 8.3                               | Dipole in magnetischen Feldern . . . . .                    | 107        |
| 8.4                               | Konstante Ströme und ihre Magnetfelder . . . . .            | 109        |
| 8.5                               | Elektrische Ströme . . . . .                                | 115        |
| 8.6                               | Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern . . . . . | 118        |
| <b>9</b>                          | <b>Elektromagnetismus und Anwendungen</b>                   | <b>122</b> |
| 9.1                               | Induktionsgesetz . . . . .                                  | 122        |
| 9.2                               | Maxwellgleichungen . . . . .                                | 124        |
| 9.3                               | Generator und Transformator . . . . .                       | 128        |
| <b>Teil 3: Optik</b>              |   | <b>130</b> |
| <b>10</b>                         | <b>Optik</b>  | <b>130</b> |
| 10.1                              | Licht als elektromagnetische Welle . . . . .                | 131        |
| 10.2                              | Reflexions- und Brechungsgesetz . . . . .                   | 133        |
| 10.3                              | Linsen und optische Abbildungen . . . . .                   | 140        |
| 10.4                              | Optische Instrumente . . . . .                              | 146        |
| <b>11</b>                         | <b>Beugungsphänomene</b>                                    | <b>150</b> |
| 11.1                              | Fraunhoferbeugung am Spalt . . . . .                        | 151        |
| 11.2                              | Beugung am Gitter . . . . .                                 | 154        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Teil 4: Thermodynamik</b>                                     | <b>157</b> |
| <b>12 Druck und Volumen in einem Gas</b>                         | <b>157</b> |
| 12.1 Kinetische Gastheorie . . . . .                             | 158        |
| 12.2 Boyle-Mariotte-Gesetz . . . . .                             | 161        |
| 12.3 Adiabatische Druckänderung . . . . .                        | 162        |
| <b>13 Zustandsgleichung idealer Gase</b>                         | <b>163</b> |
| 13.1 Definition der Temperatur . . . . .                         | 164        |
| 13.2 Gleichverteilungssatz und innere Energie . . . . .          | 166        |
| 13.3 Zustandsgleichung idealer Gase . . . . .                    | 167        |
| <b>14 Verteilungsfunktionen</b>                                  | <b>168</b> |
| 14.1 Barometrische Höhenformel . . . . .                         | 168        |
| 14.2 Boltzmann-Gesetz und Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung | 171        |
| <b>15 Hauptsätze der Thermodynamik</b>                           | <b>176</b> |
| 15.1 Erster Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .                | 176        |
| 15.2 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .               | 178        |
| 15.3 Ein reversibler Kreisprozeß (Carnotprozeß) . . . . .        | 180        |
| 15.4 Wirkungsgrad einer Carnotmaschine . . . . .                 | 183        |
| 15.5 Thermodynamische Temperaturskala . . . . .                  | 185        |
| <b>16 Entropie</b>   | <b>186</b> |
| 16.1 Thermodynamische Definition der Entropie . . . . .          | 186        |
| 16.2 Statistische Herleitung der Entropie . . . . .              | 189        |
| <b>17 Thermodynamischen Zustandsänderungen</b>                   | <b>191</b> |
| 17.1 Thermodynamische Zustandsänderungen idealer Gase . . . .    | 192        |
| 17.2 Wärmekapazität . . . . .                                    | 194        |
| 17.3 Berechnung von $C_v$ und $C_p$ . . . . .                    | 196        |
| 17.4 Adiabatische Zustandsänderungen . . . . .                   | 198        |
| <b>18 Reale Gase</b>   | <b>200</b> |
| 18.1 Herleitung der Van-der-Waals-Gleichung . . . . .            | 201        |
| 18.2 Zustands- oder Phasendiagramm von realen Gasen . . . . .    | 205        |
| 18.3 Verflüssigung von Gasen . . . . .                           | 210        |
| <b>Teil 5: Atomphysik</b>  | <b>216</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>19 Einführung</b>                                       | <b>217</b> |
| 19.1 Historische Entwicklung der Atommodelle . . . . .     | 217        |
| 19.2 Emissions- und Absorptionsprozesse . . . . .          | 219        |
| 19.3 Quantelung . . . . .                                  | 220        |
| <b>20 Entstehung elektromagnetischer Wellen</b>            | <b>222</b> |
| 20.1 Verschiedene Strahlungstypen . . . . .                | 222        |
| 20.2 Temperaturstrahlung des schwarzen Strahlers . . . . . | 224        |
| 20.3 Plancks Quantenhypothese . . . . .                    | 225        |
| 20.4 Bohrsches Atommodell . . . . .                        | 227        |
| 20.5 Bremsstrahlung und Synchrotronstrahlung . . . . .     | 232        |
| <b>21 Grundlegende Versuche der Atomphysik</b>             | <b>233</b> |
| 21.1 Franck-Hertz-Versuch . . . . .                        | 233        |
| 21.2 Spektrallampen . . . . .                              | 236        |
| 21.3 Photoeffekt . . . . .                                 | 236        |
| <b>22 Moderne Anwendungen der Atomphysik</b>               | <b>240</b> |
| 22.1 Röntgenstrahlen . . . . .                             | 240        |
| 22.2 Funktionsweise und Aufbau eines Lasers . . . . .      | 245        |
| 22.3 Anwendungen des Lasers . . . . .                      | 249        |
| <b>23 Quantenmechanische Beschreibung</b>                  | <b>251</b> |
| 23.1 Kritik am Bohrschen Atommodell . . . . .              | 252        |
| 23.2 Grundlagen der Quantenmechanik . . . . .              | 253        |
| 23.3 Heisenbergsche Unschärferelation . . . . .            | 256        |
| 23.4 Schrödinger-Gleichung . . . . .                       | 257        |
| 23.5 Quantenzahlen und Pauli-Prinzip . . . . .             | 262        |
| 23.6 Erfolge der Quantenmechanik . . . . .                 | 265        |
| <b>Teil 6: Kernphysik</b>                                  | <b>266</b> |
| <b>24 Der Atomkern</b>                                     | <b>266</b> |
| 24.1 Bestandteile des Kerns . . . . .                      | 266        |
| 24.2 Ordnungszahl $Z$ und Massenzahl $A$ . . . . .         | 266        |
| 24.3 Isotope . . . . .                                     | 267        |
| 24.4 Schalenmodell und Tröpfchenmodell . . . . .           | 268        |
| 24.5 Kernkräfte . . . . .                                  | 270        |
| 24.6 Kernpotential . . . . .                               | 271        |
| 24.7 Massendefekt und Bindungsenergie . . . . .            | 273        |

|   |            |
|---|------------|
| 24.8 Stabilität, Proton/Neutron-Verhältnis . . . . .            | 278        |
| <b>25 Kernumwandlungen</b>                                      | <b>279</b> |
| 25.1 Energetik der Kernreaktionen . . . . .                     | 279        |
| 25.2 Kernspaltung und Kernfusion . . . . .                      | 281        |
| 25.3 Radioaktive Strahlung . . . . .                            | 283        |
| 25.4 Radioaktives Zerfallsgesetz . . . . .                      | 289        |
| <b>26 Wirkung der Kernstrahlung</b>                             | <b>292</b> |
| 26.1 Wechselwirkungen der einzelnen Strahlungsarten mit Materie | 292        |
| 26.2 Strahlungseinheiten . . . . .                              | 294        |
| 26.3 Gefährlichkeit der Strahlung für den Menschen . . . . .    | 296        |
| 26.4 Abschirmmaßnahmen . . . . .                                | 298        |
| 26.5 Nachweismethoden . . . . .                                 | 299        |
| 26.6 Strahlenschäden . . . . .                                  | 304        |
| <b>27 Technische Anwendung der Kernphysik</b>                   | <b>305</b> |
| 27.1 Kernspaltung zur Energieerzeugung . . . . .                | 305        |
| 27.2 Kernfusion . . . . .                                       | 310        |
| 27.3 Anwendung radioaktiver Stoffe . . . . .                    | 311        |
| <b>28 Elementarteilchen</b>                                     | <b>313</b> |
| 28.1 Fundamentale Wechselwirkungen . . . . .                    | 314        |
| 28.2 Standardmodell der Elementarteilchen . . . . .             | 315        |
| <b>Teil 7: Festkörperphysik</b>                                 | <b>318</b> |
| <b>29 Festkörper</b>  | <b>318</b> |
| 29.1 Ionenbindung . . . . .                                     | 319        |
| 29.2 Kovalente oder homöopolare Bindung . . . . .               | 320        |
| 29.3 Metallische Bindung . . . . .                              | 320        |
| 29.4 Kristalltypen . . . . .                                    | 321        |
| 29.5 Röntgenstrukturanalyse . . . . .                           | 323        |
| <b>30 Vom Atom zum Festkörper</b>                               | <b>324</b> |
| 30.1 Über das Zustandekommen der Energiebänder . . . . .        | 324        |
| 30.2 Vereinfachte Darstellung des Bändermodells . . . . .       | 326        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>31 Der Halbleiter</b>                                | <b>328</b> |
| 31.1 Donatoren und Akzeptoren in Halbleitern . . . . .  | 328        |
| 31.2 p-n Übergang . . . . .                             | 330        |
| <b>32 Einige Halbleiterbauelemente</b>                  | <b>333</b> |
| 32.1 Halbleiterdiode . . . . .                          | 334        |
| 32.2 Solarzelle . . . . .                               | 335        |
| 32.3 Bipolarer Transistor . . . . .                     | 336        |
| 32.4 Feldeffekt-Transistor (FET) . . . . .              | 339        |
| <b>33 Magnetismus in Festkörpern</b>                    | <b>340</b> |
| 33.1 Grundgrößen des magnetischen Feldes . . . . .      | 340        |
| 33.2 Atomarer Ursprung des Magnetismus . . . . .        | 342        |
| 33.3 Diamagnetismus . . . . .                           | 343        |
| 33.4 Paramagnetismus . . . . .                          | 344        |
| 33.5 Ferromagnetismus . . . . .                         | 345        |
| <b>34 Supraleitung</b>                                  | <b>347</b> |
| 34.1 Ideale Leitfähigkeit . . . . .                     | 347        |
| 34.2 Meißner-Ochsenfeld-Effekt . . . . .                | 350        |
| 34.3 BCS-Theorie zur Deutung der Supraleitung . . . . . | 352        |
| 34.4 Hoch-Temperatur Supraleiter (HTSL) . . . . .       | 354        |
| <b>A Naturkonstanten</b>                                | <b>356</b> |
| <b>B Abgeleitete SI Einheiten</b>                       | <b>357</b> |
| <b>C SI Vorsilben für Größenordnungen</b>               | <b>357</b> |
| <b>D Periodensystem der Elemente</b>                    | <b>358</b> |
| <b>Index</b>  | <b>360</b> |