

**CARL HANSER VERLAG**

Heribert Stroppe

**PHYSIK**

für Studenten der Natur- und Ingenieurwissenschaften

3-446-22537-4

[www.hanser.de](http://www.hanser.de)

# Inhaltsverzeichnis

## Einführung

|          |                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Was ist „Physik“? Wege physikalischer Erkenntnisgewinnung</b> | <b>15</b> |
| <b>2</b> | <b>Physikalische Größen, Einheiten, Dimensionen, Gleichungen</b> | <b>16</b> |
| 2.1      | Größen, Einheiten, Dimensionen                                   | 16        |
| 2.2      | Physikalische Gleichungen                                        | 18        |

## TEILCHEN

### *Mechanik der Punktmasse und des starren Körpers*

|          |                                                                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>Kinematik der Punktmasse</b>                                                                     | <b>19</b> |
| 3.1      | Raum, Zeit, Bezugssystem                                                                            | 19        |
| 3.2      | Die gleichförmige Bewegung                                                                          | 21        |
| 3.3      | Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung                                                              | 22        |
| 3.4      | Freier Fall. Senkrechter Wurf                                                                       | 25        |
| 3.5      | Allgemeine Definition von Geschwindigkeit und Beschleunigung. Ungleichmäßig beschleunigte Bewegung  | 27        |
| 3.6      | Geschwindigkeit und Beschleunigung als Vektoren. Zusammengesetzte Bewegungen (Superposition)        | 29        |
| 3.7      | Die gleichförmige Kreisbewegung                                                                     | 31        |
| 3.8      | Die ungleichförmige Kreisbewegung                                                                   | 34        |
| 3.9      | Bewegung auf beliebig krummliniger Bahn                                                             | 36        |
| <b>4</b> | <b>Dynamik der Punktmasse</b>                                                                       | <b>37</b> |
| 4.1      | Der Kraftbegriff in der Physik. Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften. Statisches Gleichgewicht | 38        |
| 4.2      | Das Trägheitsgesetz (1. NEWTONsches Axiom)                                                          | 40        |
| 4.3      | Das Grundgesetz der Dynamik (2. NEWTONsches Axiom)                                                  | 40        |
| 4.4      | Träge und schwere Masse. Gewichtskraft. Radialkraft                                                 | 41        |
| 4.5      | Kraftstoß. Impuls (Bewegungsgröße)                                                                  | 43        |
| 4.6      | Lösung der Bewegungsgleichung für konstante Kraft. Die Wurfbewegung                                 | 45        |
| 4.7      | Das Wechselwirkungsgesetz (3. NEWTONsches Axiom)                                                    | 48        |
| 4.8      | Reibungskräfte                                                                                      | 49        |
| <b>5</b> | <b>Bewegte Bezugssysteme</b>                                                                        | <b>51</b> |
| 5.1      | Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme. Trägheitskräfte                                             | 52        |
| 5.2      | Gleichförmig rotierende Bezugssysteme. Zentrifugalkraft, CORIOLIS-Kraft                             | 54        |
| 5.3      | Inertialsysteme. Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik                                       | 57        |

|           |                                                                         |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6</b>  | <b>Grundzüge der speziellen Relativitätstheorie</b>                     | <b>58</b> |
| 6.1       | Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die LORENTZ-Transformation           | 58        |
| 6.2       | Folgerungen aus der LORENTZ-Transformation                              | 62        |
| 6.3       | Relativistische Bewegungsgleichung                                      | 63        |
| <b>7</b>  | <b>Arbeit und Energie</b>                                               | <b>64</b> |
| 7.1       | Arbeit                                                                  | 64        |
| 7.2       | Leistung. Wirkung                                                       | 68        |
| 7.3       | Der Energiebegriff. Potentielle und kinetische Energie                  | 69        |
| 7.4       | Das Gesetz von der Erhaltung der Energie (Energiesatz)                  | 70        |
| 7.5       | Äquivalenz von Masse und Energie                                        | 71        |
| <b>8</b>  | <b>Gravitation</b>                                                      | <b>73</b> |
| 8.1       | Die KEPLERSchen Gesetze der Planetenbewegung und das Gravitationsgesetz | 73        |
| 8.2       | Arbeit gegen die Schwerkraft. Kosmische Geschwindigkeiten               | 75        |
| <b>9</b>  | <b>Dynamik der Punktmassen-Systeme</b>                                  | <b>77</b> |
| 9.1       | Impulserhaltungssatz. Massenmittelpunkt                                 | 77        |
| 9.2       | Die Gesetze des Stoßes                                                  | 79        |
| 9.3       | Raketenantrieb                                                          | 83        |
| <b>10</b> | <b>Statik des starren Körpers</b>                                       | <b>85</b> |
| 10.1      | Freiheitsgrade des starren Körpers                                      | 85        |
| 10.2      | Kräfte am starren Körper. Drehmoment. Gleichgewichtsbedingungen         | 85        |
| 10.3      | Kräftepaar                                                              | 89        |
| 10.4      | Der Schwerpunkt                                                         | 90        |
| 10.5      | Arten des Gleichgewichts                                                | 92        |
| <b>11</b> | <b>Dynamik des starren Körpers</b>                                      | <b>92</b> |
| 11.1      | Bewegung eines frei beweglichen Körpers bei Einwirkung einer Kraft      | 92        |
| 11.2      | Kinetische Energie der Drehbewegung. Massenträgheitsmoment              | 93        |
| 11.3      | Arbeit und Leistung bei der Drehbewegung. Grundgesetz der Dynamik       | 95        |
| 11.4      | Der Drehimpuls (Drall). Drehimpulserhaltungssatz                        | 97        |
| 11.5      | Kreiselbewegungen. Freie Achsen                                         | 98        |
| 11.6      | Bewegung des symmetrischen Kreisels                                     | 100       |

## KONTINUA

### *Mechanik der deformierbaren Medien*

|           |                                                                                           |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>12</b> | <b>Die Zustandsformen der Stoffe</b>                                                      | <b>103</b> |
| <b>13</b> | <b>Der deformierbare feste Körper</b>                                                     | <b>104</b> |
| 13.1      | Elastische Verformung. HOOKEsches Gesetz                                                  | 104        |
| 13.2      | Querkontraktion. Kompressibilität                                                         | 105        |
| 13.3      | Elastisches Verhalten bei Scherbeanspruchung                                              | 107        |
| 13.4      | Der einachsige Spannungszustand                                                           | 107        |
| 13.5      | Zusammenhang zwischen Schubmodul, Elastizitätsmodul und POISSONScher Querkontraktionszahl | 108        |
| 13.6      | Plastische Verformung. Spannungs-Dehnungs-Diagramm                                        | 109        |

|           |                                                                  |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>14</b> | <b>Ruhende Flüssigkeiten und Gase</b>                            | 111 |
| 14.1      | Druck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck)                   | 111 |
| 14.2      | Schweredruck. Auftrieb. Schwimmstabilität                        | 112 |
| 14.3      | Druck in Gasen. Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Dichte  | 114 |
| 14.4      | Schweredruck in Gasen. Barometrische Höhenformel                 | 116 |
| 14.5      | Erscheinungen an Grenzflächen. Kohäsion und Adhäsion             | 117 |
| 14.6      | Spezifische Oberflächenenergie, Oberflächenspannung              | 118 |
| 14.7      | Benetzung und Kapillarwirkung                                    | 119 |
| <b>15</b> | <b>Strömende Flüssigkeiten und Gase (Strömungsmechanik)</b>      | 121 |
| 15.1      | Das Strömungsfeld. Kennzeichnung und Einteilung von Strömungen   | 121 |
| 15.2      | Strömungen idealer Flüssigkeiten und Gase. Kontinuitätsgleichung | 123 |
| 15.3      | Die BERNOULLISCHE Gleichung. Druckmessung                        | 125 |
| 15.4      | Strömungen realer Flüssigkeiten und Gase. Laminare Strömung      | 128 |
| 15.5      | Gesetze von HAGEN-POISEUILLE und STOKES                          | 129 |
| 15.6      | Umströmung durch reale Flüssigkeiten und Gase. REYNOLDS-Zahl     | 131 |
| 15.7      | Die Bewegungsgleichung eines Fluids                              | 133 |

## WÄRME

### *Thermodynamik und Gaskinetik*

|           |                                                                                                               |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>16</b> | <b>Verhalten der Körper bei Temperaturänderung</b>                                                            | 137 |
| 16.1      | Die Temperatur und ihre Messung                                                                               | 137 |
| 16.2      | Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper                                                             | 139 |
| 16.3      | Durch Änderung der Temperatur bewirkte Zustandsänderungen der Gase.<br>Der absolute Nullpunkt                 | 141 |
| 16.4      | Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases                                                            | 144 |
| <b>17</b> | <b>Der I. Hauptsatz der Thermodynamik (Energiesatz)</b>                                                       | 145 |
| 17.1      | Wärmemenge und Wärmekapazität                                                                                 | 145 |
| 17.2      | Innere Energie eines Systems. Formulierung des I. Hauptsatzes                                                 | 147 |
| 17.3      | Spezifische Wärmekapazität des idealen Gases. Kalorische Zustandsgleichung                                    | 149 |
| 17.4      | Anwendung des I. Hauptsatzes auf spezielle Zustandsänderungen des idealen Gases                               | 151 |
| 17.5      | Zustandsänderungen des idealen Gases in offenen Systemen. Technische Arbeit.<br>Enthalpie                     | 155 |
| <b>18</b> | <b>Kinetische Gastheorie</b>                                                                                  | 157 |
| 18.1      | Die Masse der Atome und Moleküle                                                                              | 157 |
| 18.2      | Druck und mittlere quadratische Geschwindigkeit der Gasmoleküle. Grundgleichung<br>der kinetischen Gastheorie | 158 |
| 18.3      | Die Geschwindigkeitsverteilung der Gasmoleküle                                                                | 161 |
| 18.4      | Molekularenergie und Temperatur. Wärmekapazität der Körper                                                    | 163 |
| 18.5      | Stoßzahl und mittlere freie Weglänge                                                                          | 165 |
| 18.6      | Gemische idealer Gase. Gesetz von DALTON                                                                      | 166 |
| <b>19</b> | <b>Der II. Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiesatz)</b>                                                     | 168 |
| 19.1      | Der CARNOTSche Kreisprozess. Wärmekraftmaschine, Kältemaschine und<br>Wärmepumpe                              | 168 |
| 19.2      | Thermodynamische Temperatur                                                                                   | 172 |
| 19.3      | Reversible und irreversible Vorgänge. II. Hauptsatz                                                           | 172 |
| 19.4      | Entropie                                                                                                      | 174 |
| 19.5      | Entropieänderung des idealen Gases. Irreversible Prozesse                                                     | 178 |

|           |                                                                                         |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 19.6      | Entropie und Wahrscheinlichkeit . . . . .                                               | 180        |
| 19.7      | III. Hauptsatz (Satz von der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunkts) . . . . .       | 182        |
| <b>20</b> | <b>Reale Gase. Phasenumwandlungen . . . . .</b>                                         | <b>183</b> |
| 20.1      | Die VAN-DER-WAALSsche Zustandsgleichung. Gasverflüssigung . . . . .                     | 183        |
| 20.2      | JOULE-THOMSON-Effekt. Erzeugung tiefer Temperaturen . . . . .                           | 186        |
| 20.3      | Gleichgewicht zwischen flüssiger und gasförmiger Phase. Sieden und Verdunsten . . . . . | 188        |
| 20.4      | Gleichgewicht zwischen fester und flüssiger Phase. Koexistenz dreier Phasen . . . . .   | 192        |
| 20.5      | Lösungen. Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktserniedrigung . . . . .                       | 194        |
| <b>21</b> | <b>Ausgleichsvorgänge . . . . .</b>                                                     | <b>196</b> |
| 21.1      | Wärmeleitung . . . . .                                                                  | 196        |
| 21.2      | Wärmeübergang, Wärmedurchgang, Konvektion . . . . .                                     | 199        |
| 21.3      | Diffusion . . . . .                                                                     | 200        |

## FELDER

### *Gravitation. Elektrizität und Magnetismus*

|           |                                                                                        |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>22</b> | <b>Das Gravitationsfeld . . . . .</b>                                                  | <b>203</b> |
| 22.1      | Fernwirkung und Nahwirkung. Der Feldbegriff . . . . .                                  | 203        |
| 22.2      | Gravitationsfeldstärke, Gravitationspotential . . . . .                                | 205        |
| 22.3      | Massen als Senken des Gravitationsfeldes . . . . .                                     | 208        |
| <b>23</b> | <b>Das elektrostatische Feld . . . . .</b>                                             | <b>209</b> |
| 23.1      | Die elektrische Ladung. Ladungsnachweis . . . . .                                      | 210        |
| 23.2      | Ladungen als Quellen bzw. Senken des elektrischen Feldes . . . . .                     | 211        |
| 23.3      | Kraftwirkungen des elektrischen Feldes. Elektrische Feldstärke . . . . .               | 212        |
| 23.4      | Elektrostatisches Potential. Spannung . . . . .                                        | 214        |
| 23.5      | Elektrische Ladungen auf Leitern. Influenz . . . . .                                   | 216        |
| 23.6      | Elektrischer Fluss, Flussdichte . . . . .                                              | 218        |
| 23.7      | Das elektrische Zentralfeld (Punktladung und Punktladungssystem) . . . . .             | 219        |
| 23.8      | Kapazität. Kondensatoren . . . . .                                                     | 221        |
| <b>24</b> | <b>Das elektrische Feld in Isolatoren (Dielektrika) . . . . .</b>                      | <b>223</b> |
| 24.1      | Elektrische Polarisation der Dielektrika. Piezoelektrizität . . . . .                  | 223        |
| 24.2      | Permittivität (Dielektrizitätskonstante), elektrische Suszeptibilität . . . . .        | 224        |
| 24.3      | Verhalten von $\mathbf{D}$ und $\mathbf{E}$ an der Grenzfläche zweier Medien . . . . . | 226        |
| 24.4      | Energieinhalt des elektrischen Feldes . . . . .                                        | 228        |
| <b>25</b> | <b>Der Gleichstromkreis . . . . .</b>                                                  | <b>229</b> |
| 25.1      | Das stationäre elektrische Feld in einem Leiter . . . . .                              | 229        |
| 25.2      | Stromstärke, Spannung, Widerstand. OHMsches Gesetz . . . . .                           | 229        |
| 25.3      | Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen. KIRCHHOFFsche Gesetze . . . . .        | 232        |
| 25.4      | Arbeit und Leistung elektrischer Gleichströme . . . . .                                | 235        |
| <b>26</b> | <b>Elektrische Leitungsvorgänge in Festkörpern und Flüssigkeiten . . . . .</b>         | <b>235</b> |
| 26.1      | Klassische Theorie der freien Elektronen in Metallen . . . . .                         | 236        |
| 26.2      | Thermoelektrische Effekte . . . . .                                                    | 238        |
| 26.3      | Elektrokinetische Effekte . . . . .                                                    | 239        |
| 26.4      | Elektrolytische Stromleitung. FARADAYsche Gesetze . . . . .                            | 239        |
| 26.5      | Elektrochemische Spannungsquellen . . . . .                                            | 241        |

|           |                                                                                       |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>27</b> | <b>Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und in Gasen</b>                            | 242 |
| 27.1      | Bewegung freier Ladungsträger im elektrischen Feld                                    | 242 |
| 27.2      | Ladungsträgerinjektion, Katodenstrahlen                                               | 244 |
| 27.3      | Gasentladungen                                                                        | 245 |
| 27.4      | Plasmaströme                                                                          | 248 |
| <b>28</b> | <b>Das magnetostatische Feld der Dipole und Gleichströme</b>                          | 248 |
| 28.1      | Analogien und Unterschiede zum elektrostatischen Feld                                 | 248 |
| 28.2      | Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf magnetische Dipole. Magnetische Feldstärke | 250 |
| 28.3      | Das Magnetfeld eines geraden Stromleiters. Durchflutungsgesetz                        | 250 |
| 28.4      | Einfache Feldberechnungen                                                             | 252 |
| 28.5      | Magnetische Flussdichte (Induktion)                                                   | 253 |
| 28.6      | Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf Stromleiter                                | 254 |
| 28.7      | Bewegung freier Ladungsträger im magnetischen Feld. LORENTZ-Kraft                     | 256 |
| 28.8      | Galvano- und thermomagnetische Effekte. HALL-Effekt                                   | 258 |
| <b>29</b> | <b>Das magnetische Feld in Stoffen</b>                                                | 259 |
| 29.1      | Magnetische Polarisation der Stoffe                                                   | 259 |
| 29.2      | Magnetisierung der Ferromagnetika. Hysterese                                          | 260 |
| 29.3      | Der magnetische Kreis. Entmagnetisierung                                              | 262 |
| <b>30</b> | <b>Elektromagnetische Induktion</b>                                                   | 264 |
| 30.1      | Das FARADAYSche Induktionsgesetz                                                      | 264 |
| 30.2      | Selbstinduktion                                                                       | 266 |
| 30.3      | Energieinhalt des magnetischen Feldes                                                 | 268 |
| 30.4      | Elektromagnetische Induktion in einem bewegten Leiter                                 | 268 |
| <b>31</b> | <b>Der Wechselstromkreis</b>                                                          | 270 |
| 31.1      | Wechselspannung, Wechselstrom, Dreiphasenstrom                                        | 270 |
| 31.2      | Arbeit und Leistung elektrischer Wechselströme                                        | 272 |
| 31.3      | Wechselstromwiderstände. OHMSches Gesetz für Wechselstrom                             | 273 |
| 31.4      | Der Transformator                                                                     | 278 |
| 31.5      | Anharmonische Wechselströme in der Elektronik                                         | 279 |
| 31.6      | Gleichrichter und Verstärker. Elektronische Bauelemente                               | 280 |
| <b>32</b> | <b>Die Maxwell'schen Gleichungen</b>                                                  | 283 |
| 32.1      | Wirbel des magnetischen Feldes. Verschiebungsstrom                                    | 283 |
| 32.2      | Wirbel des elektrischen Feldes. Wirbelströme                                          | 285 |
| 32.3      | Elektromagnetisches Feld. System der MAXWELLSchen Gleichungen                         | 286 |
| 32.4      | Relativistische Elektrodynamik                                                        | 287 |

## WELLEN

### *Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen*

|           |                                            |     |
|-----------|--------------------------------------------|-----|
| <b>33</b> | <b>Mechanische Schwingungen</b>            | 289 |
| 33.1      | Lineare Federschwingungen                  | 290 |
| 33.2      | Energiebilanz des harmonischen Oszillators | 292 |
| 33.3      | Drehschwingungen                           | 294 |
| 33.4      | Pendelschwingungen                         | 295 |
| 33.5      | Freie gedämpfte Schwingungen               | 297 |
| 33.6      | Erzwungene Schwingungen                    | 299 |

|           |                                                                           |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>34</b> | <b>Elektrische Schwingungen</b>                                           | 302 |
| 34.1      | Der geschlossene Schwingkreis                                             | 302 |
| 34.2      | Strom- und Spannungsresonanz                                              | 304 |
| 34.3      | Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen                          | 307 |
| <b>35</b> | <b>Überlagerung harmonischer Schwingungen</b>                             | 308 |
| 35.1      | Überlagerung zweier Schwingungen längs gleicher Richtung                  | 308 |
| 35.2      | Gekoppelte Schwingungen                                                   | 310 |
| 35.3      | Überlagerung zweier Schwingungen längs aufeinander senkrechter Richtungen | 313 |
| 35.4      | Überlagerung von harmonischen zu anharmonischen Schwingungen              | 315 |
| <b>36</b> | <b>Allgemeine Wellenlehre</b>                                             | 318 |
| 36.1      | Zusammenhang von Schwingungen und Wellen                                  | 318 |
| 36.2      | Die eindimensionale Wellengleichung und ihre allgemeine Lösung            | 321 |
| 36.3      | Transversal- und Longitudinalwellen                                       | 322 |
| 36.4      | Stehende Wellen. Eigenschwingungen                                        | 324 |
| 36.5      | Wellenausbreitung in ausgedehnten Medien                                  | 327 |
| <b>37</b> | <b>Schallwellen (Akustik)</b>                                             | 329 |
| 37.1      | Wellenausbreitung im Schallfeld. Phasengeschwindigkeit                    | 329 |
| 37.2      | Schallfeldgrößen                                                          | 331 |
| 37.3      | Schallquellen. Ton, Klang, Geräusch                                       | 333 |
| 37.4      | Schallempfänger und Gehör. Schallpegel und Lautstärke                     | 334 |
| 37.5      | Stehende Schallwellen                                                     | 336 |
| 37.6      | DOPPLER-Effekt                                                            | 337 |
| 37.7      | MACHscher Kegel                                                           | 339 |
| <b>38</b> | <b>Elektromagnetische Wellen</b>                                          | 339 |
| 38.1      | Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entlang von Leitungen              | 339 |
| 38.2      | Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im freien Raum                     | 342 |
| 38.3      | Erzeugung und Nachweis elektromagnetischer Wellen                         | 345 |
| 38.4      | Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen (H. HERTZ, 1888)            | 347 |
| 38.5      | Das elektromagnetische Spektrum                                           | 348 |
| <b>39</b> | <b>Einfluss von Stoffen auf die Wellenausbreitung</b>                     | 350 |
| 39.1      | Absorption und Streuung                                                   | 350 |
| 39.2      | Phasengeschwindigkeit und Dispersion. Gruppengeschwindigkeit              | 351 |
| 39.3      | HUYGENSSches Prinzip                                                      | 354 |
| 39.4      | Reflexion und Brechung (Refraktion). Totalreflexion                       | 355 |
| 39.5      | Optische Dispersion. Prisma, Spektral- und Körperfarben                   | 358 |
| <b>40</b> | <b>Strahlenoptik (Geometrische Optik)</b>                                 | 360 |
| 40.1      | Lichtstrahlen. FERMATSches Prinzip                                        | 360 |
| 40.2      | Reflexion und Brechung von Lichtstrahlen                                  | 362 |
| 40.3      | Abbildung durch Spiegel (ebener und gekrümmte Spiegel)                    | 364 |
| 40.4      | Abbildung durch Linsen (dünne und dicke Linsen, Linsensysteme)            | 368 |
| 40.5      | Das Auge und der Sehvorgang                                               | 373 |
| 40.6      | Optische Geräte zur Sehwinkelvergrößerung (Lupe, Mikroskop, Fernrohr)     | 374 |
| 40.7      | Abbildungsfehler                                                          | 376 |
| <b>41</b> | <b>Wellenoptik</b>                                                        | 377 |
| 41.1      | Interferenz. Interferenzbedingungen                                       | 377 |
| 41.2      | Interferenzen gleicher Neigung und gleicher Dicke                         | 379 |
| 41.3      | Beugung (Diffraction). Das Beugungsphänomen                               | 381 |

|       |                                                                              |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 41.4  | FRAUNHOFERSche Beugung am Spalt und an der Lochblende . . . . .              | 383 |
| 41.5  | Auflösungsvermögen optischer Geräte. Holografie . . . . .                    | 385 |
| 41.6  | FRAUNHOFERSche Beugung am Strichgitter . . . . .                             | 388 |
| 41.7  | Spektrometer . . . . .                                                       | 390 |
| 41.8  | Beugung von Röntgenstrahlen am Raumgitter der Kristalle . . . . .            | 392 |
| 41.9  | Polarisation. Polarisation des Lichts durch Reflexion und Brechung . . . . . | 395 |
| 41.10 | Polarisation durch Doppelbrechung . . . . .                                  | 397 |
| 41.11 | Interferenz des polarisierten Lichts . . . . .                               | 399 |
| 41.12 | Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichts . . . . .              | 403 |
| 41.13 | Nichtlineare Optik . . . . .                                                 | 403 |

## QUANTEN

### *Struktur und Eigenschaften der Materie*

|           |                                                                                         |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>42</b> | <b>Die Gesetze der Strahlung . . . . .</b>                                              | <b>405</b> |
| 42.1      | Das Wesen der Temperaturstrahlung (Wärmestrahlung) . . . . .                            | 405        |
| 42.2      | Strahlungsphysikalische Größen . . . . .                                                | 406        |
| 42.3      | Emission und Absorption von Strahlung. KIRCHHOFFSches Strahlungsgesetz . . . . .        | 408        |
| 42.4      | Das PLANCKSche Strahlungsgesetz . . . . .                                               | 410        |
| 42.5      | Folgerungen aus dem PLANCKschen Strahlungsgesetz . . . . .                              | 411        |
| 42.6      | Lichttechnische Größen (Photometrie) . . . . .                                          | 414        |
| 42.7      | Zusammenhang zwischen strahlungsphysikalischen und lichttechnischen Größen . . . . .    | 416        |
| <b>43</b> | <b>Der Welle-Teilchen-Dualismus der Mikroobjekte . . . . .</b>                          | <b>417</b> |
| 43.1      | Die Teilchennatur des Lichts. Lichtquanten (Photonen) . . . . .                         | 417        |
| 43.2      | Der lichtelektrische Effekt (Photoeffekt) . . . . .                                     | 418        |
| 43.3      | Der COMPTON-Effekt . . . . .                                                            | 420        |
| 43.4      | Rückstoß durch Quantenemission. MÖSSBAUER-Effekt . . . . .                              | 422        |
| 43.5      | Die Wellennatur der Teilchen . . . . .                                                  | 424        |
| 43.6      | Das HEISENBERGSche Unbestimmtheitsprinzip (Unschärferelation) . . . . .                 | 427        |
| <b>44</b> | <b>Atombau und Spektren . . . . .</b>                                                   | <b>429</b> |
| 44.1      | Die Streuexperimente von LENARD und RUTHERFORD. Das RUTHERFORDSche Atommodell . . . . . | 429        |
| 44.2      | Das Spektrum des Wasserstoffatoms . . . . .                                             | 431        |
| 44.3      | Das BOHRSche Atommodell . . . . .                                                       | 433        |
| 44.4      | Die Spektren der Alkaliatome. Bahndrehimpulsquantenzahl . . . . .                       | 437        |
| 44.5      | Richtungsquantelung des Bahndrehimpulses der Elektronen . . . . .                       | 439        |
| 44.6      | Das magnetische Bahnmoment der Elektronen. BOHRsches Magneton . . . . .                 | 440        |
| 44.7      | Elektronenspin und magnetisches Spinmoment. Die Feinstruktur der Atomspektren . . . . . | 441        |
| 44.8      | Mehrelektronensysteme . . . . .                                                         | 443        |
| 44.9      | Aufspaltung der Spektrallinien im Magnetfeld (ZEEMAN-Effekt) . . . . .                  | 444        |
| 44.10     | Das PAULI-Prinzip und das Periodensystem der Elemente . . . . .                         | 446        |
| 44.11     | Die Röntgenspektren und ihre Deutung . . . . .                                          | 449        |
| 44.12     | Absorption und Streuung von Röntgenstrahlen . . . . .                                   | 451        |
| 44.13     | Induzierte Emission. Maser und Laser . . . . .                                          | 455        |
| <b>45</b> | <b>Wellenmechanik . . . . .</b>                                                         | <b>457</b> |
| 45.1      | Die SCHRÖDINGER-Gleichung . . . . .                                                     | 457        |
| 45.2      | Elektron im Kastenpotential . . . . .                                                   | 459        |
| 45.3      | Das wellenmechanische Bild des Atoms . . . . .                                          | 461        |
| 45.4      | Der Tunneleffekt . . . . .                                                              | 462        |

|           |                                                                                          |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>46</b> | <b>Elektrische und magnetische Eigenschaften von Festkörpern</b>                         | 464 |
| 46.1      | Elektrische Leitfähigkeit. Das Modell des Elektronengases                                | 464 |
| 46.2      | Bändermodell des Festkörpers. Metalle, Halbleiter, Isolatoren                            | 465 |
| 46.3      | Elektrische Ströme in Halbleitern. Eigenleitung, Störstellenleitung                      | 468 |
| 46.4      | Der pn-Übergang                                                                          | 471 |
| 46.5      | Halbleiterdiode, Transistor                                                              | 473 |
| 46.6      | Magnetische Eigenschaften. Dia- und Paramagnetismus                                      | 475 |
| 46.7      | Ferromagnetismus, Antiferro- und Ferrimagnetismus                                        | 476 |
| 46.8      | Supraleitung                                                                             | 479 |
| 46.9      | Supraflüssigkeit                                                                         | 481 |
| <b>47</b> | <b>Atomkerne</b>                                                                         | 482 |
| 47.1      | Masse, Ladung und Zusammensetzung der Kerne                                              | 482 |
| 47.2      | Isotope                                                                                  | 483 |
| 47.3      | Isobare, Isotone, Nuklide, Isomere                                                       | 484 |
| 47.4      | Massendefekt und Bindungsenergie der Kerne                                               | 484 |
| 47.5      | Stabilitätskriterien. Kernsystematik                                                     | 486 |
| 47.6      | Kernkräfte                                                                               | 488 |
| 47.7      | Kernmodelle                                                                              | 489 |
| <b>48</b> | <b>Die natürliche Radioaktivität</b>                                                     | 490 |
| 48.1      | Der $\alpha$ -Zerfall der schweren Kerne                                                 | 490 |
| 48.2      | Der $\beta$ -Zerfall. Gammastrahlung                                                     | 491 |
| 48.3      | Das Zerfallsgesetz. Spezifische Aktivität                                                | 493 |
| 48.4      | Radioaktive Zerfallsreihen und radioaktives Gleichgewicht                                | 495 |
| 48.5      | Dosimetrie und biologische Wirkung ionisierender Strahlung                               | 496 |
| <b>49</b> | <b>Künstliche Kernumwandlungen</b>                                                       | 498 |
| 49.1      | Arten künstlicher Kernumwandlungen                                                       | 498 |
| 49.2      | Massen- und Energiebilanz von Kernreaktionen. Wirkungsquerschnitt                        | 499 |
| 49.3      | Kernspaltung. Gewinnung von Kernspaltungsenergie                                         | 500 |
| 49.4      | Arten von Kernreaktoren                                                                  | 502 |
| 49.5      | Kernfusion                                                                               | 503 |
| <b>50</b> | <b>Elementarteilchen</b>                                                                 | 504 |
| 50.1      | Entwicklung zum Teilchen-„Zoo“                                                           | 504 |
| 50.2      | Erhaltungssätze für Baryonenladung, Leptonenladung, Isospin, Strangeness und Hyperladung | 505 |
| 50.3      | Die elementaren Teilchen: Leptonen und Quarks                                            | 507 |
| 50.4      | Zusammengesetzte Elementarteilchen. Hadronen                                             | 509 |
| 50.5      | Die elementaren Kräfte (Wechselwirkungen). Feldquanten                                   | 509 |
| 50.6      | Vereinheitlichte Theorie der elementaren Kräfte (Supersymmetrie, Theory of Everything)   | 512 |
| 50.7      | Kosmologie                                                                               | 513 |
|           | <b>ANHANG: Fehlerrechnung (Messabweichungen)</b>                                         | 514 |
|           | <b>Bildquellenverzeichnis</b>                                                            | 524 |
|           | <b>Lösungen der Aufgaben</b>                                                             | 525 |
|           | <b>Sachwortverzeichnis</b>                                                               | 530 |