

Helmut Lindner  
unter Mitarbeit von Günther Kokschi  
und Günter Simon

# PHYSIK

## für Ingenieure

14. Auflage  
Mit 711 Bildern, 72 Tabellen, 225 Beispielen  
und einer Farbtafel



Fachbuchverlag Leipzig - Köln

# INHALTSVERZEICHNIS

## Einleitung

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Physikalische Größen und Gleichungen</b> | <b>19</b> |
| 1.1 Physikalische Größen                      | 19        |
| 1.2 Vektorielle und skalare Größen            | 19        |
| 1.3 Physikalische Gleichungen                 | 20        |
| 1.3.1 Größengleichungen                       | 20        |
| 1.3.2 Zuggeschnittene Größengleichungen       | 21        |
| 1.3.3 Einheitengleichungen                    | 21        |
| 1.3.4 Dimensionen                             | 21        |
| 1.4 Internationales Einheitensystem           | 22        |
| 1.4.1 Längeneinheit Meter                     | 23        |
| 1.4.2 Masseinheit Kilogramm                   | 26        |
| 1.4.3 Zeiteinheit Sekunde                     | 27        |
| 1.4.4 Dichte                                  | 27        |

## Mechanik des Massenpunktes und des starren Körpers

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2 Lehre von den Bewegungen (Kinematik)</b>                 | <b>30</b> |
| 2.1 Grundbegriffe der Bewegungslehre                          | 30        |
| 2.1.1 Geschwindigkeit                                         | 31        |
| 2.1.2 Beschleunigung                                          | 32        |
| 2.2 Bewegung auf gerader Bahn                                 | 34        |
| 2.2.1 Gleichförmige Bewegung                                  | 34        |
| 2.2.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung                      | 35        |
| 2.2.3 Freier Fall                                             | 37        |
| 2.2.4 Senkrechter Wurf                                        | 39        |
| 2.3 Geschwindigkeit und Beschleunigung als vektorielle Größen | 40        |
| 2.3.1. Relativität der Bewegungen und Unabhängigkeitsprinzip  | 40        |
| 2.3.2. Grundeigenschaften vektorieller Größen                 | 42        |
| 2.3.3. Waagerechter und schräger Wurf                         | 44        |
| 2.4 Bewegung auf der Kreisbahn                                | 47        |
| 2.4.1 Gleichförmige Bewegung auf der Kreisbahn                | 47        |
| 2.4.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Kreisbahn    | 50        |
| 2.4.3 Radialbeschleunigung der Kreisbewegung                  | 53        |
| <b>3 Kräfte am bewegten Massenpunkt</b>                       | <b>54</b> |
| 3.1 Grundgesetz der Dynamik                                   | 54        |
| 3.2 Trägheitskräfte                                           | 58        |
| 3.3 Bewegungshemmende Kräfte                                  | 60        |
| 3.3.1 Haftreibung                                             | 61        |
| 3.3.2 Gleitreibung und Fahrwiderstand                         | 62        |
| <b>4 Ebene Systeme von Kräften</b>                            | <b>63</b> |
| 4.1 Kraft als vektorielle Größe                               | 63        |
| 4.2 Gleichgewicht zweier Kräfte                               | 64        |
| 4.3 Kräfte mit gemeinsamem Angriffspunkt                      | 65        |
| 4.3.1 Zusammensetzung von Kräften                             | 65        |
| 4.3.2 Zerlegung von Kräften                                   | 67        |
| 4.4 Kräfte am starren Körper                                  | 68        |

|                                     |                                                               |     |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.1                               | Kräfte mit verschiedenen Angriffspunkten                      | 68  |
| 4.4.2                               | Drehmoment                                                    | 69  |
| 4.4.3                               | Zusammensetzung von Drehmomenten                              | 71  |
| 4.4.4                               | Massenmittelpunkt (Schwerpunkt)                               | 74  |
| 4.4.5                               | Kräftepaar                                                    | 76  |
| 4.4.6                               | Gleichgewichtsbedingungen für einen starren Körper            | 77  |
| 5                                   | Arbeit <b>und</b> Energie                                     | 78  |
| 5.1                                 | Mechanische Arbeit                                            | 78  |
| 5.2                                 | Verschiebungsarbeit                                           | 80  |
| 5.2.1                               | Reibungsarbeit                                                | 80  |
| 5.2.2                               | Hubarbeit                                                     | 80  |
| 5.2.3                               | Spannarbeit                                                   | 81  |
| 5.3                                 | Beschleunigungsarbeit                                         | 82  |
| 5.4                                 | Potentielle und kinetische Energie                            | 83  |
| 5.5                                 | Gesetz von der Erhaltung der Energie                          | 84  |
| 5.6                                 | Leistung und Wirkungsgrad                                     | 86  |
| 5.6.1                               | Leistung                                                      | 86  |
| 5.6.2                               | Wirkungsgrad                                                  | 88  |
| 6                                   | Impuls <b>und</b> Stoß                                        | 89  |
| 6.1                                 | Kraft und Impulsänderung                                      | 89  |
| 6.2                                 | Gesetz von der Erhaltung des Impulses                         | 90  |
| 6.3                                 | Gerader Stoß                                                  | 92  |
| 6.3.1                               | Unelastischer Stoß                                            | 92  |
| 6.3.2                               | Energieverhältnisse beim unelastischen Stoß                   | 93  |
| 6.4                                 | Elastischer Stoß                                              | 93  |
| 6.5                                 | Reflexionsgesetz                                              | 95  |
| 7                                   | Dynamik rotierender Körper                                    | 96  |
| 7.1                                 | Energie des rotierenden Körpers                               | 96  |
| 7.2                                 | Berechnung von Trägheitsmomenten                              | 98  |
| 7.3                                 | Satz von STEINER                                              | 100 |
| 7.4                                 | Anwendung des dynamischen Grundgesetzes auf rotierende Körper | 101 |
| 7.5                                 | Leistung beim rotierenden Körper                              | 102 |
| 7.6                                 | Drehimpuls                                                    | 103 |
| 7.6.1                               | Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses                     | 103 |
| 7.6.2                               | Drehimpuls als vektorielle Größe                              | 105 |
| 7.6.3                               | Kreisel                                                       | 106 |
| 7.7                                 | Trägheitskräfte im rotierenden Bezugssystem                   | 108 |
| 7.7.1                               | Zentrifugalkraft                                              | 108 |
| 7.7.2                               | Zentrifugalkraft und Gewichtskraft                            | 110 |
| 7.7.3                               | CoRious-Kraft                                                 | 111 |
| 8                                   | Gravitation                                                   | 112 |
| 8.1                                 | Gravitationsgesetz                                            | 112 |
| 8.2                                 | KEPLERSche Gesetze                                            | 114 |
| Mechanik der Flüssigkeiten und Gase |                                                               |     |
| 9                                   | Ruhende Flüssigkeiten <b>und</b> Gase                         | 117 |
| 9.1                                 | Kennzeichen des flüssigen Zustandes                           | 117 |
| 9.2                                 | Oberflächenspannung                                           | 118 |
| 9.3                                 | Druck und Druckausbreitung                                    | 121 |
| 9.3.1                               | Druck                                                         | 121 |
| 9.3.2                               | Druck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck)                | 123 |
| 9.3.3                               | Druck und Volumen der Gase                                    | 125 |
| 9.3.4                               | Schweredruck in Gasen                                         | 128 |
| 9.4                                 | ARCHiMEDisches Prinzip                                        | 131 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10 Strömende inkompressible Flüssigkeiten                                | 134 |
| 10.1 Reibungsfreie Strömungen                                            | 134 |
| 10.1.1 Grundbegriffe des Strömungsfeldes                                 | 134 |
| 10.1.2 Gesetz von BERNOULLI                                              | 136 |
| 10.1.3 Ausfluß aus Gefäßen                                               | 139 |
| 10.1.4 Weitere Anwendungen der BERNOULLischen Gleichung                  | 140 |
| 10.2 Strömungen mit Reibung                                              | 143 |
| 10.2.1 Innere Reibung                                                    | 143 |
| 10.2.2 Anwendungen des Reibungsgesetzes                                  | 145 |
| 10.2.3 Grenzschicht und Wirbelbildung                                    | 147 |
| 10.2.4 Strömungswiderstand von Körpern                                   | 149 |
| 10.2.5 Ähnlichkeitsgesetz der Strömungen                                 | 151 |
| <b>Schwingungen und Wellen</b>                                           |     |
| 11 Kinematik schwingender Körper                                         | 154 |
| 11.1 Ort-Zeit-Funktion der harmonischen Schwingung                       | 154 |
| 11.2 Geschwindigkeit und Beschleunigung der harmonischen Schwingung      | 157 |
| 11.3 Überlagerung harmonischer Schwingungen                              | 159 |
| 11.3.1 Zusammensetzung von parallel zueinander verlaufenden Schwingungen | 159 |
| 11.3.2 Schwebungen                                                       | 161 |
| 11.3.3 Senkrecht zueinander verlaufende Schwingungen                     | 163 |
| 11.4 Kippschwingungen                                                    | 164 |
| 12 Dynamik schwingender Körper                                           | 165 |
| 12.1 Kraftgesetz der harmonischen Schwingung                             | 165 |
| 12.2 Lineare Federschwingung                                             | 166 |
| 12.3 Dreh- (Torsions-) Schwingungen                                      | 168 |
| 12.4 Sch'werependel                                                      | 169 |
| 12.4.1 Physisches Pendel                                                 | 169 |
| 12.4.2 Mathematisches Pendel                                             | 170 |
| 12.4.3 Reversionspendel                                                  | 171 |
| 12.5 Bestimmung von Trägheitsmomenten aus Schwingungen                   | 172 |
| 12.6 Dämpfung                                                            | 173 |
| 12.7 Erzwungene Schwingungen und Resonanz                                | 175 |
| 13 Grundbegriffe der Wellenbewegung                                      | 177 |
| 13.1 Wesen der Wellenbewegung                                            | 177 |
| 13.2 Beschreibung der Wellenbewegung                                     | 178 |
| 13.3 Arten der Wellen                                                    | 179 |
| 14 Ausbreitung und Überlagerung von Wellen                               | 182 |
| 14.1 HuYGENSsches Prinzip                                                | 182 |
| 14.2 Reflexion von Wellen                                                | 183 |
| 14.3 Brechung von Wellen                                                 | 185 |
| 14.4 Interferenz von Wellen                                              | 186 |
| 14.5 Stehende Wellen                                                     | 188 |
| 14.6 Beugung von Wellen                                                  | 190 |
| 14.7 DOPPLER-Effekt                                                      | 191 |
| 15 Ausbreitung des Schalls                                               | 193 |
| 15.1 Schallgeschwindigkeit in festen Stoffen                             | 193 |
| 15.2 Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten                              | 195 |
| 15.3 Schallgeschwindigkeit in Gasen                                      | 195 |
| 16 Schallfeld und seine Größen                                           | 197 |
| 16.1 Schallschnelle                                                      | 197 |
| 16.2 Energiedichte                                                       | 198 |
| 16.3 Schallwechseldruck                                                  | 199 |
| 16.4 Schallstrahlungsdruck                                               | 200 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 16.5 Schallstärke .....                | 200 |
| 16.6 Empfindlichkeit des Gehörs. ....  | 202 |
| 16.7 Schall- und Lautstärkepegel ..... | 203 |
| 16.8 Ultraschall .....                 | 205 |

## Wärmelehre

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>17 Verhalten der Körper bei Temperaturänderung .....</b>                         | <b>208</b> |
| 17.1 Temperaturmessung .....                                                        | 208        |
| 17.2 Ausdehnung fester und flüssiger Körper .....                                   | 209        |
| 17.2.1 Längenausdehnung .....                                                       | 209        |
| 17.2.2 Volumenausdehnung .....                                                      | 211        |
| 17.3 Ausdehnung der Gase .....                                                      | 213        |
| 17.3.1 Gesetz von GAY-LUSSAC bei konstantem Druck .....                             | 213        |
| 17.3.2 Gesetz von GAY-LUSSAC bei konstantem Volumen .....                           | 214        |
| 17.3.3 Experimentelle Bestimmung des Volumenausdehnungskoeffizienten .....          | 215        |
| 17.3.4 KELVIN-Skala der Temperatur .....                                            | 216        |
| 17.4 Zustandsgleichung der Gase .....                                               | 218        |
| 17.4.1 Stoffmenge .....                                                             | 219        |
| 17.4.2 Universelle Gaskonstante .....                                               | 220        |
| 17.4.3 Spezielle Gaskonstante .....                                                 | 221        |
| <b>18 Wärme als Energieform .....</b>                                               | <b>223</b> |
| 18.1 Wärmemenge (Wärmeenergie) .....                                                | 223        |
| 18.2 Spezifische Wärmekapazität .....                                               | 224        |
| 18.2.1 Spezifische Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe .....                 | 224        |
| 18.2.2 Wärmekapazität .....                                                         | 226        |
| 18.2.3 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe ..... | 226        |
| 18.2.4 Spezifische Wärmekapazität der Gase .....                                    | 227        |
| <b>19 Änderungen des Aggregatzustandes .....</b>                                    | <b>228</b> |
| 19.1 Schmelzen und Erstarren .....                                                  | 228        |
| 19.1.1 Besonderheiten beim Schmelzen und Erstarren .....                            | 229        |
| 19.2 Verdampfen und Kondensieren .....                                              | 231        |
| 19.2.1 Besonderheiten beim Verdampfen und Kondensieren .....                        | 232        |
| 19.3 Dämpfe .....                                                                   | 233        |
| 19.3.1 Dampf- und Gaszustand .....                                                  | 233        |
| 19.3.2 Dampfdruck und Temperatur .....                                              | 235        |
| 19.3.3 Luftfeuchtigkeit .....                                                       | 237        |
| <b>20 Zustandsänderungen der Gase .....</b>                                         | <b>241</b> |
| 20.1 Erster Hauptsatz der Wärmelehre .....                                          | 241        |
| 20.2 Isochore Zustandsänderung .....                                                | 242        |
| 20.3 Isobare Zustandsänderung .....                                                 | 243        |
| 20.4 Isotherme Zustandsänderung .....                                               | 244        |
| 20.5 Adiabatische Zustandsänderung .....                                            | 247        |
| 20.6 Polytrope Zustandsänderung .....                                               | 250        |
| 20.7 Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmekapazitäten .....           | 250        |
| <b>21 Kreisprozesse .....</b>                                                       | <b>252</b> |
| 21.1 Wirkungsweise einer Wärmekraftmaschine .....                                   | 252        |
| 21.2 Kältemaschine und Wärmepumpe .....                                             | 255        |
| 21.3 Reversible und irreversible Vorgänge .....                                     | 257        |
| 21.4 CARNOTScher Kreisprozeß .....                                                  | 258        |
| 21.5 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre .....                                         | 261        |
| 21.5.1 Entropie beim CARNOTSchen Kreisprozeß .....                                  | 261        |
| 21.5.2 Berechnung der Entropie .....                                                | 262        |
| 21.5.3 Entropiezunahme beim Mischvorgang .....                                      | 263        |
| <b>22 Reale Gase .....</b>                                                          | <b>265</b> |
| 22.1 Isothermen eines realen Gases .....                                            | 265        |

|              |                                           |     |
|--------------|-------------------------------------------|-----|
| 22.2         | Kritischer Zustand                        | 266 |
| 22.3         | Verflüssigung der Gase                    | 266 |
| 23           | <b>Kinetische Theorie der Wärme</b>       | 268 |
| 23.1         | AvoGADROSche Konstante                    | 268 |
| 23.2         | Molekulargeschwindigkeit                  | 271 |
| 23.2.1       | Mittlere energetische Geschwindigkeit     | 272 |
| 23.2.2       | Molekularenergie und Temperatur           | 273 |
| 23.2.3       | MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung    | 275 |
| 23.3         | Theorie der spezifischen Wärmekapazität   | 277 |
| 23.4         | Stoßzahl und mittlere freie Weglänge      | 280 |
| 24           | <b>Ausbreitung der Wärme</b>              | 281 |
| 24.1         | Wärmeleitung                              | 282 |
| 24.2         | Wärmeübergang                             | 284 |
| 24.3         | Wärmedurchgang                            | 285 |
| <br>         |                                           |     |
| <b>Optik</b> |                                           |     |
| 25           | <b>Wesen und Ausbreitung des Lichtes</b>  | 287 |
| 25.1         | Wesen des Lichtes                         | 287 |
| 25.2         | Ausbreitung des Lichtes                   | 288 |
| 26           | <b>Reflexion des Lichtes</b>              | 289 |
| 26.1         | Ebener Spiegel                            | 289 |
| 26.2         | Gekrümmter Spiegel                        | 291 |
| 26.2.1       | Sphärischer Hohlspiegel                   | 291 |
| 26.2.2       | Abbildung im sphärischen Hohlspiegel      | 292 |
| 26.3         | Sphärischer Wölb- (Konvex-) Spiegel       | 294 |
| 27           | <b>Brechung (Refraktion) des Lichtes</b>  | 295 |
| 27.1         | Brechungsgesetz                           | 295 |
| 27.2         | Planparallele Platte                      | 296 |
| 27.3         | Prisma                                    | 297 |
| 27.4         | Totalreflexion                            | 298 |
| 28           | <b>Zerlegung (Dispersion) des Lichtes</b> | 300 |
| 28.1         | Dispersion                                | 300 |
| 28.2         | Spektren                                  | 300 |
| 29           | <b>Sphärische Linsen</b>                  | 302 |
| 29.1         | Dünne Linsen                              | 303 |
| 29.1.1       | Brennweite und Vorzeichenregeln           | 303 |
| 29.1.2       | Abbildungsgesetze                         | 304 |
| 29.2         | Dicke Linsen                              | 306 |
| 29.3         | Linsensysteme                             | 307 |
| 29.4         | Linienfehler                              | 308 |
| 29.4.1       | Chromatischer Fehler                      | 308 |
| 29.4.2       | Sphärischer Fehler                        | 309 |
| 29.4.3       | Astigmatismus und weitere Fehler          | 309 |
| 30           | <b>Optische Instrumente</b>               | 310 |
| 30.1         | Auge                                      | 310 |
| 30.1.1       | Sehweite und Sehwinkel                    | 310 |
| 30.1.2       | Sehschärfe                                | 311 |
| 30.2         | Lupe                                      | 312 |
| 30.3         | Fernrohre                                 | 313 |
| 30.3.1       | Astronomisches Fernrohr                   | 313 |
| 30.3.2       | GAULEisches Fernrohr                      | 313 |
| 30.4         | Mikroskop                                 | 314 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>31 Interferenz des Lichtes</b>                                         | 315 |
| 31.1 Voraussetzungen für Interferenzerscheinungen                         | 315 |
| 31.2 Interferenzen gleicher Neigung                                       | 317 |
| 31.3 Farben dünner Blättchen                                              | 318 |
| 31.4 Interferenzen gleicher Dicke                                         | 320 |
| <b>32 Beugung des Lichtes</b>                                             | 322 |
| 32.1 Beugung am einfachen Spalt                                           | 322 |
| 32.2 Beugungsgitter                                                       | 324 |
| 32.3 Auflösungsvermögen optischer Instrumente                             | 325 |
| 32.4 Holografie                                                           | 327 |
| <b>33 Polarisation des Lichtes</b>                                        | 329 |
| 33.1 Polarisation durch Reflexion und Brechung                            | 329 |
| 33.2 Polarisation durch Doppelbrechung und andere Polarisierungseffekte   | 330 |
| <b>34 Strahlungsgesetze</b>                                               | 332 |
| 34.1 Größen des Strahlungsfeldes                                          | 332 |
| 34.1.1 Strahlungsfluß und Strahlungsflußdichte                            | 332 |
| 34.1.2 Strahlstärke                                                       | 333 |
| 34.1.3 Strahldichte                                                       | 334 |
| 34.1.4 Bestrahlungsstärke und Bestrahlung                                 | 334 |
| 34.1.5 Strahlungsenergiedichte und Strahlungsdruck                        | 335 |
| 34.2 Temperaturstrahlung                                                  | 336 |
| 34.2.1 Transmission, Reflexion und Absorption der Temperaturstrahlung     | 337 |
| 34.2.2 KIRCHHOFFSches Strahlungsgesetz                                    | 339 |
| 34.2.3 STEFAN-BOLTZMANNSSches Gesetz                                      | 340 |
| 34.2.4 Spektrale Verteilung der Temperaturstrahlung                       | 341 |
| 34.2.5 Temperaturmessung durch Strahlung                                  | 343 |
| <b>35 Physiologische Wirkungen des Lichtes</b>                            | 344 |
| 35.1 Spektrale Hellempfindlichkeit                                        | 345 |
| 35.2 Lichttechnische Größen                                               | 345 |
| 35.2.1 Lichtstärke                                                        | 345 |
| 35.2.2 Lichtstrom, Lichtmenge, spezifische Ausstrahlung und Lichtausbeute | 346 |
| 35.2.3 Leuchtdichte                                                       | 348 |
| 35.2.4 Beleuchtungsstärke und Beleuchtung                                 | 349 |
| 35.3 Extinktion                                                           | 350 |
| 35.4 Fotometrische Meßgeräte                                              | 351 |
| <b>36 Farbenlehre</b>                                                     | 353 |
| 36.1 Spektral- und Komplementärfarben                                     | 353 |
| 36.2 Additive und subtraktive Farbmischungen, Körperfarben                | 354 |
| 36.3 Farbmeterik                                                          | 355 |

## Elektrizitätslehre

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| <b>37 Wichtige elektrische Größen</b>                         | 358 |
| 37.1 Vorbemerkungen                                           | 358 |
| 37.2 Elektrische Stromstärke und elektrische Ladung           | 359 |
| 37.3 Elektrische Spannung                                     | 360 |
| 37.4 Elektrischer Widerstand und elektrischer Leitwert        | 361 |
| 37.5 Elektrischer Widerstand und Temperatur                   | 363 |
| <b>38 Gleichstromkreis</b>                                    | 364 |
| 38.1 OHMSches Gesetz                                          | 364 |
| 38.2 Verzweigter Stromkreis                                   | 365 |
| 38.3 Unverzweigter Stromkreis                                 | 366 |
| 38.4 Innerer Widerstand von Spannungsquellen, Klemmenspannung | 368 |
| 38.5 Meßbereichserweiterungen von Strom- und Spannungsmessern | 370 |
| 38.6 Spannungsteiler                                          | 371 |

|           |                                                                           |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 38.7      | Messung elektrischer Widerstände                                          | 371 |
| 38.8      | Elektrische Energie und elektrische Leistung                              | 373 |
| <b>39</b> | <b>Elektrisches Feld</b>                                                  | 373 |
| 39.1      | Grunderscheinungen elektrischer Ladungen                                  | 373 |
| 39.1.1    | Elektrische Feldlinien                                                    | 375 |
| 39.1.2    | Influenz                                                                  | 376 |
| 39.2      | Elektrische Feldgrößen                                                    | 377 |
| 39.2.1    | Elektrische Feldstärke                                                    | 377 |
| 39.2.2    | Elektrische Flächenladungsdichte (Ladungsbedeckung)                       | 379 |
| 39.2.3    | Elektrische Flußdichte und elektrischer Fluß                              | 380 |
| 39.3      | Kraftwirkungen im elektrischen Feld                                       | 381 |
| 39.3.1    | Kraft zwischen zwei Punktladungen                                         | 381 |
| 39.3.2    | Kraft zwischen zwei geladenen Platten                                     | 382 |
| 39.3.3    | Potential und Spannung                                                    | 383 |
| 39.4      | Kapazität                                                                 | 385 |
| 39.5      | Schaltung von Kondensatoren                                               | 386 |
| 39.6      | Energie und Energiedichte des elektrischen Feldes                         | 388 |
| 39.7      | Lade- und Entladevorgänge in einem Stromkreis mit Kondensator             | 390 |
| 39.8      | Elektrisches Feld und Stoff                                               | 391 |
| 39.8.1    | Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl)                                  | 391 |
| 39.8.2    | Vorgänge im Dielektrikum                                                  | 392 |
| 39.8.3    | Piezoelektrischer Effekt                                                  | 394 |
| 39.8.4    | Bildung elektrischer Doppelschichten                                      | 395 |
| <b>40</b> | <b>Magnetisches Feld</b>                                                  | 395 |
| 40.1      | Grunderscheinungen des Magnetismus                                        | 395 |
| 40.2      | Elektrischer Strom und Magnetfeld                                         | 396 |
| 40.3      | Magnetische Feldgrößen                                                    | 398 |
| 40.3.1    | Magnetische Feldstärke (magnetische Erregung)                             | 398 |
| 40.3.2    | Durchflutungssatz                                                         | 399 |
| 40.3.3    | BIOT-SAVARTSches Gesetz                                                   | 401 |
| 40.3.4    | Magnetische Flußdichte (magnetische Induktion)                            | 402 |
| 40.3.5    | Magnetischer Fluß                                                         | 404 |
| 40.4      | Magnetisches Feld und Stoff                                               | 405 |
| 40.4.1    | Permeabilitätszahl                                                        | 405 |
| 40.4.2    | Ferromagnetismus, Magnetisierungskurve und Hysterese                      | 407 |
| 40.4.3    | Para- und diamagnetische Stoffe                                           | 408 |
| 40.5      | Induktionsvorgänge                                                        | 410 |
| 40.5.1    | Induktionsgesetz                                                          | 410 |
| 40.5.2    | Induktionsvorgänge in bewegten Leiterteilen                               | 412 |
| 40.5.3    | Gleichstromgenerator (Dynamomaschine)                                     | 414 |
| 40.5.4    | Selbstinduktion                                                           | 415 |
| 40.5.5    | Regel von LENZ                                                            | 417 |
| 40.6      | Kraftwirkungen und Energie im Magnetfeld                                  | 417 |
| 40.6.1    | Kraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld (LORENTZ-Kraft)               | 417 |
| 40.6.2    | Kraft auf einen geraden stromführenden Leiter                             | 418 |
| 40.6.3    | Drehmoment auf einen magnetischen Dipol                                   | 420 |
| 40.6.4    | Anwendungen                                                               | 420 |
| 40.6.5    | Kraft zwischen stromführenden Leitern                                     | 423 |
| 40.6.6    | Energie und Energiedichte des magnetischen Feldes                         | 424 |
| 40.6.7    | Zugkraft eines Magnets                                                    | 425 |
| 40.7      | Gegenüberstellung der Größen des elektrischen und des magnetischen Feldes | 426 |
| <b>41</b> | <b>Wechselstromkreis</b>                                                  | 427 |
| 41.1      | Eigenschaften des Einphasenwechselstromes                                 | 428 |
| 41.1.1    | Entstehung einer sinusförmigen Wechselspannung                            | 428 |
| 41.1.2    | Wechselstromgenerator                                                     | 429 |

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 41.1.3 Gleichricht- und Effektivwerte von Wechselspannungen und Wechselströmen . | 430        |
| 41.2 Widerstände im Wechselstromkreis .                                          | 431        |
| 41.2.1 Wirkwiderstand (Ohmscher Widerstand, Resistanz) .                         | 431        |
| 41.2.2 Induktiver Blindwiderstand (Induktive Reaktanz) .                         | 432        |
| 41.2.3 Kapazitiver Blindwiderstand (Kapazitive Reaktanz) .                       | 433        |
| 41.2.4 Addition phasenverschobener Spannungen und Stromstärken .                 | 434        |
| 41.2.5 Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen .                            | 435        |
| 41.2.6 Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen .                          | 437        |
| 41.2.7 Resonanz im Wechselstromkreis .                                           | 439        |
| 41.3 Leistung im Wechselstromkreis .                                             | 441        |
| 41.3.1 Wirkleistung .                                                            | 441        |
| 41.3.2 Blindleistung .                                                           | 441        |
| 41.3.3 Scheinleistung und Leistungsfaktor .                                      | 442        |
| 41.4 Bedeutung und Kompensation der Blindleistung .                              | 444        |
| 41.5 Transformator .                                                             | 445        |
| 41.6 Dreiphasenwechselstrom .                                                    | 446        |
| 41.6.1 Entstehung des Dreiphasenwechselstromes .                                 | 446        |
| 41.6.2 Dreieckschaltung .                                                        | 447        |
| 41.6.3 Sternschaltung .                                                          | 448        |
| 41.6.4 Leistung im Drehstromkreis .                                              | 449        |
| <b>42 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen .</b>                           | <b>449</b> |
| 42.1 Schwingkreis .                                                              | 449        |
| 42.2 Erzeugung elektrischer Schwingungen .                                       | 452        |
| 42.3 Dipol als Schwingkreis .                                                    | 452        |
| 42.4 Freie elektromagnetische Wellen .                                           | 453        |
| 42.5 MAXWELLSche Gleichungen .                                                   | 455        |
| <b>43 Leitung des elektrischen Stromes in festen Körpern .</b>                   | <b>457</b> |
| 43.1 Geschwindigkeit freier Elektronen .                                         | 457        |
| 43.2 Driftgeschwindigkeit und Beweglichkeit von Ladungsträgern .                 | 458        |
| 43.3 Metallische Leiter .                                                        | 459        |
| 43.4 Supraleitung .                                                              | 460        |
| 43.5 HALL-Effekt .                                                               | 461        |
| 43.6 Elektronengas .                                                             | 462        |
| 43.7 Thermoelektrische Erscheinungen .                                           | 464        |
| 43.8 Halbleiter .                                                                | 466        |
| 43.8.1 Eigenleitung .                                                            | 466        |
| 43.8.2 Störleitung (Störstellenleitung) .                                        | 469        |
| 43.8.3 pn-Übergang, Dioden .                                                     | 470        |
| 43.8.4 Bipolartransistor (Flächentransistor) .                                   | 473        |
| 43.8.5 Thyristor .                                                               | 476        |
| 43.8.6 Unipolar- oder Feldeffekt-Transistor .                                    | 477        |
| <b>44 Elektrische Leitung in Elektrolyten .</b>                                  | <b>479</b> |
| 44.1 Ionenleitung und Ionenbeweglichkeit .                                       | 479        |
| 44.2 FARADAYSche Gesetze .                                                       | 480        |
| 44.3 Galvanische Elemente .                                                      | 482        |
| <b>45 Elektrische Leitung in Gasen .</b>                                         | <b>485</b> |
| 45.1 Unselbständige und selbständige Entladung .                                 | 485        |
| 45.2 Glimmentladung .                                                            | 487        |
| <b>46 Elektrische Leitung im Vakuum .</b>                                        | <b>488</b> |
| 46.1 Elektronenbefreiung aus Metallen .                                          | 488        |
| 46.2 Ablenkung von Elektronen im elektrischen Feld .                             | 489        |
| 46.3 Ablenkung von Elektronen im magnetischen Feld .                             | 490        |
| 46.4 Elektronenröhren .                                                          | 491        |
| 46.4.1 Diode .                                                                   | 491        |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 46.4.2 Mehrelektrodenröhren . . . . . | 492 |
| 46.4.3 Oszillografenröhre . . . . .   | 493 |

## Quanten und Relativität

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>47 Quanteneigenschaften des Lichtes . . . . .</b>                            | <b>494</b> |
| 47.1 Entstehung der Quantenvorstellung . . . . .                                | 494        |
| 47.2 Äußerer Fotoeffekt (Lichtelektrischer Effekt) . . . . .                    | 495        |
| 47.3 Innerer Fotoeffekt . . . . .                                               | 496        |
| <b>48 Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie . . . . .</b>               | <b>498</b> |
| 48.1 MICHELSON-Versuch . . . . .                                                | 498        |
| 48.2 LORENTZ-Transformation . . . . .                                           | 498        |
| 48.3 Masse-Energie-Beziehung . . . . .                                          | 501        |
| 48.4 Relativistische Massenzunahme . . . . .                                    | 502        |
| <b>49 Dualismus Welle-Teilchen . . . . .</b>                                    | <b>504</b> |
| 49.1 Masse und Impuls von Lichtquanten . . . . .                                | 504        |
| 49.2 Welleneigenschaften von Teilchen . . . . .                                 | 504        |
| <b>50 Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation (Unschärfebeziehung) . . . . .</b> | <b>506</b> |

## Atomphysik

|                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>51 Atomhülle . . . . .</b>                             | <b>508</b> |
| 51.1 Bestandteile des Atoms . . . . .                     | 508        |
| 51.2 Ordnungszahl und Massenzahl . . . . .                | 510        |
| 51.3 Wasserstoffatom . . . . .                            | 510        |
| 51.3.1 BOHRSche Postulate . . . . .                       | 510        |
| 51.3.2 Spektrallinien des Wasserstoffs . . . . .          | 512        |
| 51.3.3 Quantenzahlen . . . . .                            | 515        |
| 51.3.4 Wellenmechanisches Atommodell . . . . .            | 516        |
| 51.4 Aufbau der Atomhüllen der Elemente . . . . .         | 518        |
| 51.5 Röntgenstrahlung . . . . .                           | 521        |
| 51.5.1 Röntgenbremsstrahlung . . . . .                    | 522        |
| 51.5.2 Charakteristische Röntgenstrahlung . . . . .       | 523        |
| 51.6 Energiebändermodell . . . . .                        | 525        |
| 51.6.1 Darstellung der metallischen Leitung . . . . .     | 526        |
| 51.6.2 Bändermodell der Halbleiter . . . . .              | 527        |
| 51.7 Fluoreszenz und Phosphoreszenz . . . . .             | 529        |
| 51.8 Laser . . . . .                                      | 530        |
| <b>52 Atomkern . . . . .</b>                              | <b>532</b> |
| 52.1 Natürliche Radioaktivität . . . . .                  | 532        |
| 52.2 Gesetze des radioaktiven Zerfalls . . . . .          | 533        |
| 52.2.1 Allgemeine Merkmale . . . . .                      | 533        |
| 52.2.2 Wichtigste Arten der Radioaktivität . . . . .      | 533        |
| 52.2.3 Statistischer Charakter des Kernzerfalls . . . . . | 535        |
| 52.2.4 Zerfallsgesetz . . . . .                           | 536        |
| 52.2.5 Aktivität und spezifische Aktivität . . . . .      | 537        |
| 52.3 Natürliche Zerfallsreihen . . . . .                  | 538        |
| 52.4 Massen der Atomkerne . . . . .                       | 540        |
| 52.4.1 Isotope Kernarten . . . . .                        | 540        |
| 52.4.2 Massendefekt . . . . .                             | 540        |
| 52.5 Kernmodelle . . . . .                                | 541        |
| 52.5.1 Kernkräfte . . . . .                               | 541        |
| 52.5.2 Tröpfchenmodell . . . . .                          | 542        |
| 52.5.3 Schalenmodell . . . . .                            | 542        |
| 52.5.4 Energietopfmodell . . . . .                        | 542        |
| 52.6 Künstliche Kernumwandlungen . . . . .                | 543        |

|                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 52.6.1 Kernreaktionen                                                                                                      | 543        |
| 52.6.2 Teilchenbeschleuniger                                                                                               | 544        |
| 52.6.3 Künstliche Radionuklide                                                                                             | 545        |
| <b>53 Wechselwirkungen zwischen Kernstrahlung und Stoff</b>                                                                | <b>546</b> |
| 53.1 Schwächung von $\alpha$ -Strahlung                                                                                    | 546        |
| 53.2 Schwächung von $\beta$ -Strahlung                                                                                     | 547        |
| 53.3 Schwächung von $\gamma$ -Strahlung                                                                                    | 548        |
| 53.4 Nachweis der Kernstrahlung                                                                                            | 550        |
| <b>54 Grundlagen der Dosimetrie</b>                                                                                        | <b>554</b> |
| 54.1 Energieflußdichte (Strahlungsflußdichte)                                                                              | 554        |
| 54.2 Kerma, Kermaleistung, Energiedosis und Energiedosisleistung                                                           | 554        |
| 54.3 Ionendosis (Exposition) und Ionendosisleistung (Expositionsleistung)                                                  | 555        |
| 54.4 Äquivalentdosis (Bewertete Dosis)                                                                                     | 555        |
| 54.5 Strahlenschutzmaßnahmen                                                                                               | 556        |
| 54.6 Zusammenhang zwischen Ionendosisleistung sowie Äquivalentdosisleistung und Aktivität bei punktförmiger Strahlenquelle | 557        |
| <b>55 Gewinnung von Kernenergie</b>                                                                                        | <b>558</b> |
| 55.1 Vorgang der Kernspaltung                                                                                              | 558        |
| 55.2 Kernspaltungsenergie                                                                                                  | 558        |
| 55.3 Wechselwirkung von Neutronen mit Kernen                                                                               | 559        |
| 55.4 Kettenreaktionen                                                                                                      | 560        |
| 55.5 Kernreaktor und Kernkraftwerk                                                                                         | 561        |
| 55.6 Anwendung von Radionukliden                                                                                           | 563        |
| 55.7 Thermonukleare Reaktion                                                                                               | 564        |
| <b>56 Elementarteilchen</b>                                                                                                | <b>565</b> |
| 56.1 Kosmische Strahlung                                                                                                   | 565        |
| 56.2 Wichtige Elementarteilchen                                                                                            | 566        |
| 56.3 Quarks                                                                                                                | 568        |
| <b>Sachwortverzeichnis</b>                                                                                                 | <b>570</b> |
| <b>Bildquellenverzeichnis</b>                                                                                              | <b>576</b> |