

# INHALTSVERZEICHNIS

|          |   |    |
|----------|---|----|
|          | <b>Einleitung</b>   | 10 |
| <b>1</b> | <b>Mechanik</b>   |    |
| 1.1      | <b>Kinematik</b>  | 12 |
| 1.1.1    | Beschreibung von Bewegungen                                       | 12 |
| 1.1.2    | Die geradlinige Bewegung mit konstanter<br>Geschwindigkeit        | 14 |
|          | Exkurs: Die Basiseinheiten der Zeit und<br>der Länge              | 16 |
| 1.1.3    | Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentan-<br>geschwindigkeit     | 17 |
| 1.1.4    | Die geradlinige Bewegung mit konstanter<br>Beschleunigung         | 18 |
| 1.1.5    | Der freie Fall  | 20 |
|          | Exkurs: Galilei und die Fallgesetze                               | 21 |
|          | Methode: Berechnung von Bewegungen mit<br>mathematischen Methoden | 22 |
| 1.1.6    | Allgemeine Bewegungsgesetze                                       | 24 |
|          | Methode: Iterative Berechnung einer Bewegung                      | 25 |
|          | Exkurs: Verhalten im Straßenverkehr                               | 26 |
|          | Methode: Messprozess und Fehlerrechnung                           | 27 |
| 1.1.7    | Nichtlineare Bewegungen – Wurfbewegungen                          | 28 |
|          | Exkurs: Physik und Sport I  | 31 |
| 1.1.8    | Die gleichförmige Kreisbewegung                                   | 32 |
|          | Methode: Vektorielle Darstellung von<br>Bewegungen                | 34 |
|          | Exkurs: Segeln – Kursnehmen mit<br>Geschwindigkeitsvektoren       | 35 |
| 1.2      | <b>Dynamik</b>  | 36 |
| 1.2.1    | Das Trägheitsprinzip  | 36 |
| 1.2.2    | Masse und Impuls  | 38 |
|          | Exkurs: Die Grundgröße Masse                                      | 39 |
| 1.2.3    | Impuls und Impulserhaltung  | 40 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 1.2.4      | Der Impuls als Vektor   | 42        |
| 1.2.5      | Die Definition der Kraft                                      | 44        |
| 1.2.6      | Wechselwirkungskräfte   | 47        |
| 1.2.7      | Haftkräfte und Reibungskräfte                                 | 50        |
|            | Exkurs: Antriebs- und Fahrtwiderstandskräfte                  | 51        |
| 1.2.8      | Kräfte bei der Kreisbewegung                                  | 52        |
| 1.2.9      | Scheinkräfte und Inertialsysteme                              | 54        |
|            | Exkurs: Die rotierende Erde – ein beschleunigtes Bezugssystem | 56        |
| 1.2.10     | Strömende Medien  | 57        |
|            | Exkurs: Vom Fliegen, Segeln und anderen Strömungseffekten     | 58        |
| <b>1.3</b> | <b>Energie und Energieerhaltung</b>                           | <b>60</b> |
| 1.3.1      | Mechanische Energie   | 60        |
| 1.3.2      | Kinetische und potentielle Energie                            | 62        |
| 1.3.3      | Energieübertragung bei Reibung                                | 64        |
| 1.3.4      | Energieerhaltung  | 65        |
| 1.3.5      | Energiestrom – Leistung                                       | 68        |
|            | Exkurs: Physik und Sport II                                   | 69        |
| 1.3.6      | Stoßvorgänge  | 70        |
| <b>1.4</b> | <b>Die Rotation starrer Körper</b>                            | <b>72</b> |
| 1.4.1      | Die gleichmäßig beschleunigte Drehbewegung                    | 72        |
|            | Exkurs: Fahrleistung eines Autos                              | 74        |
| 1.4.2      | Drehimpuls und Drehimpulserhaltung                            | 75        |
|            | Exkurs: Kreisel   | 76        |
|            | Exkurs: Über Drehmomente und Drehimpulse                      | 77        |
|            | <b>Grundwissen</b>  | <b>78</b> |
|            | <b>Wissenstest</b>  | <b>80</b> |

## 2 Gravitation

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1   | <b>Die Gravitationskraft</b>   | 82 |
| 2.1.1 | Das Sonnensystem   | 82 |
| 2.1.2 | Erde und Planetenbewegung in der Vorstellung<br>von der Antike bis zur Neuzeit | 83 |
| 2.1.3 | NEWTONS Gravitationsgesetz   | 86 |
| 2.1.4 | Massenbestimmung und Gezeiten  | 88 |
|       | Exkurs: Aufbau des Erdkörpers  | 88 |
|       | Exkurs: Schweremessung und Gravimetrie   | 89 |
| 2.2   | <b>Das Gravitationsfeld</b>  | 92 |
| 2.2.1 | Feldbegriff und Feldstärke   | 92 |
| 2.2.2 | Potentielle Energie im Gravitationsfeld  | 94 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>2.3</b> | <b>Bewegungen im Gravitationsfeld</b>  | <b>96</b>  |
| 2.3.1      | Zentralkraft; Kepler'sche Gesetze  | 96         |
| 2.3.2      | Raketen in der Weltraumfahrt   | 99         |
| 2.3.3      | Bahnform und Bahnenergie   | 100        |
| 2.3.4      | Satellitenmanöver  | 102        |
|            | <b>Grundwissen</b>   | <b>104</b> |
|            | <b>Wissenstest</b>   | <b>105</b> |
|            | <b>Exkurs: Geschichte der Mechanik und die klassische Physik; Kausalität und Determinismus</b> | <b>106</b> |

## **3 Mechanische Schwingungen und Wellen**

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>3.1</b> | <b>Schwingungen</b>   | 108 |
| 3.1.1      | Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen                         | 108 |
| 3.1.2      | Gesetze der harmonischen Schwingung                               | 110 |
| 3.1.3      | Die Energie des harmonischen Oszillators                          | 113 |
| 3.1.4      | Beispiele harmonischer Schwingungen                               | 114 |
| 3.1.5      | Die gedämpfte harmonische Schwingung                              | 116 |
|            | Methode: Differentialgleichungen in der Physik                    | 117 |
| <b>3.2</b> | <b>Überlagerung von Schwingungen</b>                              | 118 |
| 3.2.1      | Überlagerung zweier harmonischer Schwingungen                     | 118 |
| 3.2.2      | Fourier-Analyse   | 120 |
| 3.2.3      | Die akustische Unschärfe  | 121 |
| 3.2.4      | Erzwungene Schwingungen   | 122 |
|            | Exkurs: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe | 123 |
| <b>3.3</b> | <b>Entstehung und Ausbreitung von Wellen</b>                      | 124 |
| 3.3.1      | Lineare Wellen; Transversal- und Longitudinalwellen               | 124 |
| 3.3.2      | Eigenschaften von Wellen  | 126 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
|            | Exkurs: Erdbebenwellen (seismische Wellen)         | 127        |
| 3.3.3      | Der Doppler-Effekt                                 | 128        |
|            | Exkurs: Überschallknall                            | 128        |
|            | Exkurs: Ultraschall in der Medizin                 | 129        |
| 3.3.4      | Phasen- und Gruppengeschwindigkeit;<br>Dispersion  | 130        |
|            | Exkurs: Entstehung von Wasserwellen                | 131        |
| <b>3.4</b> | <b>Wechselwirkung von Wellen</b>                   | <b>132</b> |
| 3.4.1      | Interferenz zweier Kreiswellen                     | 132        |
| 3.4.2      | Das Huygens'sche Prinzip                           | 135        |
| 3.4.3      | Reflexion und Brechung                             | 136        |
| 3.4.4      | Beugung von Wellen; Streuung                       | 138        |
|            | Exkurs: Schallintensität und Lautstärke            | 139        |
| 3.4.5      | Stehende Wellen; Eigenschwingungen                 | 140        |
|            | Exkurs: Physik und Musik                           | 144        |
|            | Exkurs: Musikinstrumente und menschliche<br>Stimme | 146        |
|            | <b>Grundwissen</b>                                 | <b>148</b> |
|            | <b>Wissenstest</b>                                 | <b>150</b> |

## **4 Thermodynamik**

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| <b>4.1</b> | <b>Grundlagen</b>  | 152 |
| 4.1.1      | Temperaturmessung  | 152 |
| 4.1.2      | Die Gasgleichung   | 154 |
| 4.1.3      | Der atomistische Aufbau der Materie                                | 156 |
| <b>4.2</b> | <b>Die kinetische Gastheorie</b>                                   | 158 |
| 4.2.1      | Die Grundgleichung der kinetischen Gastheorie                      | 158 |
| 4.2.2      | Kinetische Gastheorie und Molekülbewegung                          | 160 |
| <b>4.3</b> | <b>Energieumwandlungen</b>   | 162 |
| 4.3.1      | Der erste Hauptsatz der Thermodynamik                              | 162 |
|            | Exkurs: Zur Geschichte des ersten Hauptsatzes<br>der Thermodynamik | 163 |
| 4.3.2      | Energieumwandlung bei Volumenänderung                              | 165 |
| 4.3.3      | Eine Wärmekraftmaschine  | 166 |
| 4.3.4      | Wirkungsgrad von Energieumwandlungs-<br>prozessen                  | 168 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>4.4</b> | <b>Die Entropie</b>   | 169 |
| 4.4.1      | Irreversible Vorgänge   | 169 |
| 4.4.2      | Definition der Entropie   | 170 |
| 4.4.3      | Entropieerzeugung und Energieentwertung   | 172 |
|            | Exkurs: Der Verbrauch fossiler Primärenergie<br>und die Konsequenzen für die Atmosphäre | 173 |
| 4.4.4      | Entropie und Wahrscheinlichkeit   | 174 |
|            | Exkurs: Entropie und Information  | 175 |
| <b>4.5</b> | <b>Wärmekraftmaschinen</b>  | 176 |
| 4.5.1      | Der Viertaktmotor   | 176 |
| 4.5.2      | Kraftwerke  | 178 |
| <b>4.6</b> | <b>Die Strahlungsgesetze</b>  | 180 |
|            | Exkurs: Der Treibhauseffekt und die<br>Bewohnbarkeit von Planeten                       | 182 |
|            | <b>Grundwissen</b>  | 184 |
|            | <b>Wissenstest</b>  | 185 |



## 5 Elektrische Ladung und elektrisches Feld

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>5.1</b> | <b>Das elektrische Feld</b>                           | 186 |
| 5.1.1      | Elektrische Ladungen                                  | 186 |
| 5.1.2      | Messung elektrischer Ladungen                         | 188 |
|            | Exkurs: Die gesetzliche Ampere-Definition             | 189 |
| 5.1.3      | Die elektrische Feldstärke                            | 190 |
|            | Exkurs: Die Entstehung von Gewittern                  | 191 |
| 5.1.4      | Radialsymmetrische Felder                             | 192 |
| 5.1.5      | Messung elektrischer Felder                           | 194 |
|            | Exkurs: Der Laserdrucker                              | 194 |
| 5.1.6      | Das Coulomb'sche Gesetz                               | 195 |
| 5.1.7      | Darstellung elektrischer Felder                       | 196 |
| <br>       |   |     |
| <b>5.2</b> | <b>Energie im elektrischen Feld</b>                   | 198 |
| 5.2.1      | Potential und Spannung im homogenen elektrischen Feld | 198 |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.2.2      | Potential im radialsymmetrischen Feld                          | 200        |
| 5.2.3      | Das elektrische Feld als Energiespeicher                       | 202        |
| <b>5.3</b> | <b>Bewegung elektrischer Ladungen<br/>im elektrischen Feld</b> | <b>204</b> |
| 5.3.1      | Die Elementarladung  | 204        |
| 5.3.2      | Elektrische Leitungsvorgänge und das<br>Ohm'sche Gesetz        | 206        |
| 5.3.3      | Elektrische Spannungsquellen                                   | 208        |
|            | Exkurs: Die Wasserstoff-Sauerstoff-<br>Brennstoffzelle         | 212        |
|            | Exkurs: Reizleitung in Nervenzellen                            | 213        |
| 5.3.4      | Austritt von Elektronen aus Leiteroberflächen                  | 214        |
|            | Exkurs: Das Feldelektronenmikroskop                            | 215        |

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.3.5      | Bewegte Elektronen in elektrischen Feldern | 214        |
|            | Exkurs: Das Oszilloskop                    | 215        |
| <b>5.4</b> | <b>Elektrische Netzwerke</b>               | <b>216</b> |
| 5.4.1      | Die Kirchhoff'schen Gesetze                | 216        |
| 5.4.2      | Kapazität von Kondensatoren                | 220        |
|            | Exkurs: Bauformen von Kondensatoren        | 222        |

|       |                                       |            |
|-------|---------------------------------------|------------|
| 5.4.3 | Schaltung elektrischer Zweipole       | 223        |
| 5.4.4 | Auf- und Entladung eines Kondensators | 224        |
|       | Exkurs: Fotoblitz und Defibrillator   | 225        |
|       | <b>Grundwissen</b>                    | <b>226</b> |
|       | <b>Wissenstest</b>                    | <b>228</b> |

## **6 Bewegte Ladungsträger und magnetisches Feld**

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>6.1</b> | <b>Kräfte im Magnetfeld</b>   | 230 |
| 6.1.1      | Magnetfelder  | 230 |
|            | Exkurs: Erdmagnetismus  | 231 |
| 6.1.2      | Die magnetische Feldstärke  | 232 |
|            | Methode: Das Vektorprodukt  | 233 |
| 6.1.3      | Lorentz-Kraft   | 234 |
|            | Exkurs: Die Fernsehöhre   | 235 |
| 6.1.4      | Der Hall-Effekt   | 236 |
| 6.1.5      | Die Masse geladener Teilchen  | 238 |
|            | Exkurs: Massenspektrografie   | 239 |
| 6.1.6      | Das Zyklotron   | 240 |
|            | Exkurs: Teilchenbeschleuniger – Riesenwerkzeuge für kleinste Teilchen | 241 |
|            | Exkurs: Elektronenmikroskopie   | 242 |
|            | Exkurs: Polarlicht und Van-Allen'scher Strahlungsgürtel               | 244 |

**d**

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>6.2</b> | <b>Magnetfelder von Strömen</b>                         | 246 |
| 6.2.1      | Magnetfeld von Leiter und Spule                         | 246 |
| 6.2.2      | Das Durchflutungsgesetz                                 | 248 |
| 6.2.3      | Ferromagnetismus  | 250 |
|            | Exkurs: Ferromagnetische Domänen<br>(Weiß'sche Bezirke) | 251 |
| <b>6.3</b> | <b>Elektromagnetische Induktion</b>                     | 252 |
| 6.3.1      | Induktionsversuche                                      | 252 |
| 6.3.2      | Das Induktionsgesetz                                    | 254 |
| 6.3.3      | Kräfte als Ursache der Induktion                        | 258 |
| 6.3.4      | Die Selbstinduktion                                     | 260 |
| 6.3.5      | Energie des Magnetfeldes                                | 262 |
|            | Exkurs: Magnetisch gespeicherte Information             | 263 |
| 6.3.6      | Die Maxwell'schen Gleichungen                           | 264 |
| 6.3.7      | Ausbreitung von Feldern                                 | 266 |
|            | <b>Grundwissen</b>                                      | 268 |
|            | <b>Wissenstest</b>                                      | 270 |

## **7 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen**

|   |     |
|---|-----|
| <b>7.1 Wechselstromtechnik</b>  | 272 |
| 7.1.1 Erzeugung von Wechselspannung                                     | 272 |
| Exkurs: Von den Anfängen der Stromversorgung                            | 273 |
| 7.1.2 Phasenbeziehungen zwischen Strom und Spannung                     | 274 |
| 7.1.3 Wechselstromwiderstände   | 276 |
| 7.1.4 Die Leistung im Wechselstromkreis                                 | 278 |
| 7.1.5 Wechselstromschaltungen   | 280 |
| 7.1.6 Der Transformator   | 282 |
| Exkurs: Die öffentliche Versorgung mit elektrischer Energie             | 284 |
| <b>7.2 Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen</b>       | 286 |
| 7.2.1 Der elektrische Schwingkreis                                      | 286 |
| 7.2.2 Elektrische Schwingungen  | 288 |
| 7.2.3 Ungedämpfte Schwingungen  | 290 |
| 7.2.4 Elektromagnetische Wellen   | 292 |
| 7.2.5 Mikrowellen   | 296 |
| 7.2.6 Rundfunktechnik   | 298 |
| Exkurs: Rundfunk und Fernsehen in Deutschland                           | 299 |
| <b>7.3 Wellenoptik</b>  | 300 |
| 7.3.1 Die Lichtgeschwindigkeit  | 300 |
| Exkurs: Historische Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit | 301 |
| 7.3.2 Beugung und Interferenz am Doppelspalt                            | 302 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 7.3.3      | Beugung und Interferenz am Gitter                             | 304        |
| 7.3.4      | Beugung und Interferenz am Spalt                              | 306        |
| 7.3.5      | Intensitätsverlauf bei Gitter und Spalt                       | 308        |
| 7.3.6      | Intensitätsverlauf hinter einer Kreisblende                   | 310        |
| 7.3.7      | Das Auflösungsvermögen optischer<br>Instrumente und des Auges | 311        |
|            | Exkurs: Das Auflösungsvermögen großer<br>Teleskope            | 313        |
| 7.3.8      | Interferenzen an dünnen Schichten                             | 314        |
| 7.3.9      | Kohärenz  | 316        |
|            | Exkurs: Holografie  | 318        |
| 7.3.10     | Polarisiertes Licht   | 320        |
|            | Exkurs: Polarisationsfolien – Das Polaroid*-<br>Verfahren     | 320        |
|            | Exkurs: Warum ist der Himmel blau?                            | 322        |
| 7.3.11     | Doppelbrechung und optische Aktivität                         | 323        |
|            | Exkurs: Flüssigkristalle und LCD-Anzeigen                     | 325        |
| 7.3.12     | Strahlenoptik   | 326        |
|            | Exkurs: Geschichte der Optik                                  | 329        |
| <b>7.4</b> | <b>Das elektromagnetische Spektrum</b>                        | <b>330</b> |
| 7.4.1      | Überblick über das elektromagnetische<br>Spektrum             | 330        |
| 7.4.2      | Das optische Spektrum   | 332        |
| 7.4.3      | Röntgenstrahlung  | 334        |
|            | <b>Grundwissen</b>  | <b>336</b> |
|            | <b>Wissenstest</b>  | <b>338</b> |



|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>8</b>   | <b>Chaotische Vorgänge</b>                                       |            |
| <b>8.1</b> | <b>Das deterministische Chaos</b>                                | <b>340</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Ein einfaches System mit chaotischem Verhalten</b>            | <b>342</b> |
| <b>8.3</b> | <b>Wege ins Chaos – Verhulst-Dynamik und Feigenbaum-Szenario</b> | <b>346</b> |

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>8.4</b> | <b>Chaos und Fraktale</b>                              | <b>348</b> |
|            | Exkurs: Das gesunde Herz – die richtige<br>Dosis Chaos | 349        |

## **9 Die spezielle Relativitätstheorie**

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>9.1</b> | <b>Die Relativitätspostulate</b>  | <b>350</b> |
|            | Exkurs: Das Michelson-Experiment –<br>Abschied von der Äthervorstellung                   | 351        |
| <b>9.2</b> | <b>Relativistische Kinematik</b>  | <b>352</b> |
| 9.2.1      | Die relative Gleichzeitigkeit   | 352        |
|            | Exkurs: Navigation mit Satelliten:<br>Das Global Positioning System (GPS)                 | 353        |
| 9.2.2      | Die Zeitdilatation  | 354        |
| 9.2.3      | Myonen im Speicherring  | 356        |
|            | Exkurs: Das Hafele-Keating-Experiment (Atom-<br>uhren messen erstmals die Zeitdilatation) | 357        |
| 9.2.4      | Die Längenkontraktion   | 358        |
| 9.2.5      | Raum-Zeit-Diagramme   | 359        |
| 9.2.6      | Minkowski-Diagramme   | 360        |
| 9.2.7      | Die Lorentz-Transformation  | 362        |
| 9.2.8      | Addition der Geschwindigkeiten  | 363        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 9.2.9      | Der optische Doppler-Effekt   | 364        |
|            | Exkurs: Die Raum-Zeit – eine absolute Größe<br>der relativistischen Physik      | 365        |
| <b>9.3</b> | <b>Relativistische Dynamik</b>  | <b>366</b> |
| 9.3.1      | Die Gesetze der Dynamik – hergeleitet aus<br>Postulaten                         | 366        |
| 9.3.2      | Die Gesetze der Dynamik – hergeleitet aus<br>der Kinematik                      | 368        |
| 9.3.3      | Die Impuls-Energie  | 370        |
|            | Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie:<br>Grundlagen der Theorie           | 371        |
|            | Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie:<br>Experimentelle Tests der Theorie | 372        |
|            | <b>Grundwissen</b>  | <b>374</b> |
|            | <b>Wissenstest</b>  | <b>375</b> |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>10</b>   | <b>Einführung in die Quantenphysik</b>                      |            |
| <b>10.1</b> | <b>Die Quantelung der Strahlung</b>                         | <b>376</b> |
| 10.1.1      | Der lichtelektrische Effekt                                 | 376        |
| 10.1.2      | Das Planck'sche Wirkungsquantum                             | 378        |
| 10.1.3      | Die Lichtquantenhypothese                                   | 380        |
| 10.1.4      | Umkehrung des lichtelektrischen Effekts<br>mit Leuchtdioden | 381        |
| 10.1.5      | Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung                 | 382        |
| 10.1.6      | Der Compton-Effekt  | 384        |
| <b>10.2</b> | <b>Verteilung der Photonen im Raum</b>                      | <b>386</b> |
| 10.2.1      | Die Photonenverteilung hinter dem Doppelspalt               | 286        |
| 10.2.2      | Photonenverteilung bei geringer Intensität                  | 388        |
| 10.2.3      | Simulation der Photonenverteilung                           | 389        |
| <b>10.3</b> | <b>Welleneigenschaften der Elektronen</b>                   | <b>390</b> |
| 10.3.1      | De-Broglie-Wellen   | 390        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 10.3.2      | Das Elektron – kein klassisches Teilchen                 | 392        |
|             | Exkurs: Interferenzen von Neutronen                      | 393        |
|             | Exkurs: Grenzgänger: Welleneigenschaften großer Moleküle | 394        |
| <b>10.4</b> | <b>Quantenphysik und klassische Physik</b>               | <b>396</b> |
| 10.4.1      | Das Unschärfeprinzip                                     | 396        |
| 10.4.2      | Messung der Unschärfe bei Photonen                       | 398        |
|             | Exkurs: Der Welle-Teilchen-Dualismus                     | 399        |
| 10.4.3      | Die Wellenfunktion                                       | 400        |
|             | <b>Grundwissen</b>                                       | <b>401</b> |
|             | <b>Wissenstest</b>                                       | <b>402</b> |
|             | Exkurs: Interpretationsprobleme der Quantenphysik        | 404        |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>11.1</b> | <b>Energieaustausch mit Atomen</b>                   | 406 |
| 11.1.1      | Die quantenhafte Absorption                          | 406 |
| 11.1.2      | Die quantenhafte Emission                            | 409 |
| 11.1.3      | Die Resonanzabsorption                               | 410 |
| <b>11.2</b> | <b>Die Entwicklung der Atommodelle</b>               | 411 |
| 11.2.1      | Erforschung des Atoms mit Streuversuchen             | 411 |
| 11.2.2      | Der Rutherford'sche Streuversuch                     | 412 |
| 11.2.3      | Das Atommodell von Rutherford                        | 413 |
| 11.2.4      | Das Bohr'sche Atommodell                             | 414 |
| 11.2.5      | Die Spektralserien des Wasserstoffatoms              | 416 |
|             | Exkurs: Messungen an gebundenen Systemen             | 417 |
| 11.2.6      | Vom klassischen zum quantenphysikalischen Atommodell | 418 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| <b>11.3</b> | <b>Das Atommodell der Quantenphysik</b>                                     | 420 |
| 11.3.1      | Der lineare Potentialtopf   | 420 |
| 11.3.2      | Anwendungen des Potentialtopfmodells  | 422 |
| 11.3.3      | Die Schrödinger-Gleichung   | 424 |
| 11.3.4      | Numerische Lösungen der Schrödinger-Gleichung                               | 424 |
| 11.3.5      | Analytische Lösung der Schrödinger-Gleichung für den linearen Potentialtopf | 428 |
| 11.3.6      | Analytische Lösung der Schrödinger-Gleichung für Wasserstoff                | 430 |
| 11.3.7      | Die Winkelabhängigkeit der Antreffwahrscheinlichkeit im H-Atom              | 432 |
| 11.3.8      | Quantenzahlen des Atoms   | 433 |



# Inhaltsverzeichnis

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 11.3.9      | Das Periodensystem der Elemente                                       | 434        |
|             | Exkurs: Verschränkte Zustände und<br>spukhafte Fernwirkung            | 436        |
| <b>11.4</b> | <b>Leistungen der Atommodelle</b>                                     | <b>438</b> |
| 11.4.1      | Die charakteristische Röntgenstrahlung und<br>das Moseley'sche Gesetz | 438        |
| 11.4.2      | Absorption von Röntgenstrahlung                                       | 439        |
| 11.4.3      | Spektren im sichtbaren Bereich  | 440        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 11.4.4 | Der Helium-Neon-Laser  | 442 |
| 11.4.5 | Berechnung der Absorptionsspektren von<br>Farbstoffmolekülen | 444 |
|        | Exkurs: CD-R – die beschreibbare CD                          | 445 |
|        | <b>Grundwissen</b>   | 446 |
|        | <b>Wissenstest</b>   | 448 |

## **12 Festkörperphysik und Elektronik**

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>12.1</b> | <b>Halbleiter</b>  | 450 |
| 12.1.1      | Ionen und Elektronen im Festkörper                         | 450 |
| 12.1.2      | Halbleiter und Dotierung                                   | 452 |
| 12.1.3      | p-n-Übergang und Dioden                                    | 454 |
| 12.1.4      | Der bipolare Transistor                                    | 456 |
| 12.1.5      | Der Feldeffekttransistor                                   | 458 |
| <br>        |  |     |
| <b>12.2</b> | <b>Das quantenphysikalische Modell<br/>des Festkörpers</b> | 460 |
| 12.2.1      | Energiezustände im Elektronengas                           | 460 |
| 12.2.2      | Die Fermi-Energie  | 462 |
|             | Exkurs: Supraleitung                                       | 464 |

|             |                                   |            |
|-------------|-----------------------------------|------------|
| 12.2.3      | Energiebänder im Halbleiter       | 466        |
| 12.2.4      | n- und p-Halbleiter               | 469        |
| 12.2.5      | Kontaktspannung                   | 471        |
| <b>12.3</b> | <b>Analoge Signalverarbeitung</b> | <b>472</b> |
| 12.3.1      | Der Operationsverstärker          | 472        |
| 12.3.2      | AD- und DA-Wandler                | 474        |
| 12.3.3      | RAM und ROM                       | 475        |
|             | Exkurs: Aufbau eines Computers    | 476        |
|             | Exkurs: Computerspeicher          | 478        |
|             | <b>Grundwissen</b>                | <b>479</b> |

## **13 Kernphysik**

### **13.1 Radioaktivität** 480

- 13.1.1 Die ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung 480
- 13.1.2 Strahlungsarten 482
- 13.1.3 Kernbausteine 483
- 13.1.4 Ordnung der Nuklide 484
  - Exkurs: Auf der Suche nach neuen Elementen 485
- 13.1.5 Arten der Kernumwandlung 486
- 13.1.6 Das Zerfallsgesetz 488

### **13.2 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie** 490

- 13.2.1 Wechselwirkungsprozesse geladener Teilchen 490
  - Exkurs: Das Geiger-Müller-Zählrohr 491
- 13.2.2 Energieabgabe von  $\gamma$ -Quanten 492
- 13.2.3 Energiemessung und Dosimetrie 493
  - Exkurs: Strahlungsdetektoren 494
  - Exkurs: Biologische Wirkung von Strahlung 496
  - Exkurs: Strahlenschutz 497

### **13.3 Aufbau und Energie der Kerne** 498

- 13.3.1 Masse und Massendefekt 498
- 13.3.2 Größe der Atomkerne 499

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 13.3.3      | Das Tröpfchenmodell des Atomkerns                       | 500        |
| 13.3.4      | Energiezustände des Kerns                               | 502        |
| 13.3.5      | Das Potentialtopfmodell                                 | 504        |
| <b>13.4</b> | <b>Nutzung der Kernenergie</b>                          | <b>507</b> |
| 13.4.1      | Kernreaktionen  | 507        |
| 13.4.2      | Kernspaltung  | 510        |
| 13.4.3      | Aktivierungsenergie und Multiplikationsfaktor           | 512        |
| 13.4.4      | Technische Nutzung der Kernenergie                      | 514        |
| 13.4.5      | Probleme und Risiken bei der Nutzung der<br>Kernenergie | 516        |
| 13.4.6      | Kernfusion  | 517        |
| 13.4.7      | Technik der Fusion                                      | 518        |
| <b>13.5</b> | <b>Anwendungen der Kernphysik</b>                       | <b>520</b> |
| 13.5.1      | Radionuklide als Strahlungsquellen                      | 520        |
| 13.5.2      | Altersbestimmung  | 521        |
| 13.5.3      | Tracermethoden  | 522        |
|             | Exkurs: Kernspintomografie                              | 523        |
|             | <b>Grundwissen</b>                                      | <b>524</b> |
|             | <b>Wissenstest</b>                                      | <b>526</b> |

## **14 Elementarteilchenphysik**

© 2014 CERN. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of CERN.

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>14.1</b> | <b>Vom Elektron zum Teilchenzoo</b>                  | <b>528</b> |
| <b>14.2</b> | <b>Das Standardmodell</b>                            | <b>530</b> |
| 14.2.1      | Quarks im Standardmodell                             | 530        |
|             | Exkurs: Collider, Speicherringe und Riesendetektoren | 533        |

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 14.2.2 | Gebundene Systeme            | 534 |
| 14.2.3 | Die Leptonen                 | 535 |
| 14.2.4 | Reaktionen im Standardmodell | 536 |



|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| <b>15</b> | <b>Astrophysik</b>   |     |
| 15.1      | Die Erforschung des Weltalls                               | 538 |
| 15.1.1    | Optische Astronomie heute                                  | 538 |
| 15.1.2    | Extraterrestrische Observatorien                           | 540 |
|           | Exkurs: Quasare – Strahlungsmonster im<br>fernen Universum | 541 |
| 15.1.3    | Die Entfernungen der Sterne und der Galaxien               | 542 |
|           | Exkurs: Warum pulsieren die Cepheiden?                     | 543 |
| 15.1.4    | Die Expansion des Universums                               | 544 |
| <b>16</b> | <b>Physik und Wissenschaftstheorie</b>                     |     |
| 16.1      | Theorie – Hypothese – Gesetz – Modell                      | 562 |
| <b>17</b> | <b>Aufgaben zur Abiturvorbereitung</b>                     |     |
| <b>18</b> | <b>Anhang</b>  |     |

|             |                                       |     |
|-------------|---------------------------------------|-----|
| <b>15.2</b> | <b>Die Sterne</b>                     | 546 |
| 15.2.1      | Leuchtkraft und Temperatur der Sterne | 546 |
| 15.2.2      | Die scheinbare Helligkeit             | 548 |
| 15.2.3      | Die Masse der Sterne                  | 549 |
| 15.2.4      | Radius und Dichte der Sterne          | 550 |
| 15.2.5      | Sternmasse und Sterneigenschaften     | 551 |
| 15.2.6      | Interstellare Materie                 | 552 |
| 15.2.7      | Die Sternentstehung                   | 554 |
| 15.2.8      | Endstadien der Sterne                 | 556 |
| <b>15.3</b> | <b>Die Entwicklung des Universums</b> | 560 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>16.2</b> | <b>Philosophische Strömungen der Erkenntnisgewinnung</b> | 564 |
|-------------|--|-----|

566-569

570-579