

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Hors d’Oeuvre</b>                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Wissenschaftliche Revolution            | 1         |
| 1.2      | Physik im 20. Jahrhundert               | 3         |
| 1.3      | Struktur der Materie                    | 4         |
| 1.4      | Die fundamentalen Wechselwirkungen      | 6         |
| 1.5      | Einheiten                               | 8         |
| 1.6      | Messfehler                              | 9         |
| <b>2</b> | <b>Kinematik</b>                        | <b>13</b> |
| 2.1      | Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung | 13        |
| 2.2      | Addition zweier Geschwindigkeiten       | 16        |
| 2.3      | Kreisbewegung                           | 19        |
| <b>3</b> | <b>Dynamik</b>                          | <b>21</b> |
| 3.1      | Masse, Impuls und Impulserhaltung       | 22        |
| 3.2      | Kraft                                   | 26        |
| 3.2.1    | Proton im elektrischen Feld             | 27        |
| 3.2.2    | Schwere Masse                           | 27        |
| 3.3      | Drehimpuls und Drehimpulserhaltung      | 29        |
| 3.3.1    | Schwerpunkt                             | 32        |
| 3.4      | Drehmoment                              | 34        |
| 3.4.1    | Bewegungsgleichung der Rotation         | 36        |
| 3.5      | Energie und Arbeit                      | 36        |
| 3.6      | Mechanik und Sport                      | 38        |
| 3.6.1    | Stabhochsprung                          | 38        |
| 3.6.2    | Peitscheneffekt im Sport                | 40        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>4 Stoß, Oszillator und Kreisel</b> .....             | 43  |
| 4.1 Elastischer und inelastischer Stoß .....            | 43  |
| 4.1.1 Elastischer Frontalstoß .....                     | 43  |
| 4.1.2 Billard-Karambolage .....                         | 45  |
| 4.1.3 Inelastischer Stoß .....                          | 46  |
| 4.2 Federpendel, Harmonischer Oszillator .....          | 47  |
| 4.2.1 Potential des Harmonischen Oszillators .....      | 49  |
| 4.3 Quantenmechanischer Harmonischer Oszillator .....   | 51  |
| 4.4 Klassischer Kreisel .....                           | 53  |
| 4.5 Quantenmechanischer Kreisel .....                   | 55  |
| <b>5 Gravitation</b> .....                              | 57  |
| 5.1 Sonne–Erde–Mond .....                               | 60  |
| 5.1.1 Erde auf einer Kreisbahn .....                    | 61  |
| 5.1.2 Ortsgebundener Satellit .....                     | 62  |
| 5.1.3 Mondanziehung .....                               | 63  |
| 5.1.4 Gezeiten .....                                    | 64  |
| 5.1.5 Erde als Kreisel .....                            | 66  |
| 5.2 Sonnensystem .....                                  | 68  |
| 5.3 Milchstraße .....                                   | 70  |
| 5.3.1 Schwarzes Loch in der Mitte der Milchstraße ..... | 71  |
| 5.4 Determinismus und Deterministisches Chaos .....     | 74  |
| 5.4.1 Entstehung des Sonnensystems .....                | 75  |
| 5.5 Das Licht hat auch eine Masse: $E = mc^2$ .....     | 76  |
| 5.5.1 Schwarzschildradius und Ereignishorizont .....    | 81  |
| <b>6 Flüssigkeit und Gas</b> .....                      | 83  |
| 6.1 Druck als Folge der Erdanziehung .....              | 83  |
| 6.1.1 Wasserdruk .....                                  | 83  |
| 6.1.2 Barometrische Höhenformel .....                   | 85  |
| 6.1.3 Archimedisches Prinzip .....                      | 87  |
| 6.2 Strömung nach Bernoulli und Venturi .....           | 88  |
| 6.2.1 Blutkreislauf .....                               | 90  |
| 6.2.2 Physik des Fliegens .....                         | 92  |
| 6.2.3 Wind-Druck-Abhängigkeit .....                     | 94  |
| 6.3 Kohäsion und Adhäsion .....                         | 95  |
| <b>7 Kinetische Theorie der Wärme</b> .....             | 99  |
| 7.1 Ideales Gas .....                                   | 99  |
| 7.2 Reales Gas .....                                    | 103 |
| 7.3 Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung .....        | 104 |
| 7.4 Spezifische Molwärme von Gasen .....                | 106 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 7.4.1     | Spezifische Molwärme bei konstantem Volumen $c_V$ .....                | 106        |
| 7.4.2     | Spezifische Molwärme bei konstantem Druck $c_p$ .....                  | 108        |
| 7.5       | Spezifische Molwärmenden kristalliner Substanzen .....                 | 109        |
| 7.6       | Spezifische Molwärme von Flüssigkeiten .....                           | 110        |
| 7.7       | Phasenübergänge .....  | 111        |
| 7.8       | Wärmemaschinen .....   | 113        |
| 7.8.1     | Wärmepumpe .....   | 116        |
| 7.9       | Diffusion und Osmose .....   | 117        |
| 7.10      | Wärmetransport .....   | 121        |
| 7.10.1    | Wärmeleitung .....   | 122        |
| 7.10.2    | Konvektion .....   | 123        |
| 7.10.3    | Strahlung .....  | 123        |
| <b>8</b>  | <b>Entropie .....</b>  | <b>125</b> |
| 8.1       | Abgeschlossene Systeme .....   | 125        |
| 8.1.1     | Zeitrichtung .....   | 131        |
| 8.2       | Offene Systeme .....   | 132        |
| 8.2.1     | Selbstorganisation .....   | 134        |
| <b>9</b>  | <b>Mechanische Wellen .....</b>  | <b>137</b> |
| 9.1       | Eindimensionale, longitudinale und transversale Wellen .....           | 138        |
| 9.1.1     | Phasengeschwindigkeit .....  | 139        |
| 9.2       | Energie und Impuls der Welle .....                                     | 141        |
| 9.3       | Reflexion, Transmission und Absorption .....                           | 142        |
| 9.4       | Stehende Wellen .....  | 143        |
| 9.5       | Wasserwellen .....   | 145        |
| 9.6       | Interferenz und Beugung der Wasserwellen .....                         | 146        |
| 9.7       | Schall .....   | 148        |
| 9.7.1     | Schallwellen im Gas .....  | 148        |
| 9.7.2     | Dopplereffekt .....  | 149        |
| 9.7.3     | Schockwellen .....   | 151        |
| 9.7.4     | Ultraschall .....  | 151        |
| 9.7.5     | Infraschall .....  | 153        |
| <b>10</b> | <b>Elektromagnetische Wechselwirkung .....</b>                         | <b>157</b> |
| 10.1      | Elementarladung .....  | 157        |
| 10.2      | Das magnetische Feld und das magnetische Moment<br>des Elektrons ..... | 161        |
| 10.3      | Elektrische Spannung und elektrischer Strom .....                      | 163        |
| 10.3.1    | Elektrischer Strom in Metallen .....                                   | 164        |
| 10.3.2    | Strom in Lösungen .....  | 165        |
| 10.3.3    | Batterie .....   | 167        |

|  |            |
|--|------------|
| 10.3.4 Widerstand . . . . .  | 168        |
| 10.3.5 Kondensator . . . . .   | 169        |
| 10.4 Elektrizität in der Biologie . . . . .                              | 172        |
| 10.4.1 Elektrische Eigenschaften der Zellmembran . . . . .               | 174        |
| 10.5 Magnetfeld und magnetische Induktion . . . . .                      | 178        |
| 10.5.1 Spule . . . . .   | 181        |
| 10.5.2 Transformator . . . . .   | 182        |
| 10.5.3 Elektromagnetischer Schwingkreis . . . . .                        | 184        |
| 10.5.4 Stromgenerator . . . . .  | 185        |
| 10.5.5 Elektromotor . . . . .  | 186        |
| 10.6 Maxwellgleichungen . . . . .  | 187        |
| 10.7 Energietransport . . . . .  | 189        |
| <b>11 Elektromagnetische Wellen . . . . .</b>                            | <b>191</b> |
| 11.1 Lichtgeschwindigkeit . . . . .                                      | 191        |
| 11.2 Relativitätstheorie . . . . .                                       | 195        |
| 11.2.1 Es gibt keinen absoluten Raum . . . . .                           | 195        |
| 11.2.2 Es gibt keine absolute Zeit . . . . .                             | 197        |
| 11.2.3 Längenkontraktion . . . . .                                       | 197        |
| 11.2.4 Äquivalenz von Masse und Energie . . . . .                        | 199        |
| 11.3 Experimentelle Bestätigung von Dilatation und Kontraktion . . . . . | 200        |
| 11.4 Strahlungsquellen . . . . .   | 202        |
| 11.5 Atomspektren . . . . .  | 204        |
| 11.6 Laser . . . . .   | 207        |
| 11.7 Röntgenstrahlung . . . . .  | 209        |
| 11.7.1 Bremsstrahlung . . . . .  | 209        |
| 11.7.2 Charakteristische Röntgenstrahlung . . . . .                      | 211        |
| 11.7.3 Röntgenspektroskopie . . . . .                                    | 212        |
| 11.8 Wärmestrahlung . . . . .  | 215        |
| <b>12 Optik . . . . .</b>  | <b>219</b> |
| 12.1 Reflexion und Brechung . . . . .                                    | 219        |
| 12.1.1 Regenbogen . . . . .  | 221        |
| 12.1.2 Sonnenuntergang . . . . .   | 222        |
| 12.1.3 Totalreflexion . . . . .  | 224        |
| 12.2 Geometrische Optik . . . . .  | 225        |
| 12.2.1 Linse . . . . .   | 226        |
| 12.2.2 Auge . . . . .  | 227        |
| 12.2.3 Lupe und Mikroskop . . . . .                                      | 228        |
| 12.2.4 Spiegelteleskop . . . . .   | 229        |
| 12.3 Das Sehen . . . . .   | 232        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>13 Quantenmechanik – Die wesentlichen Begriffe</b> . . . . . | 233 |
| 13.1 Photon . . . . .   | 233 |
| 13.1.1 Photoeffekt . . . . .                                    | 233 |
| 13.1.2 Comptonstreuung . . . . .                                | 235 |
| 13.1.3 Ist das Photon ein Teilchen oder eine Welle? . . . . .   | 236 |
| 13.2 Elektron . . . . .   | 237 |
| 13.2.1 Das Elektron ist ein Teilchen . . . . .                  | 237 |
| 13.2.2 Das Elektron ist eine Welle . . . . .                    | 238 |
| 13.2.3 Elektronenmikroskop . . . . .                            | 240 |
| 13.3 Heisenbergsche Unschärferelation . . . . .                 | 242 |
| 13.4 Das virtuelle Photon . . . . .                             | 244 |
| 13.5 Wellenfunktion . . . . .                                   | 246 |
| 13.5.1 Unendliches Kastenpotential . . . . .                    | 247 |
| 13.5.2 Harmonisches Potential . . . . .                         | 249 |
| 13.5.3 Endliches Kastenpotential . . . . .                      | 249 |
| 13.5.4 Tunneln durch eine Potentialbarriere . . . . .           | 250 |
| 13.6 Strahlungsübergänge . . . . .                              | 254 |
| 13.7 Elektronen sind Fermionen, Photonen sind Bosonen . . . . . | 254 |
| <b>14 Atome . . . . .</b>                                       | 257 |
| 14.1 Wasserstoffatom . . . . .                                  | 258 |
| 14.2 Die vier Quantenzahlen des Wasserstoffatoms . . . . .      | 260 |
| 14.3 Periodensystem der Elemente . . . . .                      | 263 |
| <b>15 Moleküle . . . . .</b>                                    | 267 |
| 15.1 Starke chemische Bindung . . . . .                         | 267 |
| 15.1.1 Kovalente Bindung . . . . .                              | 267 |
| 15.1.2 Metallische Bindung . . . . .                            | 268 |
| 15.1.3 Ionische Bindung . . . . .                               | 269 |
| 15.1.4 Geometrie der Moleküle . . . . .                         | 270 |
| 15.1.5 Mikrowelle . . . . .                                     | 272 |
| 15.2 Wasserstoffbrückenbindung . . . . .                        | 273 |
| 15.3 Van-der-Waals-Bindung . . . . .                            | 275 |
| 15.4 Bindungscocktails . . . . .                                | 276 |
| 15.4.1 Graphit . . . . .  | 276 |
| 15.4.2 Faltung . . . . .  | 277 |
| <b>16 Kondensierte Materie . . . . .</b>                        | 279 |
| 16.1 Kovalente Kristalle . . . . .                              | 279 |
| 16.2 Ionische Kristalle . . . . .                               | 283 |
| 16.2.1 Piezoelektrizität . . . . .                              | 284 |
| 16.3 Eis . . . . .  | 286 |

|   |            |
|---|------------|
| 16.4 Van-der-Waals-Kristalle .....                              | 286        |
| 16.5 Metalle .....  | 287        |
| <b>17 Quarks, Nukleonen und Kerne .....</b>                     | <b>291</b> |
| 17.1 Starke Wechselwirkung .....                                | 294        |
| 17.2 Schwache Wechselwirkung .....                              | 296        |
| 17.2.1 $\beta^-$ -Zerfall .....                                 | 296        |
| 17.2.2 Quarkspektroskopie .....                                 | 297        |
| 17.3 Kernbindungsenergie .....                                  | 297        |
| 17.3.1 Stabile Isotope .....                                    | 301        |
| 17.4 Fusionsreaktor Sonne .....                                 | 301        |
| 17.5 Elementsynthese .....                                      | 305        |
| 17.6 Spaltung .....   | 307        |
| 17.7 Radioaktivität .....                                       | 309        |
| 17.7.1 Geothermale Energiequellen .....                         | 309        |
| 17.7.2 Das Alter des Sonnensystems .....                        | 310        |
| 17.7.3 Umweltradioaktivität .....                               | 312        |
| <b>18 Expandierendes Universum .....</b>                        | <b>315</b> |
| 18.1 Kosmische Rotverschiebung und Expansion .....              | 315        |
| 18.2 Das Big-Bang/Urknall-Modell .....                          | 318        |
| <b>Mathematisches Werkzeug .....</b>                            | <b>323</b> |
| A.1 Differentialrechnung .....                                  | 323        |
| A.1.1 Ableitung von $s$ nach $t$ .....                          | 323        |
| A.1.2 Ableitung von $e^{-\lambda t}$ .....                      | 325        |
| A.1.3 Ableitung von $\sin(\omega t)$ und $\cos(\omega t)$ ..... | 326        |
| A.2 Integral, unbestimmtes und bestimmtes .....                 | 328        |
| A.3 Vektorrechnung .....  | 330        |
| A.4 Komplexe Zahlen .....                                       | 332        |
| <b>Weiterführende Literatur .....</b>                           | <b>335</b> |
| <b>Sachverzeichnis .....</b>                                    | <b>337</b> |