

Herbert A. Stuart Gerhard Klages

Kurzes Lehrbuch der Physik

Siebzehnte, aktualisierte und erweiterte Auflage
mit 375 Abbildungen und 22 Tabellen
235 Aufgaben und ausführlichen Lösungen



Springer

Professor Dr. Gerhard Klages

Institut für Physik
Johannes Gutenberg-Universität
Staudingerweg 7
55128 Mainz

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Stuart, Herbert, A.:

Kurzes Lehrbuch der Physik / Herbert A. Stuart; Gerhard Klages. –

17., aktualisierte und erw. Aufl. –

Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Tokio:

Springer, 2002 (Springer-Lehrbuch)

ISBN 3-540-43547-6

ISBN 3-540-43547-6 17. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ISBN 3-540-67758-5 16. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ein Unternehmen der BertelsmannSpringer Science+Business Media GmbH

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg

1942, 1949, 1954, 1961, 1966, 1970, 1977, 1979, 1984, 1988, 1990, 1992, 1994, 1997, 2000, 2003

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: K + V Fotosatz, Beerfelden

Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg

Druck: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach

Verarbeitung: Schäffer, Grünstadt

Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10863832

56/3141/ba - 5 4 3 2 1 0

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Abgrenzung und Aufgaben der Physik | 1 |
| 1.2 Die Methodik der Physik | 1 |
| 1.3 Bedeutung des Messens in der Physik | 2 |
| 1.4 Fehlerangaben, Fehlerrechnung | 3 |
| Aufgaben | 4 |
| | |
| 2. Allgemeine Mechanik | 5 |
| 2.1 Messen und Maßeinheiten | 5 |
| 2.1.1 Basisgrößen | 5 |
| 2.1.2 Längen- und Winkelmessung | 5 |
| 2.1.3 Basiseinheit von Zeit und Masse | 7 |
| Aufgaben | 7 |
| 2.2 Bewegungslehre (Kinematik) | 7 |
| 2.2.1 Geschwindigkeit | 8 |
| 2.2.2 Beschleunigung | 9 |
| Aufgaben | 11 |
| 2.3 Bewegung unter dem Einfluß von Kräften (Dynamik) | 11 |
| 2.3.1 Träge Masse und Kraft | 12 |
| 2.3.2 Schwere Masse und Gewicht | 12 |
| 2.3.3 Wechselwirkungssatz, Impuls | 13 |
| 2.3.4 Trägheitskräfte | 15 |
| 2.3.5 Arbeit und Leistung | 16 |
| 2.3.6 Mechanische Energie | 17 |
| Aufgaben | 18 |
| 2.4 Einige besondere Bewegungsformen | 19 |
| 2.4.1 Wurfbewegung | 19 |
| 2.4.2 Gleichförmige Bewegung auf der Kreisbahn | 19 |
| 2.4.3 Stoßvorgänge | 21 |
| Aufgaben | 22 |
| 2.5 Kräfte am starren Körper (Statik) | 23 |
| 2.5.1 Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften | 23 |
| 2.5.2 Hebel, Drehmoment | 23 |
| 2.5.3 Parallele Kräfte, Kräftepaar | 24 |
| 2.5.4 Schwerpunkt | 25 |
| 2.5.5 Gleichgewichtslagen | 25 |
| 2.5.6 Die Waage | 26 |
| Aufgaben | 26 |
| 2.6 Drehbewegung eines starren Körpers | 27 |
| 2.6.1 Winkelbeschleunigung, Trägheitsmoment | 27 |
| 2.6.2 Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung | 28 |
| 2.6.3 Satz von der Erhaltung des Drehimpulses | 29 |
| 2.6.4 Freie Drehachsen | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6.5 Der Kreisel | 30 |
| Aufgaben | 31 |
| 2.7 Allgemeine Gravitation | 31 |
| 2.7.1 Gravitationsgesetz | 31 |
| 2.7.2 Planetenbewegung | 32 |
| Aufgabe | 33 |
| 3. Die mechanischen Eigenschaften der Stoffe und ihre molekulare Struktur | 35 |
| 3.1 Der molekulare Aufbau der Stoffe und die molekularen Kräfte .. | 35 |
| 3.1.1 Vorbemerkung | 35 |
| 3.1.2 Allgemeines über Moleküle, Stoffmengen | 35 |
| 3.1.3 Größe, Form und Kerngerüst der Moleküle | 36 |
| 3.1.4 Einiges über die zwischenmolekularen Kräfte | 38 |
| 3.1.5 Volumenbezogene Materiemengen | 38 |
| Aufgaben | 40 |
| 3.2 Festkörper | 40 |
| 3.2.1 Molekularer Bau, Kristallgitter | 40 |
| 3.2.2 Elastische und plastische Körper | 41 |
| 3.2.3 Hookesches Gesetz | 41 |
| 3.2.4 Überelastische Beanspruchung | 43 |
| Aufgaben | 44 |
| 3.3 Ruhende Flüssigkeiten (Hydrostatik) | 44 |
| 3.3.1 Allgemeines, Ordnungszustand der Moleküle in Flüssigkeiten | 44 |
| 3.3.2 Einstellung der Flüssigkeitsoberfläche | 45 |
| 3.3.3 Der Druck in Flüssigkeiten | 45 |
| 3.3.4 Auftrieb, Schwimmen | 47 |
| 3.3.5 Oberflächenspannung | 49 |
| 3.3.6 Benetzung, Kapillarität | 50 |
| Aufgaben | 51 |
| 3.4 Ruhende Gase | 52 |
| 3.4.1 Dichte, Druck und Volumen | 52 |
| 3.4.2 Die Lufthülle der Erde und der Luftdruck | 53 |
| Aufgaben | 54 |
| 3.5 Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen (Hydro- und Aerodynamik) | 55 |
| 3.5.1 Stromfäden, laminare Strömung | 55 |
| 3.5.2 Zäh Flüssigkeit, innere Reibung | 56 |
| 3.5.3 Strömung von zähen Flüssigkeiten durch Rohre, Kugelfall | 57 |
| 3.5.4 Geschwindigkeit und Druck in idealen Flüssigkeiten | 59 |
| 3.5.5 Reale Flüssigkeiten, turbulente Strömung | 61 |
| Aufgaben | 62 |
| 4. Schwingungs- und Wellenlehre, Akustik | 63 |
| 4.1 Mechanische Schwingungen | 63 |
| 4.1.1 Freie harmonische Schwingung, Pendel | 63 |
| 4.1.2 Überlagerung von Schwingungen | 65 |
| 4.1.3 Erzwungene Schwingungen, Resonanz | 67 |
| Aufgaben | 68 |
| 4.2 Mechanische Wellen | 68 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1 Fortschreitende Wellen | 68 |
| 4.2.2 Interferenz von Wellen | 70 |
| 4.2.3 Stehende Wellen, Eigenschwingungen von Seilen und Luftsäulen | 71 |
| 4.2.4 Interferenz und Beugung von Oberflächenwellen | 73 |
| 4.2.5 Kugelwellen im Raum | 76 |
| Aufgaben | 76 |
| 4.3 Akustik | 76 |
| 4.3.1 Schallstärke, Schalldruck | 77 |
| 4.3.2 Gehörempfindungen | 78 |
| 4.3.3 Ausbreitung von Schallwellen | 79 |
| 4.3.4 Ultraschall | 82 |
| Aufgaben | 82 |
| 5. Wärmelehre | 83 |
| 5.1 Thermometrie, Wärmeausdehnung, ideales Gas | 83 |
| 5.1.1 Temperaturskala | 83 |
| 5.1.2 Praktische Temperaturmessung | 84 |
| 5.1.3 Wärmeausdehnung | 85 |
| 5.1.4 Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases | 86 |
| Aufgaben | 87 |
| 5.2 Wärme und Arbeit | 88 |
| 5.2.1 Wärmemenge, erster Hauptsatz der Wärmelehre | 88 |
| 5.2.2 Wärmekapazität, Kalorimetrie | 89 |
| 5.2.3 Spezifische Wärmekapazitäten und Energieinhalt von Gasen | 91 |
| 5.2.4 Isotherme und adiabatische Kompression von Gasen | 91 |
| 5.2.5 Carnotscher Kreisprozeß | 92 |
| 5.2.6 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre, Entropie | 94 |
| Aufgaben | 95 |
| 5.3 Wärme als ungeordnete Molekularbewegung | 95 |
| 5.3.1 Ideale Gase, Druckformel, Boltzmann-Beziehung | 95 |
| 5.3.2 Kinetische Wärmetheorie | 96 |
| 5.3.3 Brownsche Bewegung | 98 |
| 5.3.4 Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung | 99 |
| 5.3.5 Diffusion | 100 |
| 5.3.6 Osmotischer Druck | 101 |
| Aufgaben | 102 |
| 5.4 Änderungen des Aggregatzustandes | 102 |
| 5.4.1 Schmelzen, Schmelzpunkt, Schmelzwärme | 102 |
| 5.4.2 Flüssige Mischungen und Lösungen | 104 |
| 5.4.3 Verdampfung, Sättigungsdruck, Sieden | 105 |
| 5.4.4 Sublimation, Tripelpunkt | 107 |
| 5.4.5 Feuchtigkeit der Luft, Absorption von Luft in Wasser | 108 |
| 5.4.6 Isotherme Verflüssigung von realen Gasen | 108 |
| 5.4.7 Tiefe Temperaturen | 110 |
| Aufgaben | 111 |
| 5.5 Wärmeübertragung | 112 |
| 5.5.1 Wärmeleitung | 112 |
| 5.5.2 Konvektion | 113 |

| | |
|--|------------|
| 5.5.3 Wärmestrahlung | 113 |
| Aufgaben | 114 |
| 6. Elektrizitätslehre | 115 |
| 6.1 Elektrische Gleichströme | 115 |
| 6.1.1 Elektrische Spannung und Stromstärke | 115 |
| 6.1.2 Ohmsches Gesetz | 117 |
| 6.1.3 Stromverzweigung | 118 |
| 6.1.4 Schaltungen und Meßmethoden | 119 |
| Aufgaben | 121 |
| 6.2 Das elektrische Feld | 121 |
| 6.2.1 Elektrometer | 121 |
| 6.2.2 Ladung und Spannung, Influenz | 122 |
| 6.2.3 Elektrische Feldstärke | 124 |
| 6.2.4 Elektrische Verschiebung | 126 |
| 6.2.5 Kapazität eines Kondensators | 127 |
| 6.2.6 Kugelkondensator, Coulombsches Gesetz | 129 |
| 6.2.7 Elektrische Ladungen in der Materie | 130 |
| 6.2.8 Materie im elektrischen Felde, dielektrische Eigenschaften der Moleküle | 131 |
| Aufgaben | 133 |
| 6.3 Elektrische Leitungsvorgänge in Flüssigkeiten und Festkörpern | 134 |
| 6.3.1 Elektrische Energie und Stromwärme | 134 |
| 6.3.2 Elektrolytische Dissoziation, Ionenleitung | 135 |
| 6.3.3 Faradaysche Gesetze der Elektrolyse | 136 |
| 6.3.4 Ionenwanderung und Ohmsches Gesetz | 137 |
| 6.3.5 Elektronenleitung der Metalle | 138 |
| 6.3.6 Halbleiter | 139 |
| 6.3.7 Transistor | 140 |
| Aufgaben | 141 |
| 6.4 Herstellung elektrischer Spannungen durch Ladungstrennung | 142 |
| 6.4.1 Prinzipielles | 142 |
| 6.4.2 Lösungsdruck, Galvanische Elemente | 142 |
| 6.4.3 Elektrolytische Polarisation, Akkumulator | 144 |
| 6.4.4 Diffusions- und Membranspannungen | 145 |
| 6.4.5 Kontaktspannungen | 146 |
| 6.4.6 Elektrokinetische Vorgänge | 147 |
| 6.4.7 Thermospannungen | 147 |
| Aufgaben | 148 |
| 6.5 Elektrizitätsleitung in Gasen und im Vakuum | 149 |
| 6.5.1 Unselbständige Leitung | 149 |
| 6.5.2 Elektronenaustritt aus Metallen | 150 |
| 6.5.3 Triode | 150 |
| 6.5.4 Elektronenstrahlen, Braunsche Röhre, Oszillograph | 152 |
| 6.5.5 Glimmentladung | 154 |
| 6.5.6 Elektrizitätsleitung bei höheren Drücken | 156 |
| Aufgaben | 157 |
| 6.6 Das magnetische Feld | 157 |
| 6.6.1 Magnetische Grundeigenschaften | 157 |
| 6.6.2 Magnetfeld eines Stromes | 159 |
| 6.6.3 Kraftwirkungen auf Ströme im Magnetfeld | 161 |

| | |
|--|------------|
| 6.6.4 Anwendung der magnetischen Kraft bei Meßinstrumenten | 163 |
| 6.6.5 Grundtatsachen der elektromagnetischen Induktion | 164 |
| 6.6.6 Das Induktionsgesetz | 165 |
| 6.6.7 Induktionsströme, Wirbelströme | 167 |
| 6.6.8 Gegenseitige Induktion und Selbstinduktion | 168 |
| 6.6.9 Magnetische Eigenschaften der Stoffe | 169 |
| Aufgaben | 172 |
| 6.7 Wechsellspannungen und Wechselströme | 172 |
| 6.7.1 Wechselstromkreis mit ohmschem Widerstand | 172 |
| 6.7.2 Induktiver und kapazitiver Widerstand | 174 |
| 6.7.3 Transformator | 176 |
| 6.7.4 Starkstrommaschinen | 177 |
| 6.7.5 Elektroakustische Geräte | 179 |
| Aufgaben | 180 |
| 6.8 Hochfrequente Schwingungen und Wellen | 181 |
| 6.8.1 Elektrischer Schwingkreis | 181 |
| 6.8.2 Erzeugung von hochfrequenten Schwingungen | 182 |
| 6.8.3 Wellen auf Leitungen | 183 |
| 6.8.4 Elektromagnetische Wellen im freien Raum | 184 |
| 6.8.5 Elektrischer Strahlungsdipol | 186 |
| 6.8.6 Anwendung elektromagnetischer Schwingungen und Wellen | 187 |
| Aufgaben | 188 |
| 7. Optik und allgemeine Strahlungslehre | 191 |
| 7.1 Die Natur des Lichtes und die Grundgesetze der Lichtausbreitung | 191 |
| 7.1.1 Die Natur des Lichtes | 191 |
| 7.1.2 Grundlagen der geometrischen Optik | 191 |
| 7.1.3 Lichtgeschwindigkeit | 193 |
| 7.1.4 Reflexion des Lichtes | 194 |
| 7.1.5 Brechung des Lichtes | 195 |
| 7.1.6 Totalreflexion | 196 |
| 7.1.7 Dispersion | 197 |
| 7.1.8 Farben | 198 |
| Aufgaben | 199 |
| 7.2 Optische Abbildungen | 199 |
| 7.2.1 Sphärische Spiegel | 199 |
| 7.2.2 Abbildung durch dünne Linsen | 201 |
| 7.2.3 Brechkraft von Linsen und Linsensystemen | 204 |
| 7.2.4 Dicke Linsen | 205 |
| 7.2.5 Abbildung durch eine einzige Kugelfläche | 206 |
| 7.2.6 Abbildungsfehler | 207 |
| Aufgaben | 208 |
| 7.3 Optische Instrumente | 209 |
| 7.3.1 Vorbemerkung über den Einfluß der Beugung und über die Bündelbegrenzung durch Blenden | 209 |
| 7.3.2 Photoapparat | 210 |
| 7.3.3 Projektor | 211 |
| 7.3.4 Das Auge als optisches System | 211 |
| 7.3.5 Die Lupe | 213 |
| 7.3.6 Das Mikroskop | 214 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.3.7 | Das Fernrohr | 218 |
| 7.3.8 | Spektrometer | 219 |
| | Aufgaben | 220 |
| 7.4 | Wellenoptik | 220 |
| 7.4.1 | Interferenzversuche mit kohärentem Licht | 220 |
| 7.4.2 | Farben dünner Blättchen, Newtonsche Ringe | 221 |
| 7.4.3 | Beugung am Gitter | 222 |
| 7.4.4 | Beugung an kleinen Öffnungen und Hindernissen | 225 |
| 7.4.5 | Linear polarisiertes Licht | 228 |
| 7.4.6 | Polarisation durch Reflexion und Streuung | 230 |
| 7.4.7 | Doppelbrechung | 231 |
| 7.4.8 | Drehung der Polarisationssebene, optische Aktivität | 233 |
| 7.4.9 | Elliptisch polarisiertes Licht | 234 |
| | Aufgaben | 235 |
| 7.5 | Elektromagnetisches Spektrum | 235 |
| 7.5.1 | Übersicht über das gesamte Spektrum | 235 |
| 7.5.2 | Infrarotes Licht (IR) | 236 |
| 7.5.3 | Gesetze der Temperaturstrahlung | 237 |
| 7.5.4 | Strahlungsleistung, Photometrie | 239 |
| 7.5.5 | Fluoreszenz und Phosphoreszenz | 241 |
| 7.5.6 | Ultraviolettes Licht (UV) | 242 |
| 7.5.7 | Röntgenstrahlung | 242 |
| 7.5.8 | Röntgeninterferenzen an Kristallen | 245 |
| | Aufgaben | 247 |
| 7.6 | Korpuskulareigenschaften des Lichtes | 248 |
| 7.6.1 | Der lichtelektrische Effekt, Photoeffekt | 248 |
| 7.6.2 | Das Photon | 249 |
| 7.6.3 | Ionisation durch Röntgenstrahlen, Strahlungs-dosis | 250 |
| 7.6.4 | Laser | 252 |
| 7.6.5 | Dualismus von Korpuskel und Welle | 253 |
| | Aufgaben | 254 |
| 8. | Grundzüge der Atom- und Molekülphysik | 255 |
| 8.1 | Die Spektren und die Elektronenhülle der Atome | 255 |
| 8.1.1 | Emissions- und Absorptionsspektren | 255 |
| 8.1.2 | Linienpektren der Atome | 256 |
| 8.1.3 | Atombau und periodisches System der Elemente | 258 |
| 8.1.4 | Röntgenspektren | 259 |
| 8.1.5 | Das Atom in wellenmechanischer Darstellung | 261 |
| | Aufgaben | 262 |
| 8.2 | Molekülspektren | 262 |
| 8.2.1 | Rotationsspektren | 263 |
| 8.2.2 | Molekülschwingungen | 265 |
| 8.2.3 | Rotationsschwingungsspektren | 268 |
| 8.2.4 | Elektronenübergänge, Bandenspektren | 269 |
| 8.2.5 | Raman-Streuung | 270 |
| | Aufgaben | 272 |
| 8.3 | Der Atomkern und seine Umwandlungen | 272 |
| 8.3.1 | Aufbau der Atomkerne | 272 |
| 8.3.2 | Natürliche Radioaktivität, Nebelkammer, Zählrohr | 273 |
| 8.3.3 | Der radioaktive Zerfall | 276 |

| | | |
|------------------------|---|-----|
| 8.3.4 | Paarbildung, Massendefekt der Kerne | 279 |
| 8.3.5 | Kernreaktionen und künstliche Radioaktivität | 280 |
| 8.3.6 | Kernspaltung, Transurane | 283 |
| 8.3.7 | Kernreaktor, Neutronen | 284 |
| 8.3.8 | Teilchenbeschleuniger | 286 |
| 8.3.9 | Elementarteilchen | 287 |
| | Aufgaben | 290 |
| 8.4 | Einiges zur Relativitätstheorie | 291 |
| 8.4.1 | Das Relativitätsprinzip | 291 |
| 8.4.2 | Raum und Zeit | 292 |
| 8.4.3 | Masse und Energie | 294 |
| 8.4.4 | Photon im homogenen Schwerfeld | 296 |
| 8.4.5 | Zur allgemeinen Relativitätstheorie | 297 |
| | Aufgaben | 299 |
| Anhang | | 301 |
| | Wichtige Konstanten der Physik | 301 |
| | Basisgrößen und -einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI: Système international d'unités) | 302 |
| | Ergänzende SI-Einheiten | 302 |
| | Abgeleitete SI-Einheiten, für die besondere Bezeichnungen eingeführt worden sind | 302 |
| | Periodisches System der Elemente | 303 |
| | Lösungen der Aufgaben | 304 |
| Sachverzeichnis | | 313 |