

# Inhalt

**Vorwort — V**

**Einleitung — 1**

## **Mechanik**

### **1      Raum und Zeit — 5**

- 1.1      Physikalische Größen und Einheiten — 5
  - 1.1.1      Länge als Beispiel — 5
  - 1.1.2      Einheitensysteme — 5
  - 1.1.3      Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems — 6
  - 1.1.4      Längenmessung — 10
  - 1.1.5      Zeitmessung — 12
  - 1.1.6      Winkelmaße — 14
- 1.2      Bewegungen im Raum — 15
  - 1.2.1      Geschwindigkeit — 15
  - 1.2.2      Beschleunigung — 18
  - 1.2.3      Kreisbewegung — 19
  - 1.2.4      Berechnung des Weges aus Geschwindigkeit und Beschleunigung — 21

### **2      Masse und Kraft — 23**

- 2.1      Die träge Masse — 23
- 2.2      Wirkung von Kräften — 24
  - 2.2.1      Newton'sche Axiome — 24
  - 2.2.2      Verschiedene Arten von Kräften — 25
    - 2.2.2.1      Gravitation — 26
    - 2.2.2.2      Trägheitskraft — 27
    - 2.2.2.3      Zentrifugal- und Zentripetalkraft — 28
  - 2.2.3      Statisches und dynamisches Gleichgewicht von Kräften — 28
  - 2.2.4      Schwerelosigkeit — 29
  - 2.2.5      Kraftmessung — 29
  - 2.2.6      Druck (Kraft auf eine Fläche) — 30
  - 2.2.7      Drehmoment — 30
    - 2.2.7.1      Trägheitsmoment — 31
    - 2.2.7.2      Starrer Körper — 32
    - 2.2.7.3      Schwerpunkt — 32
    - 2.2.7.4      Kräftepaar — 33
    - 2.2.7.5      Hebel — 33
    - 2.2.7.6      Die Balkenwaage — 34
    - 2.2.7.7      Stabiles, indifferentes und labiles Gleichgewicht; Standfestigkeit — 36

- 2.2.8 Impuls und Drehimpuls — **36**
- 2.2.9 Reibungskraft — **38**

**3 Arbeit, Energie, Leistung — 41**

- 3.1 Arbeit — **41**
- 3.2 Energieformen — **42**
- 3.3 Leistung, Wirkung — **45**

**4 Erhaltungssätze — 47**

- 4.1 Energieerhaltungssatz — **47**
- 4.2 Impulserhaltungssatz — **48**
- 4.3 Der Stoß als Beispiel für Energie- und Impulserhaltung — **49**
- 4.4 Drehimpulserhaltungssatz — **50**

**5 Mechanische Eigenschaften von Stoffen — 52**

- 5.1 Wechselwirkungen zwischen Atomen und Molekülen — **53**
  - 5.1.1 Bindungsarten — **53**
  - 5.1.2 Molekulares Bild der Aggregatzustände — **55**
- 5.2 Makroskopische mechanische Eigenschaften von Festkörpern — **60**
  - 5.2.1 Homogene Körper — **60**
  - 5.2.2 Verformung von festen Körpern unter dem Einfluss von Kräften — **60**
- 5.3 Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten — **63**
  - 5.3.1 Grenzflächen — **63**
  - 5.3.2 Hydrostatik — **67**
    - 5.3.2.1 Kapillarität — **67**
    - 5.3.2.2 Druck in Flüssigkeiten — **69**
  - 5.3.3 Hydrodynamik — **74**
    - 5.3.3.1 Die Kontinuitätsgleichung — **74**
    - 5.3.3.2 Reale Flüssigkeiten — **76**
- 5.4 Nanomaterie — **86**

**Mechanische Schwingungen und Wellen**

**6 Schwingungen — 95**

- 6.1 Pendel als mechanisches schwingungsfähiges System — **96**
- 6.2 Differentialgleichung der ungedämpften Schwingung — **97**
- 6.3 Gedämpfte Schwingungen — **99**
- 6.4 Erzwungene Schwingungen — **101**
- 6.5 Anharmonische Schwingungen — **103**
  - 6.5.1 Überlagerung von harmonischen Schwingungen — **103**
  - 6.5.2 Zerlegung anharmonischer Schwingungen in harmonische Teilschwingungen — **104**
  - 6.5.3 Schwebung — **105**

- 6.6 Gekoppelte Pendel — **106**
- 6.6.1 Zwei gekoppelte Pendel — **106**
- 6.6.2 Übergang von der Pendelkette zu Eigenschwingungen ausgedehnter Körper — **107**
- 7 Wellen Teil I: Mechanische und akustische Wellen — 110**
  - 7.1 Ausbreitung von Schwingungen in Wellenfeldern — **110**
  - 7.2 Beschreibung von Wellenfeldern — **113**
  - 7.3 Akustik — **114**
  - 7.4 Der Doppler-Effekt — **122**
  - 7.5 Gedämpfte Wellen — **124**
  - 7.6 Anharmonische Wellen: Schallwellen als Beispiel — **125**
  - 7.7 Überlagerung von Wellen; Interferenz — **129**
  - 7.8 Das Huygens'sche Prinzip — **130**
  - 7.9 Wellen an der Grenzfläche zwischen verschiedenen Medien — **131**
  - 7.10 Stehende Wellen — **134**
  - 7.11 Schallempfindungen: Akustik der Musik — **138**
  - 7.12 Stimme und Gehör des Menschen — **141**
  - 7.13 Ultraschall — **143**

## Wärmelehre

- 8 Wärme und Temperatur — 151**
  - 8.1 Einleitung — **151**
  - 8.2 Wärmeenergie/Wärmemenge — **151**
  - 8.3 Wärmekapazität — **152**
  - 8.4 Temperaturskalen — **153**
  - 8.5 Temperatur-Messgeräte — **154**
    - 8.5.1 Ausdehnungsthermometer — **154**
    - 8.5.2 Thermoelement — **156**
    - 8.5.3 Widerstandsthermometer — **156**
    - 8.5.4 Digitalthermometer — **157**
- 9 Ideale Gase — 158**
  - 9.1 Zustandsgrößen, Zustandsgleichung — **158**
  - 9.2 Zustandsänderungen — **158**
  - 9.3 Adiabatische Zustandsgleichungen — **160**
  - 9.4 Zustandsgleichung von Gasgemischen — **160**
- 10 Kinetische Gastheorie — 162**
  - 10.1 Gasdruck — **162**
  - 10.2 Kinetische Energie und Temperatur — **163**
  - 10.3 Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz — **163**

10.4	Geschwindigkeitsverteilung —	164
10.5	Volumenarbeit —	165
10.6	Wärmekapazität von Gasen —	166
<b>11</b>	<b>Reale Gase, Van der Waals'sche Zustandsgleichung —</b>	<b>168</b>
<b>12</b>	<b>Hauptsätze der Wärmelehre —</b>	<b>170</b>
12.1	Innere Energie —	170
12.2	Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre —	170
12.3	Reversible und irreversible Prozesse —	171
12.4	Entropie —	173
12.5	Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre —	174
12.6	Energiebilanz beim lebenden Organismus —	175
<b>13</b>	<b>Thermodynamische Eigenschaften von Stoffen —</b>	<b>177</b>
13.1	Thermische Ausdehnung —	177
13.2	Wärmeübergang, Wärmetransport —	178
13.3	Stoffgemische —	179
13.3.1	Gehaltsangaben von Lösungen —	179
13.3.2	Echte Lösung, kolloidales System, grobe Dispersion —	180
13.3.3	Henry-Dalton'sches Gesetz —	181
13.3.4	Hydratation, Solvatation —	182
13.3.5	Diffusion —	182
13.3.6	Osmose —	183
13.3.7	Phasenübergänge —	185
13.3.7.1	Umwandlungswärmen —	185
13.3.7.2	Lösungswärmen —	186
13.3.7.3	Reaktionswärmen —	187
13.3.7.4	Dampfdruck —	188
13.3.7.5	Dampfdruckreduzierung, Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktsreduzierung —	189
13.3.7.6	Koexistenz von Phasen, Phasengleichgewichte —	191

## **Elektrizitätslehre**

<b>14</b>	<b>Elektrische und magnetische Größen —</b>	<b>195</b>
14.1	Vorbemerkung —	195
14.2	Ladung —	195
14.2.1	Ladungsmenge —	195
14.2.2	Kraft zwischen elektrischen Ladungen —	197
14.3	Die elektrische Spannung —	197
14.3.1	Elektrische Arbeit und elektrisches Potential —	197
14.3.2	Spannungsquellen —	198

14.4	Der elektrische Strom —	<b>200</b>
14.5	Widerstand, Leitwert —	<b>201</b>
14.5.1	Leiter, Nichtleiter —	<b>201</b>
14.5.2	Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit —	<b>202</b>
14.5.3	Strom-Spannungs-Kennlinie von Leitern —	<b>203</b>
14.6	Netzwerke —	<b>204</b>
14.6.1	Schalbilder —	<b>204</b>
14.6.2	Innenwiderstand einer Spannungsquelle —	<b>205</b>
14.6.3	Kirchhoff'sche Gesetze des elektrischen Stroms —	<b>206</b>
14.7	Elektrostatisches Feld —	<b>208</b>
14.7.1	Kraftwirkung auf eine Ladung im Feld —	<b>208</b>
14.7.2	Arbeit und Energie im elektrischen Feld —	<b>209</b>
14.7.3	Kondensator und Kapazität —	<b>211</b>
14.7.4	Kräfte auf einen Dipol im Feld —	<b>212</b>
14.7.5	Materie im Feld —	<b>213</b>
14.7.6	Energieinhalt des elektrischen Feldes —	<b>216</b>
14.7.7	Piezo- und Pyroelektrizität —	<b>216</b>
14.8	Magnetfeld —	<b>217</b>
14.8.1	Feldstärke und magnetische Induktion —	<b>218</b>
14.8.2	Kräfte auf einen magnetischen Dipol —	<b>221</b>
14.8.3	Lorentzkraft —	<b>221</b>
14.8.4	Induktionsvorgänge —	<b>223</b>
14.8.5	Selbstinduktion —	<b>225</b>
14.8.6	Energieinhalt des magnetischen Feldes —	<b>225</b>
14.8.7	Lenz'sche Regel —	<b>226</b>
14.8.8	Magnetfelder im menschlichen Körper —	<b>226</b>
14.9	Zeitabhängige Spannungen und Ströme —	<b>228</b>
14.9.1	Ein- und Ausschaltvorgänge —	<b>228</b>
14.9.1.1	Einschalt- und Ausschaltvorgang beim Kondensator —	<b>228</b>
14.9.1.2	Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule —	<b>230</b>
14.9.2	Sinusförmige Wechselspannungen und Wechselströme —	<b>231</b>
14.9.3	Dreiphasen-Spannung, Drehstrom —	<b>233</b>
14.9.4	Nicht sinusförmige Wechselspannungen, Spannungsimpulse —	<b>233</b>
14.9.5	Wechselstromkreise —	<b>234</b>
14.9.5.1	Kapazitiver Widerstand —	<b>235</b>
14.9.5.2	Induktiver Widerstand —	<b>236</b>
14.9.5.3	Wechselstromkreise mit Ohm'schem, kapazitivem und induktivem Widerstand —	<b>236</b>
14.9.6	Resonanz-Schwingkreise —	<b>238</b>
14.9.7	Elektromagnetische Wellen —	<b>239</b>
14.9.7.1	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen —	<b>243</b>
14.9.7.2	Ausbreitungsrichtung elektromagnetischer Wellen —	<b>243</b>

- 14.9.7.3 Maxwell'sche Gleichungen — **243**
- 14.9.8 Leistung des elektrischen Stroms — **243**

**15 Mikroskopische elektrische Vorgänge — 247**

- 15.1 Biologische Potentiale — **247**
- 15.1.1 Entstehung von Spannungen an Grenzflächen — **247**
- 15.1.2 Summenpotentiale — **250**
- 15.2 Mechanismen der Stromleitung — **251**
- 15.2.1 Stromleitung im Vakuum — **252**
- 15.2.2 Stromleitung in Gasen — **253**
- 15.2.3 Stromleitung in Elektrolyten — **255**
- 15.2.4 Stromleitung in Festkörpern — **261**
- 15.3 Halbleiterelektronik — **265**
- 15.3.1 Halbleiterdiode — **265**
- 15.3.2 Transistor — **267**
- 15.3.3 Feldeffekt-Transistor — **268**
- 15.3.4 Digitalelektronik — **269**

**16 Elektrische Geräte — 273**

- 16.1 Messgeräte — **273**
- 16.1.1 Das Drehspul-Messwerk — **273**
- 16.1.2 Das Digital-Messgerät — **275**
- 16.1.3 Messung von Strom und Spannung — **276**
- 16.1.4 Oszilloskop (Oszillograf) — **279**
- 16.1.5 Analoge Ladungsmessung — **280**
- 16.1.6 Messung von Ohm'schen Widerständen — **282**
- 16.1.7 Rauschen — **283**
- 16.2 Technische elektrische Geräte — **283**
- 16.2.1 Dynamo-Maschine — **283**
- 16.2.2 Elektro-Motor — **284**
- 16.2.3 Transformator — **285**
- 16.2.4 Sender und Empfänger — **287**

**Optik**

**17 Optische Strahlung — 293**

- 17.1 Einleitung — **293**
- 17.2 Licht-Messgrößen — **295**
- 17.3 Strahlungsquellen — **297**
- 17.4 Bohr'sches Atommodell — **300**
- 17.5 Emission von Licht aus Atomen — **303**
- 17.6 Kohärenz, spontane und induzierte Emission — **306**
- 17.7 Das Emissionsspektrum der Atome — **308**

17.8	Absorption von Licht in Atomen und Molekülen —	310
17.9	Emission und Absorption glühender Stoffe —	312
17.10	Temperaturstrahlung und Temperaturgleichgewicht —	313
17.10.1	Thermische Emission und Absorption —	314
17.10.2	Strahlungsgesetze —	316
17.11	Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Lumineszenz —	319
17.12	LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) —	321
17.12.1	Funktionsweise und Eigenschaften —	321
17.12.2	Laser in der Medizin —	328
<b>18</b>	<b>Wellen Teil II: Wellenoptik —</b>	<b>333</b>
18.1	Interferenz von Wellen —	333
18.1.1	Interferenzfähigkeit —	333
18.1.2	Anwendung der Interferenz: die Interferometrie —	336
18.1.3	Holografie —	338
18.2	Beugung elektromagnetischer Wellen —	340
18.2.1	Beugung an Spalten —	340
18.2.2	Das Beugungsgitter —	343
18.2.3	Beugung an kreisförmigen Blenden (Beugungsunschärfe) —	345
18.2.4	Beugung von Röntgenstrahlen und energiereichen freien Elektronen —	347
18.3	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie —	349
18.3.1	Der Brechungsindex und das Brechungsgesetz —	349
18.3.2	Das Absorptionsgesetz —	351
18.3.3	Der Zusammenhang zwischen Absorption und Dispersion —	354
18.3.4	Dichroismus und Doppelbrechung —	355
18.3.5	Spannungsdoppelbrechung —	356
18.4	Spektralanalyse —	356
18.4.1	Lambert-Beer'sches Gesetz —	358
18.4.2	Optische Eigenschaften nanoskaliger Partikel —	360
18.5	Polarisation elektromagnetischer Wellen —	361
18.5.1	Polarisationszustand —	361
18.5.2	Erzeugung und Untersuchung von linear polarisiertem Licht —	363
18.5.3	Optische Aktivität und Faraday-Effekt —	367
18.6	Materiewellen —	367
<b>19</b>	<b>Geometrische Optik —</b>	<b>371</b>
19.1	Lichtausbreitung —	371
19.2	Optische Symbole, Strahlengänge und Bilder —	373
19.3	Reflexion und Brechung in der Geometrischen Optik —	374
19.3.1	Reflexion —	374
19.3.2	Abbildung durch Spiegel —	375
19.3.3	Brechung —	376
19.3.4	Intensitäten von gebrochenem und reflektiertem Strahl —	377

19.3.5	Zerlegung von Licht in seine Spektralfarben mithilfe des Prismas —	<b>378</b>
19.3.6	Totalreflexion —	<b>379</b>
19.3.7	Optoelektronik —	<b>382</b>
19.4	Abbildung mit Linsen —	<b>383</b>
19.4.1	Abbildung mittels brechender Flächen —	<b>383</b>
19.4.2	Die Abbildungsgleichung für eine brechende Fläche —	<b>385</b>
19.4.3	Spezialfälle der Abbildungsgleichung —	<b>386</b>
19.4.4	Die Abbildungsgleichung für eine Linse —	<b>387</b>
19.4.5	Klassifizierung von Linsen —	<b>388</b>
19.4.6	Die Abbildungsgleichung für ein System aus zwei Linsen —	<b>389</b>
19.4.7	Objektive —	<b>390</b>
19.4.8	Kardinalelemente von dicken Linsen und Linsensystemen —	<b>391</b>
19.4.9	Konstruktion von Strahlengängen —	<b>392</b>
19.4.10	Optische Vergrößerung —	<b>395</b>
19.4.11	Die Schärfentiefe —	<b>396</b>
19.4.12	Abbildungsfehler —	<b>397</b>
19.5	Das Auge und der visuelle physikalische Bildbearbeitungsapparat —	<b>399</b>
19.5.1	Optische Abbildung im Auge —	<b>404</b>
19.5.2	Fehlsichtigkeit —	<b>406</b>
19.5.3	Empfindlichkeit des Sehapparates —	<b>408</b>
19.5.4	Bildwahrnehmung —	<b>409</b>
19.5.5	Vergrößerung bei Betrachtung mit dem Auge —	<b>411</b>
19.5.6	Farbsehen —	<b>412</b>
<b>20</b>	<b>Einige abbildende und spektroskopische Instrumente —</b>	<b>419</b>
20.1	Glas —	<b>419</b>
20.2	Lupe —	<b>421</b>
20.2	Projektionsapparate —	<b>422</b>
20.3	Lichtmikroskop —	<b>423</b>
20.4	Elektronenmikroskop —	<b>430</b>
20.5	Raster-Sonden-Mikroskopie (SPM) —	<b>435</b>
20.6	Fernrohr —	<b>437</b>
20.6.1	Adaptive Optik —	<b>438</b>
20.7	Spektral-Photometer —	<b>439</b>
20.8	Strahlungsmessgeräte —	<b>441</b>
20.9	Kamera —	<b>444</b>
<b>21</b>	<b>Atomkerne, Ionisierende Strahlung —</b>	<b>448</b>
21.1	Atomkerne —	<b>448</b>
21.1.1	Elementarteilchen —	<b>448</b>
21.1.2	Aufbau der Atomkerne —	<b>449</b>
21.1.3	Kernmagnetische Resonanz, Magnetresonanztomografie (MRT) —	<b>452</b>
21.2	Radioaktivität —	<b>455</b>



- 21.2.1 Kernumwandlungen — **455**
- 21.2.2 Natürliche Radionuklide — **460**
- 21.2.3 Zerfallsgesetz — **463**
- 21.2.4 Radioaktives Gleichgewicht — **464**
- 21.2.5 Wechselwirkung energiereicher geladener Teilchen mit Materie — **466**
- 21.2.6 Wechselwirkung von Neutronen mit Materie — **467**
- 21.2.7 Strahlungsdetektoren — **468**
- 21.2.8 Medizinische Anwendung von Radionukliden, Bestrahlungstechniken — **472**
- 21.2.9 Kernspaltung und Kernfusion — **477**
- 21.2.10 Künstliche Kernumwandlung, Aktivierung — **479**
- 21.3 Röntgenstrahlen — **480**
- 21.3.1 Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung — **480**
- 21.3.2 Erzeugung ultraharter Röntgenstrahlung durch Teilchenbeschleuniger — **483**
- 21.3.3 Wechselwirkung von Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlung mit Materie — **484**
- 21.3.4 Röntgenbildaufnahmen — **487**
- 21.4 Dosimetrie — **490**
- 21.5 Bemerkungen zum Strahlenschutz — **492**

## **Regelung, Steuerung, Informationsübertragung**

- 22     Regelung und Steuerung — 497**
- 23     Computergestützte Informationsübertragung in der Medizin (Medizinische Informatik) — 500**

## **Aufgaben und Lösungen**

- 24     Aufgaben — 507**
  - 1.1 Relativitätstheorie — **507**
  - 1.2 Raumwinkel — **507**
  - 1.3 Beschleunigung, Bremsung — **507**
  - 2.1 Kraft — **507**
  - 2.2 Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung — **507**
  - 2.3 Druck — **507**
  - 2.4 Reibung — **508**
  - 3.1 Abmagerungskur — **508**
  - 3.2 Energie, Leistung — **508**
  - 3.3 Masse-Energie-Äquivalenz — **508**
  - 4.1 Impulserhaltung — **508**
  - 4.2 Drehimpulserhaltung — **508**
  - 5.1 Elastische Verformung — **508**
  - 5.2 Bruchfestigkeit — **509**
  - 5.3 Hagen-Poiseuille'sches Gesetz — **509**

5.4	Sedimentation —	<b>509</b>
5.5	Turbulente Strömung —	<b>509</b>
6.1	Pendel —	<b>509</b>
6.2	Eigenschwingung eines elastischen Festkörpers —	<b>509</b>
6.3	Gedämpfte Schwingungen —	<b>510</b>
6.4	Erzwungene Schwingungen —	<b>510</b>
6.5	Mittelwerte periodisch sich ändernder Größen —	<b>510</b>
7.1	Wellenlänge und Phase —	<b>511</b>
7.2	Schallausbreitung —	<b>511</b>
7.3	Überschallflugzeug —	<b>511</b>
7.4	Empfindlichkeitsbereich des Ohres —	<b>511</b>
7.5	Akkorde —	<b>512</b>
7.6	Frequenz einer gespannten Saite —	<b>512</b>
8.1	Wärmekapazität eines Kalorimeters —	<b>512</b>
8.2	Erwärmung eines Körpers —	<b>512</b>
8.3	Widerstandsthermometer —	<b>513</b>
9.1	Ausdehnung von Gasen —	<b>513</b>
9.2	Adiabatische Kompression —	<b>513</b>
9.3	Sauerstoffverbrauch des Menschen —	<b>513</b>
10.1	Innere Energie eines Gases —	<b>513</b>
10.2	Translationsenergie von Gasen —	<b>513</b>
10.3	Arbeit, Wärmemenge, innere Energie eines Gases —	<b>513</b>
12.1	Energieumwandlung —	<b>513</b>
12.2	Carnot'scher Kreisprozess —	<b>514</b>
12.3	Wärmepumpe —	<b>514</b>
13.1	Energieabgabe des menschlichen Körpers —	<b>514</b>
13.2	Hämolysen bei osmotischer Druckdifferenz —	<b>514</b>
13.3	Osmotischer Druck —	<b>514</b>
14.1	Vergleich von Coulomb- und Gravitationskraft —	<b>514</b>
14.2	Elektrischer Widerstand —	<b>515</b>
14.3	Kompensatorische Spannungsmessung —	<b>515</b>
14.4	Magnetfeld, Lorentz-Kraft —	<b>515</b>
14.5	Wechselstrom —	<b>516</b>
15.1	Elektrolyt —	<b>516</b>
15.2	Elektroschock —	<b>516</b>
15.3	Driftgeschwindigkeit und Beweglichkeit von Elektronen in Metallen —	<b>516</b>
16.1	Messung biologischer Spannungen —	<b>516</b>
16.2	Messbereichserweiterung von Ampere- und Voltmeter —	<b>517</b>
16.3	Überlegungen zur Aufnahme eines EKG —	<b>517</b>
16.4	EEG-Aufnahme —	<b>517</b>
16.5	Wheatstone'sche Brückenschaltung —	<b>517</b>
16.6	Spannungsversorgung von Röntgengeräten —	<b>517</b>
17.1	Lichtquellen —	<b>518</b>

17.2	Farben — <b>518</b>
17.3	Thermische Strahlung des menschlichen Körpers — <b>518</b>
17.4	Chemische Wirkung des Lichts — <b>518</b>
17.5	Arbeitsplatzbeleuchtung — <b>518</b>
18.1	Interferenzfarben — <b>519</b>
18.2	Brechung — <b>519</b>
18.3	Absorption — <b>519</b>
18.4	Streuung und Absorption von Licht — <b>519</b>
18.5	Polarimeter — <b>519</b>
18.6	Materiewellen und elektromagnetische Wellen — <b>520</b>
19.1	Doppler-Effekt beim Licht — <b>520</b>
19.2	Reflexion — <b>520</b>
19.3	Brechung — <b>521</b>
19.4	Linsengesetze — <b>521</b>
19.5	Brillen — <b>521</b>
19.6	Auge — <b>521</b>
19.7	Auflösungsvermögen des Auges — <b>521</b>
20.1	Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops — <b>522</b>
20.2	Zweistrahlphotometer — <b>522</b>
20.3	Wechseloptiken — <b>522</b>
21.1	Umwandlung von Masse in Strahlungsenergie — <b>522</b>
21.2	Kernbindungskräfte — <b>523</b>
21.3	Altersbestimmung durch Messung des Gehalts an radioaktivem Kohlenstoff — <b>523</b>
21.4	Bestimmung des Kaliumgehalts — <b>523</b>
21.5	Anzahl der Kernumwandlungen bei einem radioaktiven Präparat — <b>523</b>
21.6	Radioaktives Gleichgewicht — <b>523</b>
21.7	Radioaktive Markierung, Blutvolumenbestimmung — <b>523</b>
21.8	Energiegewinnung durch Fusion — <b>523</b>
21.9	Strahlendosis — <b>524</b>
21.10	Beschleunigung von Teilchen — <b>524</b>
<b>25</b>	<b>Lösungen — 525</b>

## Anhang

<b>A.1</b>	<b>Mathematische Beschreibung physikalischer Zusammenhänge — 551</b>
<b>A.2</b>	<b>Fehlerabschätzung — 553</b>
<b>A.3</b>	<b>Rechnen mit Vektoren — 563</b>

<b>A.4</b>	<b>Das Exponentialgesetz — 567</b>
<b>A.5</b>	<b>Weitere mathematische Beziehungen — 569</b>
<b>A.6</b>	<b>Einige Naturkonstanten — 575</b>
<b>A.7</b>	<b>Angelsächsisches Einheitensystem — 577</b>
<b>Register — 579</b>	