

*Heribert Stroppe*

# PHYSIK

für Studenten der Natur- und  
Technikwissenschaften

---

Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen  
mit 350 Bildern, 24 Tabellen, 221 durchgerechneten Beispielen  
und 133 Aufgaben mit Lösungen

11., verbesserte und erweiterte Auflage

Unter Mitarbeit von  
*Heinz Langer* und *Peter Streitenberger*



**Fachbuchverlag Leipzig**

im Carl Hanser Verlag

# Inhaltsverzeichnis

## Einführung

1	Was ist „Physik“? Wege physikalischer Erkenntnisgewinnung . . . . .	15
2	Physikalische Größen, Einheiten, Dimensionen, Gleichungen . . . . .	16
2.1	Größen, Einheiten und Dimensionen . . . . .	16
2.2	Physikalische Gleichungen . . . . .	18

## TEILCHEN

### *Mechanik der Punktmasse und des starren Körpers*

3	Kinematik der Punktmasse . . . . .	19
3.1	Raum, Zeit, Bezugssystem . . . . .	19
3.2	Die gleichförmige Bewegung . . . . .	21
3.3	Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung . . . . .	22
3.4	Freier Fall. Senkrechter Wurf . . . . .	25
3.5	Allgemeine Definition von Geschwindigkeit und Beschleunigung. Ungleichmäßig beschleunigte Bewegung . . . . .	27
3.6	Geschwindigkeit und Beschleunigung als Vektoren. Zusammengesetzte Bewegungen . . . . .	29
3.7	Die gleichförmige Kreisbewegung . . . . .	31
3.8	Die ungleichförmige Kreisbewegung . . . . .	34
3.9	Bewegung auf beliebig krummliniger Bahn . . . . .	36
4	Dynamik der Punktmasse . . . . .	38
4.1	Der Kraftbegriff in der Physik. Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften. Statisches Gleichgewicht . . . . .	38
4.2	Das Trägheitsgesetz (1. NEWTONSches Axiom) . . . . .	40
4.3	Das Grundgesetz der Dynamik (2. NEWTONSches Axiom) . . . . .	41
4.4	Träge und schwere Masse. Gewichtskraft. Radialkraft . . . . .	42
4.5	Kraftstoß. Impuls (Bewegungsgröße) . . . . .	44
4.6	Lösung der Bewegungsgleichung für konstante Kraft. Die Wurfbewegung . . . . .	45
4.7	Das Wechselwirkungsgesetz (3. NEWTONSches Axiom) . . . . .	48
4.8	Reibungskräfte . . . . .	49
5	Bewegte Bezugssysteme . . . . .	52
5.1	Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme. Trägheitskräfte . . . . .	52

5.2	Gleichförmig rotierende Bezugssysteme. Zentrifugalkraft, CORIOLIS-Kraft . . .	55
5.3	Inertialsysteme. Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Grundzüge der speziellen Relativitätstheorie . . . . .</b>	<b>58</b>
6.1	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die LORENTZ-Transformation . . . . .	58
6.2	Folgerungen aus der LORENTZ-Transformation . . . . .	62
6.3	Relativistische Bewegungsgleichung . . . . .	64
<b>7</b>	<b>Arbeit und Energie . . . . .</b>	<b>65</b>
7.1	Arbeit . . . . .	65
7.2	Leistung. Wirkung . . . . .	69
7.3	Der Energiebegriff. Potentielle und kinetische Energie . . . . .	69
7.4	Das Gesetz von der Erhaltung der Energie (Energiesatz) . . . . .	70
7.5	Äquivalenz von Masse und Energie . . . . .	72
<b>8</b>	<b>Gravitation . . . . .</b>	<b>73</b>
8.1	Die KEPLERSchen Gesetze der Planetenbewegung und das Gravitationsgesetz .	73
8.2	Arbeit gegen die Schwerkraft. Kosmische Geschwindigkeiten . . . . .	76
<b>9</b>	<b>Dynamik der Punktmassen-Systeme . . . . .</b>	<b>77</b>
9.1	Impulserhaltungssatz. Massenmittelpunkt . . . . .	77
9.2	Die Gesetze des Stoßes . . . . .	80
9.3	Raketenantrieb . . . . .	84
<b>10</b>	<b>Statik des starren Körpers . . . . .</b>	<b>85</b>
10.1	Freiheitsgrade des starren Körpers . . . . .	85
10.2	Kräfte am starren Körper. Drehmoment. Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	86
10.3	Kräftepaar . . . . .	89
10.4	Der Schwerpunkt . . . . .	90
10.5	Arten des Gleichgewichts . . . . .	92
<b>11</b>	<b>Dynamik des starren Körpers . . . . .</b>	<b>93</b>
11.1	Bewegung eines frei beweglichen Körpers bei Einwirkung einer Kraft . . . . .	93
11.2	Kinetische Energie der Drehbewegung. Massenträgheitsmoment . . . . .	93
11.3	Arbeit und Leistung bei der Drehbewegung. Grundgesetz der Dynamik . . . . .	96
11.4	Der Drehimpuls (Drall). Drehimpulserhaltungssatz . . . . .	97
11.5	Kreiselbewegungen. Freie Achsen . . . . .	99
11.6	Bewegung des symmetrischen Kreisels . . . . .	100

## KONTINUA

### *Mechanik der deformierbaren Medien*

<b>12</b>	<b>Die Zustandsformen der Stoffe . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>13</b>	<b>Der deformierbare feste Körper . . . . .</b>	<b>104</b>
13.1	Elastische Verformung. HOOKESches Gesetz . . . . .	104
13.2	Querkontraktion. Kompressibilität . . . . .	105
13.3	Elastisches Verhalten bei Scherbeanspruchung . . . . .	107
13.4	Der einachsige Spannungszustand . . . . .	107
13.5	Zusammenhang zwischen Schubmodul, Elastizitätsmodul und POISSONScher Querkontraktionszahl . . . . .	108
13.6	Plastische Verformung. Spannungs-Dehnungs-Diagramm . . . . .	109

<b>14</b>	<b>Ruhende Flüssigkeiten und Gase</b> . . . . .	111
14.1	Druck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck) . . . . .	111
14.2	Schweredruck. Auftrieb. Schwimmstabilität . . . . .	112
14.3	Druck in Gasen. Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Dichte . . . . .	114
14.4	Schweredruck in Gasen. Barometrische Höhenformel . . . . .	116
14.5	Erscheinungen an Grenzflächen. Kohäsion und Adhäsion . . . . .	117
14.6	Spezifische Oberflächenenergie, Oberflächenspannung . . . . .	118
14.7	Benetzung und Kapillarwirkung . . . . .	119
<b>15</b>	<b>Strömende Flüssigkeiten und Gase (Strömungsmechanik)</b> . . . . .	121
15.1	Das Strömungsfeld. Kennzeichnung und Einteilung von Strömungen . . . . .	121
15.2	Strömungen idealer Flüssigkeiten und Gase. Kontinuitätsgleichung . . . . .	123
15.3	Die BERNOULLISCHE Gleichung. Druckmessung . . . . .	125
15.4	Strömungen realer Flüssigkeiten und Gase. Laminare Strömung . . . . .	128
15.5	Gesetze von HAGEN-POISEUILLE und STOKES . . . . .	129
15.6	Umströmung durch reale Flüssigkeiten und Gase. REYNOLDS-Zahl . . . . .	131

## WÄRME

### *Thermodynamik und Gaskinetik*

<b>16</b>	<b>Verhalten der Körper bei Temperaturänderung</b> . . . . .	133
16.1	Die Temperatur und ihre Messung . . . . .	133
16.2	Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper . . . . .	135
16.3	Durch Änderung der Temperatur bewirkte Zustandsänderungen der Gase. Der absolute Nullpunkt . . . . .	137
16.4	Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases . . . . .	140
<b>17</b>	<b>Der I. Hauptsatz der Thermodynamik (Energiesatz)</b> . . . . .	142
17.1	Wärmemenge und Wärmekapazität . . . . .	142
17.2	Innere Energie eines Systems. Formulierung des I. Hauptsatzes . . . . .	143
17.3	Spezifische Wärmekapazität des idealen Gases. Kalorische Zustandsgleichung . . . . .	146
17.4	Anwendung des I. Hauptsatzes auf spezielle Zustandsänderungen des idealen Gases . . . . .	147
17.5	Zustandsänderungen des idealen Gases in offenen Systemen. Technische Arbeit. Enthalpie . . . . .	151
<b>18</b>	<b>Kinetische Gastheorie</b> . . . . .	153
18.1	Die Masse der Atome und Moleküle . . . . .	154
18.2	Druck und mittlere quadratische Geschwindigkeit der Gasmoleküle. Grundgleichung der kinetischen Gastheorie . . . . .	155
18.3	Die Geschwindigkeitsverteilung der Gasmoleküle . . . . .	157
18.4	Molekularenergie und Temperatur. Wärmekapazität der Körper . . . . .	160
18.5	Stoßzahl und mittlere freie Weglänge . . . . .	162
18.6	Gemische idealer Gase. Gesetz von DALTON . . . . .	163
<b>19</b>	<b>Der II. Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiesatz)</b> . . . . .	164
19.1	Der CARNOTSche Kreisprozeß. Wärmekraftmaschine, Kältemaschine und Wärmepumpe . . . . .	164
19.2	Thermodynamische Temperatur . . . . .	168
19.3	Reversible und irreversible Vorgänge. II. Hauptsatz . . . . .	168
19.4	Entropie . . . . .	171
19.5	Entropieänderung des idealen Gases. Irreversible Prozesse . . . . .	173

19.6	Entropie und Wahrscheinlichkeit . . . . .	176
19.7	III. Hauptsatz (Satz von der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunkts) . . . . .	178
<b>20</b>	<b>Reale Gase. Phasenumwandlungen . . . . .</b>	<b>179</b>
20.1	Die VAN-DER-WAALSsche Zustandsgleichung. Gasverflüssigung . . . . .	179
20.2	JOULE-THOMSON-Effekt. Erzeugung tiefer Temperaturen . . . . .	182
20.3	Gleichgewicht zwischen flüssiger und gasförmiger Phase. Sieden und Verdunsten . . . . .	184
20.4	Gleichgewicht zwischen fester und flüssiger Phase. Koexistenz dreier Phasen . . . . .	188
20.5	Lösungen. Siedepunktserhöhung, Gefrierpunktserniedrigung . . . . .	190
<b>21</b>	<b>Ausgleichsvorgänge . . . . .</b>	<b>192</b>
21.1	Wärmeleitung . . . . .	192
21.2	Wärmeübergang, Wärmedurchgang, Konvektion . . . . .	195
21.3	Diffusion . . . . .	196

## FELDER

### *Gravitation. Elektrizität und Magnetismus*

<b>22</b>	<b>Das Gravitationsfeld . . . . .</b>	<b>199</b>
22.1	Fernwirkung und Nahwirkung. Der Feldbegriff . . . . .	199
22.2	Gravitationsfeldstärke, Gravitationspotential . . . . .	201
22.3	Massen als Senken des Gravitationsfeldes . . . . .	204
<b>23</b>	<b>Das elektrostatische Feld . . . . .</b>	<b>205</b>
23.1	Die elektrische Ladung. Ladungsnachweis . . . . .	205
23.2	Ladungen als Quellen des elektrischen Feldes . . . . .	207
23.3	Kraftwirkungen des elektrischen Feldes. Elektrische Feldstärke . . . . .	208
23.4	Elektrostatisches Potential. Spannung . . . . .	210
23.5	Elektrische Ladungen auf Leitern. Influenz . . . . .	212
23.6	Elektrischer Fluß, elektrische Flußdichte . . . . .	214
23.7	Das elektrische Zentralfeld (Punktladung und Punktladungssystem) . . . . .	215
23.8	Kapazität. Kondensatoren . . . . .	216
<b>24</b>	<b>Das elektrische Feld in Isolatoren (Dielektrika) . . . . .</b>	<b>219</b>
24.1	Elektrische Polarisation der Dielektrika. Piezoelektrizität . . . . .	219
24.2	Dielektrizitätskonstante (Permittivität), elektrische Suszeptibilität . . . . .	220
24.3	Verhalten von $D$ und $E$ an der Grenzfläche zweier Medien . . . . .	222
24.4	Energieinhalt des elektrischen Feldes . . . . .	224
<b>25</b>	<b>Der Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>225</b>
25.1	Das stationäre elektrische Feld in einem Leiter . . . . .	225
25.2	Stromstärke, Spannung, Widerstand. OHMSches Gesetz . . . . .	225
25.3	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen. KIRCHHOFFsche Gesetze . . . . .	228
25.4	Arbeit und Leistung elektrischer Gleichströme . . . . .	231
<b>26</b>	<b>Elektrische Leitungsvorgänge in Festkörpern und Flüssigkeiten . . . . .</b>	<b>231</b>
26.1	Klassische Theorie der freien Elektronen in Metallen . . . . .	232
26.2	Thermoelektrische Effekte . . . . .	234
26.3	Elektrokinetische Effekte . . . . .	235
26.4	Elektrolytische Stromleitung. FARADAYSche Gesetze . . . . .	236
26.5	Elektrochemische Spannungsquellen . . . . .	237

<b>27</b>	<b>Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und in Gasen</b> . . . . .	239
27.1	Bewegung freier Ladungsträger im elektrischen Feld . . . . .	239
27.2	Ladungsträgerinjektion, Katodenstrahlen . . . . .	240
27.3	Gasentladungen . . . . .	241
27.4	Plasmaströme . . . . .	244
<b>28</b>	<b>Das magnetostatische Feld der Dipole und Gleichströme</b> . . . . .	244
28.1	Analogien und Unterschiede zum elektrostatischen Feld . . . . .	244
28.2	Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf magnetische Dipole. Magnetische Feldstärke . . . . .	246
28.3	Das Magnetfeld eines geraden Stromleiters. Durchflutungsgesetz . . . . .	247
28.4	Einfache Feldberechnungen . . . . .	249
28.5	Magnetische Flußdichte (magnetische Induktion) . . . . .	250
28.6	Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf Stromleiter . . . . .	251
28.7	Bewegung freier Ladungsträger im magnetischen Feld. LORENTZ-Kraft . . . . .	253
28.8	Galvano- und thermomagnetische Effekte. HALL-Effekt . . . . .	254
<b>29</b>	<b>Das magnetische Feld in Stoffen</b> . . . . .	255
29.1	Magnetische Polarisierung der Stoffe . . . . .	255
29.2	Magnetisierung der Ferromagnetika. Hysterese . . . . .	257
29.3	Der magnetische Kreis. Entmagnetisierung . . . . .	259
<b>30</b>	<b>Elektromagnetische Induktion</b> . . . . .	261
30.1	Das FARADAYSche Induktionsgesetz . . . . .	261
30.2	Selbstinduktion . . . . .	263
30.3	Energieinhalt des magnetischen Feldes . . . . .	264
30.4	Elektromagnetische Induktion in einem bewegten Leiter . . . . .	265
<b>31</b>	<b>Der Wechselstromkreis</b> . . . . .	267
31.1	Wechselspannung, Wechselstrom, Dreiphasenstrom . . . . .	267
31.2	Arbeit und Leistung elektrischer Wechselströme . . . . .	268
31.3	Wechselstromwiderstände. OHMSches Gesetz für Wechselstrom . . . . .	270
31.4	Der Transformator . . . . .	275
31.5	Anharmonische Wechselströme in der Elektronik . . . . .	276
31.6	Gleichrichter und Verstärker. Elektronische Bauelemente . . . . .	276
<b>32</b>	<b>Die Maxwell'schen Gleichungen</b> . . . . .	280
32.1	Wirbel des magnetischen Feldes. Verschiebungsstrom . . . . .	280
32.2	Wirbel des elektrischen Feldes. Wirbelströme . . . . .	281
32.3	Elektromagnetisches Feld. System der MAXWELLSchen Gleichungen . . . . .	282
32.4	Relativistische Elektrodynamik . . . . .	283

## WELLEN

### *Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen*

<b>33</b>	<b>Mechanische Schwingungen</b> . . . . .	286
33.1	Lineare Federschwingungen . . . . .	286
33.2	Energiebilanz des harmonischen Oszillators . . . . .	288
33.3	Drehschwingungen . . . . .	290
33.4	Pendelschwingungen . . . . .	291
33.5	Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .	293
33.6	Erzwungene Schwingungen . . . . .	296

<b>34</b>	<b>Elektrische Schwingungen</b> . . . . .	298
34.1	Der geschlossene Schwingkreis . . . . .	298
34.2	Strom- und Spannungsresonanz . . . . .	300
34.3	Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen . . . . .	303
<b>35</b>	<b>Überlagerung harmonischer Schwingungen</b> . . . . .	304
35.1	Überlagerung zweier Schwingungen längs gleicher Richtung . . . . .	304
35.2	Gekoppelte Schwingungen . . . . .	306
35.3	Überlagerung zweier Schwingungen längs aufeinander senkrechter Richtungen . . . . .	309
35.4	Überlagerung von harmonischen zu anharmonischen Schwingungen . . . . .	311
<b>36</b>	<b>Allgemeine Wellenlehre</b> . . . . .	314
36.1	Zusammenhang von Schwingungen und Wellen . . . . .	314
36.2	Die eindimensionale Wellengleichung und ihre allgemeine Lösung . . . . .	317
36.3	Transversal- und Longitudinalwellen . . . . .	318
36.4	Stehende Wellen. Eigenschwingungen . . . . .	320
36.5	Wellenausbreitung in ausgedehnten Medien . . . . .	323
<b>37</b>	<b>Schallwellen (Akustik)</b> . . . . .	325
37.1	Wellenausbreitung im Schallfeld. Phasengeschwindigkeit . . . . .	325
37.2	Schallfeldgrößen . . . . .	327
37.3	Schallquellen. Ton, Klang, Geräusch . . . . .	329
37.4	Schallempfänger und Gehör. Schallpegel und Lautstärke . . . . .	330
37.5	Stehende Schallwellen . . . . .	332
37.6	DOPPLER-Effekt . . . . .	333
<b>38</b>	<b>Elektromagnetische Wellen</b> . . . . .	334
38.1	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entlang von Leitungen . . . . .	334
38.2	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im freien Raum . . . . .	337
38.3	Erzeugung und Nachweis elektromagnetischer Wellen . . . . .	340
38.4	Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen (H. HERTZ, 1888) . . . . .	342
38.5	Das elektromagnetische Spektrum . . . . .	343
<b>39</b>	<b>Einfluß von Stoffen auf die Wellenausbreitung</b> . . . . .	345
39.1	Absorption und Streuung . . . . .	346
39.2	Phasengeschwindigkeit und Dispersion. Gruppengeschwindigkeit . . . . .	346
39.3	HUYGENSSches Prinzip . . . . .	350
39.4	Reflexion und Brechung (Refraktion). Totalreflexion . . . . .	351
39.5	Optische Dispersion. Prisma, Spektral- und Körperfarben . . . . .	354
<b>40</b>	<b>Strahlenoptik (Geometrische Optik)</b> . . . . .	356
40.1	Lichtstrahlen. FERMATSches Prinzip . . . . .	356
40.2	Reflexion und Brechung von Lichtstrahlen . . . . .	358
40.3	Abbildung durch Spiegel (ebener und gekrümmte Spiegel) . . . . .	360
40.4	Abbildung durch Linsen (dünne und dicke Linsen, Linsensysteme) . . . . .	364
40.5	Das Auge und der Sehvorgang . . . . .	369
40.6	Optische Geräte zur Sehwinkelvergrößerung (Lupe, Mikroskop, Fernrohr) . . . . .	370
40.7	Abbildungsfehler . . . . .	372
<b>41</b>	<b>Wellenoptik</b> . . . . .	373
41.1	Interferenz. Interferenzbedingungen . . . . .	373
41.2	Interferenzen gleicher Neigung und gleicher Dicke . . . . .	375
41.3	Beugung (Diffraktion). Das Beugungsphänomen . . . . .	378

41.4	FRAUNHOFERSche Beugung am Spalt und an der Lochblende . . . . .	379
41.5	Auflösungsvermögen optischer Geräte. Holographie . . . . .	382
41.6	FRAUNHOFERSche Beugung am Strichgitter . . . . .	384
41.7	Spektrometer . . . . .	386
41.8	Beugung von Röntgenstrahlen am Raumgitter der Kristalle . . . . .	387
41.9	Polarisation. Polarisation des Lichts durch Reflexion und Brechung . . . . .	391
41.10	Polarisation durch Doppelbrechung . . . . .	393
41.11	Interferenz des polarisierten Lichts . . . . .	395
41.12	Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichts . . . . .	398
41.13	Nichtlineare Optik . . . . .	399

## QUANTEN

### *Struktur und Eigenschaften der Materie*

<b>42</b>	<b>Die Gesetze der Strahlung . . . . .</b>	<b>401</b>
42.1	Das Wesen der Temperaturstrahlung (Wärmestrahlung) . . . . .	401
42.2	Strahlungsphysikalische Größen . . . . .	402
42.3	Emission und Absorption von Strahlung. KIRCHHOFFSches Strahlungsgesetz . . . . .	404
42.4	Das PLANCKSche Strahlungsgesetz . . . . .	406
42.5	Folgerungen aus dem PLANCKschen Strahlungsgesetz . . . . .	408
42.6	Lichttechnische Größen (Photometrie) . . . . .	410
42.7	Zusammenhang zwischen strahlungsphysikalischen und lichttechnischen Größen . . . . .	412
<b>43</b>	<b>Der Welle-Teilchen-Dualismus der Mikroobjekte . . . . .</b>	<b>413</b>
43.1	Die Teilchennatur des Lichts. Lichtquanten (Photonen) . . . . .	413
43.2	Der lichtelektrische Effekt (Photoeffekt) . . . . .	414
43.3	Der COMPTON-Effekt . . . . .	417
43.4	Rückstoß durch Quantenemission. MÖSSBAUER-Effekt . . . . .	418
43.5	Die Wellennatur der Teilchen . . . . .	420
43.6	Das HEISENBERGSche Unbestimmtheitsprinzip . . . . .	423
<b>44</b>	<b>Atombau und Spektren . . . . .</b>	<b>425</b>
44.1	Die Streuexperimente von LENARD und RUTHERFORD. Das RUTHERFORDSche Atommodell . . . . .	425
44.2	Das Spektrum des Wasserstoffatoms . . . . .	427
44.3	Das BOHRsche Atommodell . . . . .	429
44.4	Die Spektren der Alkaliatome. Bahndrehimpulsquantenzahl . . . . .	433
44.5	Richtungsquantelung des Bahndrehimpulses der Elektronen . . . . .	435
44.6	Das magnetische Bahnmoment der Elektronen. BOHRsches Magneton . . . . .	436
44.7	Elektronenspin und magnetisches Spinnmoment. Die Feinstruktur der Atomspektren . . . . .	438
44.8	Mehrelektronensysteme . . . . .	440
44.9	Aufspaltung der Spektrallinien im Magnetfeld (ZEEMAN-Effekt) . . . . .	441
44.10	Das PAULI-Prinzip und das Periodensystem der Elemente . . . . .	442
44.11	Die Röntgenspektren und ihre Deutung . . . . .	445
44.12	Absorption und Streuung von Röntgenstrahlen . . . . .	448
44.13	Induzierte Emission. Maser und Laser . . . . .	451
<b>45</b>	<b>Wellenmechanik . . . . .</b>	<b>454</b>
45.1	Die SCHRÖDINGER-Gleichung . . . . .	454
45.2	Elektron im Kastenpotential . . . . .	455
45.3	Das wellenmechanische Bild des Atoms . . . . .	457
45.4	Der Tunneleffekt . . . . .	459

<b>46</b>	<b>Elektrische und magnetische Eigenschaften von Festkörpern</b>	460
46.1	Elektrische Leitfähigkeit. Das Modell des Elektronengases	460
46.2	Bändermodell des Festkörpers. Metalle, Halbleiter, Isolatoren	461
46.3	Elektrische Ströme in Halbleitern. Eigenleitung, Störstellenleitung	465
46.4	Der pn-Übergang	468
46.5	Halbleiterdiode, Transistor	470
46.6	Magnetische Eigenschaften. Dia- und Paramagnetismus	471
46.7	Ferromagnetismus, Antiferro- und Ferrimagnetismus	473
46.8	Supraleitung	476
46.9	Supraflüssigkeit	478
<b>47</b>	<b>Atomkerne</b>	479
47.1	Masse, Ladung und Zusammensetzung der Kerne	479
47.2	Isotope	480
47.3	Isobare, Isotone, Nuklide, Isomere	481
47.4	Massendefekt und Bindungsenergie der Kerne	481
47.5	Stabilitätskriterien. Kernsystematik	482
47.6	Kernkräfte	485
47.7	Kernmodelle	486
<b>48</b>	<b>Die natürliche Radioaktivität</b>	487
48.1	Der $\alpha$ -Zerfall der schweren Kerne	487
48.2	Der $\beta$ -Zerfall. Gammastrahlung	489
48.3	Das Zerfallsgesetz. Spezifische Aktivität	491
48.4	Radioaktive Zerfallsreihen und radioaktives Gleichgewicht	492
48.5	Dosimetrie und biologische Wirkung ionisierender Strahlung	493
<b>49</b>	<b>Künstliche Kernumwandlungen</b>	495
49.1	Arten künstlicher Kernumwandlungen	495
49.2	Massen- und Energiebilanz von Kernreaktionen. Wirkungsquerschnitt	496
49.3	Kernspaltung. Gewinnung von Kernspaltungsenergie	498
49.4	Arten von Kernreaktoren	500
49.5	Kernfusion	501
<b>50</b>	<b>Elementarteilchen</b>	502
50.1	Entwicklung zum Teilchen-„Zoo“	502
50.2	Erhaltungssätze für Baryonenladung, Leptonenladung, Isospin, Strangeness und Hyperladung	503
50.3	Die elementaren Teilchen: Leptonen und Quarks	505
50.4	Zusammengesetzte Elementarteilchen. Hadronen	507
50.5	Die elementaren Kräfte (Wechselwirkungen). Feldquanten	508
50.6	Vereinheitlichte Theorie der elementaren Kräfte (Supersymmetrie, Theory of Everything)	510
50.7	Kosmologie	511
	<b>Bildquellenverzeichnis</b>	512
	<b>ANHANG: Fehlerrechnung (Meßabweichungen)</b>	513
	<b>Lösungen der Aufgaben</b>	524
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	529