

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>XXI</b>
<b>Kapitel 1 Einführung, Messungen, Abschätzungen</b>	<b>1</b>
1.1 Das Wesen der Wissenschaft .....	4
1.2 Modelle, Theorien und Gesetze .....	4
1.3 Messungen und Messfehler; signifikante Stellen .....	5
1.4 Einheiten, Standards und das SI-System .....	8
1.5 Umrechnungseinheiten .....	11
1.6 Größenordnung: Schnelle Abschätzung .....	12
1.7 Einheiten und Einheitenüberprüfung .....	16
Zusammenfassung .....	17
Verständnisfragen .....	17
Aufgaben .....	18
<b>Kapitel 2 Beschreibung von Bewegungen – Kinematik in einer Raumrichtung</b>	<b>23</b>
2.1 Bezugssystem und Weg .....	25
2.2 Durchschnittsgeschwindigkeit .....	27
2.3 Momentangeschwindigkeit .....	28
2.4 Beschleunigung .....	31
2.5 Bewegung bei konstanter Beschleunigung .....	35
2.6 Problemlösungen .....	38
2.7 Der freie Fall .....	42
2.8 Einsatz der Integralrechnung; Ungleichförmige Beschleunigung .....	49
Zusammenfassung .....	50
Verständnisfragen .....	51
Aufgaben .....	52
<b>Kapitel 3 Kinematik in zwei Raumrichtungen; Vektoren</b>	<b>61</b>
3.1 Vektoren und Skalare .....	63
3.2 Vektoraddition – Grafische Methoden .....	63
3.3 Subtraktion von Vektoren und Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar .....	65
3.4 Vektoraddition in Komponentenschreibweise .....	66
3.5 Einheitsvektoren .....	71
3.6 Bewegung in zwei und drei Raumrichtungen .....	72
3.7 Wurfbewegung .....	74
3.8 Lösung von Aufgaben mit Wurfbewegungen .....	77
3.9 Gleichförmige Kreisbewegung .....	84
3.10 Relativgeschwindigkeit .....	87
Zusammenfassung .....	90
Verständnisfragen .....	91
Aufgaben .....	92
<b>Kapitel 4 Dynamik: Die Newton'schen Axiome</b>	<b>103</b>
4.1 Kraft .....	105
4.2 Das erste Newton'sche Axiom .....	106

4.3	Masse .....	107
4.4	Das zweite Newton'sche Axiom .....	108
4.5	Das dritte Newton'sche Axiom .....	111
4.6	Gewicht – Die Gravitationskraft .....	115
4.7	Das Lösen von Aufgaben mit den Newton'schen Axiomen: Kräfteparallelogramme .....	118
4.8	Problemlösung – Allgemeine Herangehensweise .....	127
	Zusammenfassung .....	128
	Verständnisfragen .....	129
	Aufgaben .....	131

## **Kapitel 5 Weitere Anwendungen der Newton'schen Axiome 141**

5.1	Anwendungen der Newton'schen Axiome – Reibung .....	143
5.2	Dynamik der gleichförmigen Kreisbewegung .....	152
5.3	Erhöhte und nicht erhöhte Straßenkurven .....	157
5.4	Ungleichförmige Kreisbewegung .....	160
5.5	Geschwindigkeitsabhängige Kräfte; Endgeschwindigkeit .....	161
	Zusammenfassung .....	164
	Verständnisfragen .....	164
	Aufgaben .....	165

## **Kapitel 6 Gravitation und das Newton'sche Gravitationsgesetz 175**

6.1	Das Newton'sche Gravitationsgesetz .....	177
6.2	Vektorielle Form des Newton'schen Gravitationsgesetzes .....	180
6.3	Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche – Geophysikalische Anwendungen .....	181
6.4	Satelliten und „Schwerelosigkeit“ .....	184
6.5	Kepler'sche Gesetze und Newton'sches Gravitationsgesetz .....	188
6.6	Gravitationsfeld .....	193
6.7	Fundamentale Wechselwirkungen .....	194
6.8	Schwere Masse – Träge Masse – Äquivalenzprinzip .....	194
6.9	Gravitation als Raumkrümmung – Schwarze Löcher .....	195
	Zusammenfassung .....	196
	Verständnisfragen .....	197
	Aufgaben .....	198

## **Kapitel 7 Arbeit und Energie 205**

7.1	Durch eine konstante Kraft verrichtete Arbeit .....	207
7.2	Skalarprodukt zweier Vektoren .....	212
7.3	Durch eine veränderliche Kraft verrichtete Arbeit .....	213
7.4	Arbeit und Kinetische Energie .....	216
7.5	Kinetische Energie bei sehr hohen Geschwindigkeiten .....	222
	Zusammenfassung .....	223
	Verständnisfragen .....	223
	Aufgaben .....	224

## **Kapitel 8 Energieerhaltung 233**

8.1	Konservative und nichtkonservative Kräfte .....	235
8.2	Potenzielle Energie .....	237
8.3	Mechanische Energie und ihre Erhaltung .....	242
8.4	Anwendungen des Energieerhaltungssatzes der Mechanik .....	243
8.5	Der Energieerhaltungssatz .....	251
8.6	Energieerhaltung mit dissipativen Kräften – Problemlösungen .....	253

8.7	Potenzielle Energie und Fluchtgeschwindigkeit .....	255
8.8	Leistung .....	258
8.9	Potenzielle Energie – Stabiles und labiles Gleichgewicht .....	261
	Zusammenfassung .....	263
	Verständnisfragen .....	263
	Aufgaben .....	265

## **Kapitel 9 Impuls und Stöße 275**

9.1	Impuls und seine Beziehung zur Kraft .....	277
9.2	Impulserhaltung .....	279
9.3	Stöße und Kraftstoß .....	283
9.4	Energie- und Impulserhaltung bei Stößen .....	286
9.5	Elastische Stöße in einer Raumrichtung .....	287
9.6	Inelastische Stöße .....	290
9.7	Stöße in zwei oder drei Raumrichtungen .....	292
9.8	Massenmittelpunkt .....	294
9.9	Massenmittelpunkt und Translationsbewegung .....	300
9.10	Systeme mit veränderlicher Masse; Raketenantrieb .....	303
	Zusammenfassung .....	306
	Verständnisfragen .....	306
	Aufgaben .....	308

## **Kapitel 10 Drehbewegung um eine feste Achse 321**

10.1	Winkelgrößen .....	323
10.2	Bewegungsgleichungen für gleichförmig beschleunigte Drehbewegungen .....	327
10.3	Rollbewegung (ohne Gleiten) .....	328
10.4	Vektorielle Beschaffenheit von Winkelgrößen .....	331
10.5	Drehmoment .....	331
10.6	Drehdynamik; Drehmoment und Trägheitsmoment .....	334
10.7	Problemlösungen für drehdynamische Aufgabenstellungen .....	336
10.8	Bestimmung von Trägheitsmomenten .....	341
10.9	Drehimpuls und Drehimpulserhaltung .....	343
10.10	Kinetische Energie der Drehbewegung .....	348
10.11	Drehbewegung plus Translationsbewegung – Rollbewegung .....	350
10.12	Warum wird eine rollende Kugel langsamer? .....	359
	Zusammenfassung .....	360
	Verständnisfragen .....	361
	Aufgaben .....	362

## **Kapitel 11 Allgemeine Drehbewegung 375**

11.1	Vektorprodukt (Kreuzprodukt) .....	377
11.2	Der Drehmomentvektor .....	378
11.3	Drehimpuls eines Massenpunktes .....	380
11.4	Drehimpuls und Drehmoment eines Systems; Allgemeine Bewegung .....	381
11.5	Drehimpuls und Drehmoment eines starren Körpers .....	383
11.6	Dynamisches Ungleichgewicht .....	386
11.7	Drehimpulserhaltung .....	387
11.8	Der Kreisel .....	390
11.9	Rotierende Bezugssysteme; Trägheitskräfte .....	391
11.10	Die Corioliskraft .....	392
	Zusammenfassung .....	395

Verständnisfragen .....	396
Aufgaben .....	397
<b>Kapitel 12 Statisches Gleichgewicht; Elastizität und Bruch</b>	<b>405</b>
12.1 Statik – Untersuchung von Kräften im Gleichgewicht .....	407
12.2 Gleichgewichtsbedingungen .....	407
12.3 Aufgabenstellungen in der Statik – Lösungen .....	410
12.4 Stabilität und Gleichgewichtslage .....	417
12.5 Elastizität und Elastizitätsmodule – Spannung und Dehnung .....	418
12.6 Bruch .....	422
12.7 Fachwerke und Brücken .....	426
12.8 Bögen und Kuppeln .....	430
Zusammenfassung .....	433
Verständnisfragen .....	433
Aufgaben .....	434
<b>Kapitel 13 Fluide: Gase und Flüssigkeiten</b>	<b>449</b>
13.1 Dichte und relative Dichte .....	451
13.2 Druck in Fluiden .....	452
13.3 Atmosphärendruck und Manometerdruck .....	456
13.4 Pascal'sches Prinzip .....	457
13.5 Messgeräte für die Druckmessung .....	458
13.6 Auftrieb und Archimedisches Prinzip .....	460
13.7 Fluide in Bewegung – Massenstrom und Kontinuitätsgleichung .....	464
13.8 Bernoulli'sche Gleichung .....	467
13.9 Anwendungen des Bernoulli'schen Gesetzes – Von Torricelli zu Segelbooten, Tragflächen und dem Blutkreislauf .....	469
13.10 Viskosität .....	472
13.11 Strömung in Rohren – Poiseuille'sche Gleichung .....	473
13.12 Oberflächenspannung und Kapillarität .....	474
13.13 Pumpen und das Herz .....	476
Zusammenfassung .....	477
Verständnisfragen .....	478
Aufgaben .....	480
<b>Kapitel 14 Schwingungen</b>	<b>489</b>
14.1 Schwingungen einer Feder .....	491
14.2 Harmonische Schwingung .....	493
14.3 Energie in einem harmonischen Oszillator .....	499
14.4 Zusammenhang zwischen harmonischer Schwingung und gleichförmiger Kreisbewegung .....	501
14.5 Das Fadenpendel .....	502
14.6 Das physikalische Pendel und das Torsionspendel .....	504
14.7 Gedämpfte harmonische Schwingung .....	505
14.8 Erzwungene Schwingungen und Resonanz .....	509
Zusammenfassung .....	512
Verständnisfragen .....	512
Aufgaben .....	513
<b>Kapitel 15 Wellen und Wellenausbreitung</b>	<b>523</b>
15.1 Eigenschaften von Wellen .....	526
15.2 Wellenarten .....	527

15.3	Energietransport in Wellen .....	532
15.4	Mathematische Beschreibung der Wellenausbreitung .....	534
15.5	Die Wellengleichung .....	537
15.6	Das Superpositionsprinzip .....	539
15.7	Reflexion und Transmission .....	541
15.8	Interferenz .....	542
15.9	Stehende Wellen; Resonanz .....	544
15.10	Brechung .....	548
15.11	Beugung .....	549
	Zusammenfassung .....	550
	Verständnisfragen .....	551
	Aufgaben .....	552

## **Kapitel 16    Schall** **559**

16.1	Schalleigenschaften .....	561
16.2	Mathematische Darstellung longitudinaler Wellen .....	563
16.3	Intensität von Schall; Dezibel .....	564
16.4	Schallquellen: Schwingende Saiten und Luftsäulen .....	568
16.5	Klangqualität und Geräusche .....	575
16.6	Interferenz von Schallwellen; Schwebungen .....	575
16.7	Doppler-Effekt .....	578
16.8	Mach-Wellen und Überschallknall .....	582
16.9	Anwendungen: Sonar, Ultraschall und Ultraschall-Abbildung .....	584
	Zusammenfassung .....	585
	Verständnisfragen .....	586
	Aufgaben .....	587

## **Kapitel 17    Temperatur, Wärmeausdehnung und ideales Gasgesetz** **597**

17.1	Die Atomtheorie der Materie .....	599
17.2	Temperatur und Thermometer .....	601
17.3	Thermisches Gleichgewicht und der nullte Hauptsatz der Wärmelehre .....	603
17.4	Wärmeausdehnung .....	604
17.5	Mechanische Spannungen aufgrund der Wärmeausdehnung .....	609
17.6	Die Gasgesetze und die absolute Temperatur .....	609
17.7	Das ideale Gasgesetz .....	611
17.8	Problemlösung mit dem idealen Gasgesetz .....	612
17.9	Ideales Gasgesetz und Avogadro-Konstante .....	614
17.10	Temperaturskala des idealen Gases – Ein Standard .....	615
	Zusammenfassung .....	616
	Verständnisfragen .....	617
	Aufgaben .....	618

## **Kapitel 18    Kinetische Gastheorie** **625**

18.1	Das ideale Gasgesetz und die molekulare Interpretation der Temperatur .....	627
18.2	Molekulare Geschwindigkeitsverteilung .....	631
18.3	Reale Gase und Phasenänderungen .....	634
18.4	Dampfdruck und Luftfeuchte .....	636
18.5	Van der Waals'sche Zustandsgleichung .....	639
18.6	Mittlere freie Weglänge .....	640
18.7	Diffusion .....	642
	Zusammenfassung .....	644

Verständnisfragen .....	644
Aufgaben .....	645
<b>Kapitel 19 Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>651</b>
19.1 Was genau ist Wärme?.....	653
19.2 Innere Energie.....	655
19.3 Spezifische Wärmekapazität .....	656
19.4 Wärmemessung – Problemlösungen.....	657
19.5 Latente Wärme .....	659
19.6 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik .....	663
19.7 Anwendungen des ersten Hauptsatzes; Arbeitsberechnung .....	665
19.8 Wärmekapazität für Gase und die Gleichverteilung der Energie .....	669
19.9 Adiabatische Expansion eines Gases .....	673
19.10 Wärmetransport: Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung.....	675
Zusammenfassung.....	680
Verständnisfragen .....	681
Aufgaben .....	683
<b>Kapitel 20 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>693</b>
20.1 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik – Einführung .....	695
20.2 Wärmekraftmaschinen .....	696
20.3 Reversible und irreversible Prozesse; der Carnot-Prozess .....	699
20.4 Kältemaschinen, Klimaanlage und Wärmepumpen .....	705
20.5 Entropie .....	707
20.6 Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....	709
20.7 Aus Ordnung wird Unordnung.....	714
20.8 Energieverfügbarkeit; Wärmetod .....	715
20.9 Statistische Interpretation der Entropie und des zweiten Hauptsatzes .....	716
20.10 Thermodynamische Temperaturskala; absoluter Nullpunkt und der dritte Hauptsatz der Thermodynamik .....	718
Zusammenfassung.....	720
Verständnisfragen .....	720
Aufgaben .....	722
<b>Kapitel 21 Elektrische Ladung und elektrisches Feld</b>	<b>729</b>
21.1 Statische Elektrizität; elektrische Ladung und ihre Erhaltung.....	731
21.2 Elektrische Ladung im Atom .....	732
21.3 Isolatoren und metallische Leiter .....	733
21.4 Influenz; das Elektrometer .....	733
21.5 Das Coulomb'sche Gesetz .....	734
21.6 Das elektrische Feld .....	740
21.7 Berechnungen des elektrischen Feldes kontinuierlicher Ladungsverteilungen.....	744
21.8 Feldlinien .....	748
21.9 Elektrische Felder und metallische Leiter .....	750
21.10 Bewegung einer Punktladung in einem elektrischen Feld .....	751
21.11 Elektrische Dipole.....	753
Zusammenfassung.....	755
Verständnisfragen .....	756
Aufgaben .....	757

<b>Kapitel 22</b>	<b>Das Gauss'sche Gesetz</b>	<b>767</b>
22.1	Der elektrische Fluss .....	769
22.2	Das Gauß'sche Gesetz .....	772
22.3	Anwendungen des Gauß'schen Gesetzes .....	775
22.4	Experimentelle Grundlagen des Gauß'schen und des Coulomb'schen Gesetzes .....	780
	Zusammenfassung .....	781
	Verständnisfragen .....	782
	Aufgaben .....	783
<b>Kapitel 23</b>	<b>Das elektrische Potenzial</b>	<b>789</b>
23.1	Elektrisches Potenzial und Potenzialdifferenz .....	791
23.2	Beziehung zwischen elektrischem Potenzial und elektrischem Feld .....	795
23.3	Das elektrische Potenzial einer Punktladung .....	797
23.4	Das Potenzial beliebiger Ladungsverteilungen .....	800
23.5	Äquipotenzialflächen .....	801
23.6	Elektrische Dipole .....	802
23.7	Bestimmung von E aus $\phi$ .....	804
23.8	Die elektrostatische potenzielle Energie und das Elektronenvolt .....	805
23.9	Die Kathodenstrahlröhre: Fernseher, Computerbildschirm und Oszilloskop .....	807
	Zusammenfassung .....	809
	Verständnisfragen .....	810
	Aufgaben .....	811
<b>Kapitel 24</b>	<b>Kapazität, Dielektrika und elektrische Energiespeicher</b>	<b>819</b>
24.1	Kondensatoren .....	821
24.2	Bestimmung der Kapazität .....	822
24.3	Kondensatoren in Reihen- und Parallelschaltungen .....	825
24.4	Speicherung elektrischer Energie .....	829
24.5	Dielektrika .....	830
24.6	Molekulare Beschreibung von Dielektrika .....	833
	Zusammenfassung .....	836
	Verständnisfragen .....	837
	Aufgaben .....	838
<b>Kapitel 25</b>	<b>Elektrische Ströme und der elektrische Widerstand</b>	<b>847</b>
25.1	Die elektrische Batterie .....	849
25.2	Der elektrische Strom .....	851
25.3	Widerstände und das Ohm'sche Gesetz .....	852
25.4	Der spezifische elektrische Widerstand .....	855
25.5	Die elektrische Leistung .....	858
25.6	Die elektrische Leistung in Haushaltstromkreisen .....	860
25.7	Wechselstrom .....	862
25.8	Mikroskopische Beschreibung des elektrischen Stroms: Stromdichte und Driftgeschwindigkeit .....	864
25.9	Supraleitung .....	867
25.10	Gefährdungen durch Elektrizität; Kriechströme .....	868
	Zusammenfassung .....	871
	Verständnisfragen .....	872
	Aufgaben .....	873

<b>Kapitel 26 Gleichstromkreise</b>	<b>879</b>
26.1 Quellenspannung und Klemmenspannung .....	881
26.2 Widerstände in Reihen- und Parallelschaltung .....	883
26.3 Die Kirchhoff'schen Regeln .....	889
26.4 Schaltkreise mit Widerstand und Kondensator (RC-Schaltkreise) .....	895
26.5 Gleichstrom-Amperemeter und Voltmeter .....	900
26.6 Wandler und Thermoelemente .....	903
Zusammenfassung .....	905
Verständnisfragen .....	905
Aufgaben .....	907
<b>Kapitel 27 Magnetismus</b>	<b>917</b>
27.1 Magnete und Magnetfelder .....	919
27.2 Elektrische Ströme erzeugen Magnetfelder .....	921
27.3 Die Kraft auf einen elektrischen Strom im Magnetfeld; Definition von B .....	922
27.4 Die Kraft auf eine bewegte elektrische Ladung in einem Magnetfeld: Lorentz-Kraft .....	925
27.5 Das auf eine Leiterschleife wirkende Drehmoment und das magnetische Dipolmoment .....	929
27.6 Anwendungen: Galvanometer, Motoren und Lautsprecher .....	931
27.7 Das Elektron: Entdeckung und Eigenschaften .....	933
27.8 Der Hall-Effekt .....	935
27.9 Massenspektrometer .....	937
Zusammenfassung .....	938
Verständnisfragen .....	938
Aufgaben .....	940
<b>Kapitel 28 Erzeugung von Magnetfeldern</b>	<b>949</b>
28.1 Das Magnetfeld eines geraden Leiters .....	951
28.2 Die Kraft zwischen zwei parallelen Drähten .....	952
28.3 Messvorschriften für das Ampere und das Coulomb .....	954
28.4 Das Ampère'sche Gesetz .....	954
28.5 Das Magnetfeld einer Spule und eines Toroids .....	959
28.6 Das Biot-Savart-Gesetz .....	962
28.7 Magnetische Materialien – Ferromagnetismus .....	966
28.8 Elektromagneten und Spulen .....	967
28.9 Magnetfelder in magnetischen Materialien; Hysterese .....	968
28.10 Paramagnetismus und Diamagnetismus .....	970
Zusammenfassung .....	971
Verständnisfragen .....	972
Aufgaben .....	973
<b>Kapitel 29 Elektromagnetische Induktion und das Faraday'sche Gesetz</b>	<b>981</b>
29.1 Die Induktionsspannung .....	983
29.2 Das Faraday'sche Induktionsgesetz und die Lenz'sche Regel .....	984
29.3 Induktion einer Spannung in einem bewegten Leiter .....	988
29.4 Elektrische Generatoren .....	990
29.5 Gegenspannung und Gegendrehmoment; Wirbelströme .....	992
29.6 Transformatoren und Stromübertragung .....	995
29.7 Ein sich ändernder magnetischer Fluss erzeugt ein Magnetfeld .....	998
29.8 Anwendungen des Induktionsgesetzes: Tonsysteme, Datenspeicher und Seismografen .....	1000
Zusammenfassung .....	1002

Verständnisfragen .....	1002
Aufgaben .....	1004
<b>Kapitel 30 Induktivität und elektromagnetische Schwingungen</b>	<b>1011</b>
30.1 Gegeninduktivität .....	1013
30.2 Selbstinduktivität .....	1015
30.3 Energiespeicherung im Magnetfeld .....	1018
30.4 LR-Stromkreise .....	1019
30.5 LC-Stromkreise und elektromagnetische Oszillationen .....	1022
30.6 LC-Stromkreis mit Widerstand (LRC-Stromkreis) .....	1024
Zusammenfassung .....	1026
Verständnisfragen .....	1026
Aufgaben .....	1027
<b>Kapitel 31 Wechselstromkreise</b>	<b>1033</b>
31.1 Einleitung: Wechselstromkreise .....	1035
31.2 Widerstand im Wechselstromkreis .....	1035
31.3 Induktionsspule im Wechselstromkreis .....	1036
31.4 Kondensator im Wechselstromkreis .....	1038
31.5 LRC-Wechselstromkreise in Reihenschaltung .....	1040
31.6 Resonanz im Wechselstromkreis .....	1044
31.7 Impedanzanpassung .....	1045
31.8 Drehstrom .....	1046
Zusammenfassung .....	1048
Verständnisfragen .....	1049
Aufgaben .....	1049
<b>Kapitel 32 Die Maxwell'schen Gleichungen und elektromagnetische Wellen</b>	<b>1055</b>
32.1 Ein sich änderndes elektrisches Feld erzeugt ein Magnetfeld. Das Ampère'sche Gesetz und der Verschiebungsstrom .....	1057
32.2 Das Gauß'sche Gesetz für den Magnetismus .....	1061
32.3 Die Maxwell'schen Gleichungen .....	1062
32.4 Erzeugung elektromagnetischer Wellen .....	1062
32.5 Elektromagnetische Wellen, Ableitung ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit aus den Maxwell'schen Gleichungen .....	1065
32.6 Licht als elektromagnetische Welle und das elektromagnetische Spektrum .....	1068
32.7 Die Energie in elektromagnetischen Wellen und der Poynting-Vektor .....	1071
32.8 Strahlungsdruck .....	1073
32.9 Radio und Fernsehen .....	1075
Zusammenfassung .....	1078
Verständnisfragen .....	1079
Aufgaben .....	1080
<b>Kapitel 33 Reflexion und Brechung</b>	<b>1085</b>
33.1 Strahlenoptik .....	1087
33.2 Lichtgeschwindigkeit und Brechungsindex .....	1088
33.3 Reflexion; Abbildung am ebenen Spiegel .....	1089
33.4 Abbildung an sphärischen Spiegeln .....	1093
33.5 Brechung: Das Snellius'sche Gesetz .....	1101
33.6 Sichtbares Spektrum und Dispersion .....	1103
33.7 Totalreflexion und Faseroptik .....	1104

33.8 Brechung an einer sphärischen Oberfläche .....	1107
Zusammenfassung .....	1110
Verständnisfragen .....	1110
Aufgaben .....	1112

**Kapitel 34 Linsen und optische Instrumente 1119**

34.1 Dünne Linsen, Aufbau des Strahlenganges .....	1121
34.2 Die Linsengleichung .....	1125
34.3 Linsensysteme .....	1129
34.4 Linsenmachergleichung .....	1131
34.5 Kameras .....	1134
34.6 Das menschliche Auge; Korrekturlinsen .....	1137
34.7 Vergrößerungsgläser .....	1140
34.8 Fernrohre .....	1142
34.9 Das Mikroskop .....	1145
34.10 Abbildungsfehler von Linsen und Spiegeln .....	1147
Zusammenfassung .....	1149
Verständnisfragen .....	1150
Aufgaben .....	1151

**Kapitel 35 Die Wellennatur des Lichts; Interferenz 1159**

35.1 Huygens-Prinzip und Beugung .....	1161
35.2 Huygens-Prinzip und Brechungsgesetz .....	1162
35.3 Interferenz – Das Young'sche Doppelspaltexperiment .....	1164
35.4 Kohärenz .....	1168
35.5 Die Intensität im Interferenzmuster des Doppelspalts .....	1169
35.6 Interferenz in dünnen Schichten .....	1173
35.7 Das Michelson-Interferometer .....	1177
35.8 Die Lichtstärke .....	1178
Zusammenfassung .....	1179
Verständnisfragen .....	1180
Aufgaben .....	1180

**Kapitel 36 Beugung und Polarisierung 1185**

36.1 Beugung am Einfachspalt .....	1188
36.2 Intensität im Beugungsmuster des Einfachspalts .....	1190
36.3 Beugung am Doppelspalt .....	1193
36.4 Beschränkung der Auflösung; kreisförmige Öffnungen .....	1195
36.5 Auflösung von Teleskopen und Mikroskopen; der $\lambda$ -Grenzfall .....	1197
36.6 Auflösungsvermögen des menschlichen Auges und sinnvolle Vergrößerung .....	1199
36.7 Beugungsgitter .....	1199
36.8 Spektrometer und Spektroskopie .....	1201
36.9 Linienbreite und Auflösungsvermögen eines Beugungsgitters .....	1203
36.10 Röntgenstrahlen und Röntgenbeugung .....	1205
36.11 Polarisierung .....	1207
36.12 Die Streuung des Lichts an der Atmosphäre .....	1211
Zusammenfassung .....	1212
Verständnisfragen .....	1213
Aufgaben .....	1214

<b>Kapitel 37</b>	<b>Spezielle Relativitätstheorie</b>	<b>1221</b>
37.1	Galilei-Newton'sches Relativitätsprinzip .....	1223
37.2	Das Michelson-Morley-Experiment .....	1226
37.3	Die Postulate der speziellen Relativitätstheorie .....	1229
37.4	Gleichzeitigkeit .....	1231
37.5	Zeitdilatation und das Zwillingsparadoxon .....	1233
37.6	Längenkontraktion .....	1237
37.7	Die vierdimensionale Raumzeit .....	1240
37.8	Galilei- und Lorentz-Transformationen .....	1240
37.9	Relativistischer Impuls und relativistische Masse .....	1245
37.10	Grenzgeschwindigkeit .....	1247
37.11	Energie und Masse; $E = mc^2$ .....	1248
37.12	Doppler-Verschiebung des Lichts .....	1252
37.13	Die Auswirkungen der speziellen Relativitätstheorie .....	1253
	Zusammenfassung .....	1254
	Verständnisfragen .....	1255
	Aufgaben .....	1256

<b>Kapitel 38</b>	<b>Frühe Quantentheorie und Atommodelle</b>	<b>1263</b>
38.1	Die Planck'sche Quantenhypothese .....	1265
38.2	Photonentheorie des Lichts und der photoelektrische Effekt .....	1268
38.3	Photonen und der Compton-Effekt .....	1272
38.4	Photonenwechselwirkungen; Paarerzeugung .....	1274
38.5	Welle-Teilchen-Dualismus; das Komplementaritätsprinzip .....	1276
38.6	Die Wellennatur der Materie .....	1276
38.7	Elektronenmikroskope .....	1279
38.8	Frühe Atommodelle .....	1280
38.9	Atomspektren: Schlüssel zur Struktur des Atoms .....	1282
38.10	Das Bohr'sche Atommodell .....	1284
38.11	Die Anwendung der de Brogli'schen Hypothese auf Atome .....	1291
	Zusammenfassung .....	1292
	Verständnisfragen .....	1293
	Aufgaben .....	1295

<b>Kapitel 39</b>	<b>Quantenmechanik</b>	<b>1301</b>
39.1	Die Quantenmechanik: Eine neue Theorie .....	1304
39.2	Die Wellenfunktion und ihre Interpretation; das Doppelspaltexperiment .....	1304
39.3	Die Heisenberg'sche Unschärferelation .....	1306
39.4	Philosophische Konsequenzen; Wahrscheinlichkeit vs. Determinismus .....	1310
39.5	Die Schrödinger-Gleichung in einer Dimension – zeitunabhängige Form .....	1312
39.6	Die zeitabhängige Schrödinger-Gleichung .....	1314
39.7	Freie Teilchen; Ebene Wellen und Wellenpakete .....	1316
39.8	Teilchen in einem unendlich tiefen Potenzialtopf (einem festen Kasten) .....	1317
39.9	Endlicher Potenzialtopf .....	1321
39.10	Tunneln durch eine Potenzialbarriere .....	1323
	Zusammenfassung .....	1327
	Verständnisfragen .....	1327
	Aufgaben .....	1328

<b>Kapitel 40</b>	<b>Quantenmechanik von Atomen</b>	<b>1333</b>
40.1	Quantenmechanische Sicht auf Atome.....	1335
40.2	Das Wasserstoffatom: Schrödingergleichung und Quantenzahlen.....	1336
40.3	Die Wellenfunktionen des Wasserstoffatoms.....	1340
40.4	Komplexe Atome; das Pauli-Prinzip.....	1343
40.5	Das Periodensystem der Elemente.....	1344
40.6	Röntgenspektren und Ordnungszahl.....	1347
40.7	Magnetische Dipolmomente; Gesamtdrehimpuls.....	1349
40.8	Fluoreszenz und Phosphoreszenz.....	1353
40.9	Laser.....	1354
40.10	Holographie.....	1357
	Zusammenfassung.....	1360
	Verständnisfragen.....	1360
	Aufgaben.....	1362

<b>Kapitel 41</b>	<b>Moleküle und Festkörper</b>	<b>1367</b>
41.1	Molekülbindungen.....	1369
41.2	Potenzielle Energie von Molekülen.....	1372
41.3	Schwache (van-der-Waals)-Bindungen.....	1375
41.4	Molekülspektren.....	1377
41.5	Bindungen in Festkörpern.....	1385
41.6	Elektronentheorie der Metalle.....	1386
41.7	Das Energiebändermodell für Kristalle.....	1390
41.8	Halbleiter und Dotierung.....	1394
41.9	Halbleiterdioden.....	1395
41.10	Transistoren und integrierte Schaltkreise.....	1397
	Zusammenfassung.....	1399
	Verständnisfragen.....	1400
	Aufgaben.....	1401

<b>Kapitel 42</b>	<b>Kernphysik und Radioaktivität</b>	<b>1407</b>
42.1	Struktur und Eigenschaften des Atomkerns.....	1409
42.2	Bindungsenergie und Kernkräfte.....	1412
42.3	Radioaktivität.....	1415
42.4	Alphazerfall.....	1417
42.5	Betazerfall.....	1419
42.6	Gammazerfall.....	1422
42.7	Erhaltung der Nukleonenzahl und weitere Erhaltungssätze.....	1422
42.8	Halbwertszeit und Zerfallsrate.....	1423
42.9	Zerfallsreihen.....	1426
42.10	Die Radiokarbonmethode.....	1428
42.11	Strahlungsmessung.....	1430
	Zusammenfassung.....	1431
	Verständnisfragen.....	1432
	Aufgaben.....	1432

<b>Kapitel 43</b>	<b>Kernenergie; Auswirkungen und Anwendungsmöglichkeiten der Strahlung</b>	<b>1437</b>
43.1	Kernreaktionen und Transmutation von Elementen.....	1439
43.2	Der Wirkungsquerschnitt.....	1442
43.3	Kernspaltung; Kernreaktoren.....	1444
43.4	Fusion.....	1450

43.5	Durchgang der Strahlung durch Materie; Strahlungsschäden .....	1456
43.6	Strahlungsmessung – Dosimetrie .....	1457
43.7	Strahlentherapie .....	1460
43.8	Indikatoren .....	1461
43.9	Bildgebung durch Tomographie .....	1461
43.10	Kernspinresonanz (NMR) und bildgebende Kernspintomographie (MRI) .....	1464
	Zusammenfassung .....	1467
	Verständnisfragen .....	1468
	Aufgaben .....	1469

## **Kapitel 44 Elementarteilchen** **1475**

44.1	Hochenergetische Teilchen .....	1477
44.2	Teilchenbeschleuniger und Detektoren .....	1478
44.3	Anfänge der Elementarteilchenphysik – Teilchenaustausch .....	1484
44.4	Teilchen und Antiteilchen .....	1487
44.5	Wechselwirkungen von Teilchen und Erhaltungssätze .....	1488
44.6	Teilchenklassifikation .....	1490
44.7	Stabilität von Teilchen und Resonanzen .....	1491
44.8	Seltsame Teilchen .....	1493
44.9	Quarks .....	1495
44.10	Das „Standardmodell“: Quantenchromodynamik (QCD) und die elektroschwache Theorie .....	1498
44.11	Die große vereinheitlichte Theorie .....	1500
	Zusammenfassung .....	1503
	Verständnisfragen .....	1504
	Aufgaben .....	1504

## **Kapitel 45 Astrophysik und Kosmologie** **1509**

45.1	Sterne und Galaxien .....	1511
45.2	Sternentwicklung: Die Geburt und der Tod von Sternen .....	1516
45.3	Allgemeine Relativitätstheorie: Die Schwerkraft und die Krümmung des Raumes .....	1523
45.4	Das expandierende Universum .....	1528
45.5	Der Urknall und der kosmische Mikrowellenhintergrund .....	1532
45.6	Das kosmologische Standardmodell: Die Frühgeschichte des Universums .....	1534
45.7	Die Zukunft des Universums? .....	1538
	Zusammenfassung .....	1542
	Verständnisfragen .....	1543
	Aufgaben .....	1544

## **Anhang** **1549**

A	Mathematische Formeln .....	1550
B	Ableitungen und Integrale .....	1552
C	Gravitationskraft und sphärische Masseverteilung .....	1554
D	Ausgewählte Isotope .....	1557
E	Lösungen zu den Aufgaben mit ungerader Nummerierung .....	1561
F	Physikalische Größen: Verwendete Symbole und ihre Einheiten .....	1585
G	Index .....	1590