

# 1

## Messung und Maßeinheiten

1-1	Dinge messen .....	2
1-2	Das internationale Einheitensystem SI ...	2
1-3	Einheiten umwandeln .....	3
1-4	Länge.....	5
1-5	Zeit.....	6
1-6	Masse.....	9
	Zusammenfassung .....	9
	Aufgaben .....	10

# 2

## Geradlinige Bewegung

2-1	Bewegung .....	14
2-2	Ort und Verschiebung.....	14
2-3	Durchschnittsgeschwindigkeit.....	15
2-4	Momentangeschwindigkeit.....	18
2-5	Beschleunigung .....	21
2-6	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Ein Sonderfall.....	24
2-7	Ein weiterer Zugang zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung .....	27
2-8	Der freie Fall .....	27
	Zusammenfassung .....	31
	Fragen.....	32
	Aufgaben .....	33

# 3

## Vektoren

3-1	Vektoren und Skalare .....	40
3-2	Geometrische Addition von Vektoren.....	40
3-3	Komponenten von Vektoren .....	42
3-4	Einheitsvektoren .....	47
3-5	Vektoren komponentenweise addieren...	48
3-6	Vektoren und physikalische Gesetze .....	50

3-7	Multiplikation von Vektoren.....	51
	Zusammenfassung .....	55
	Fragen.....	56
	Aufgaben .....	57

## 4 ■

### Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4-1	Bewegung in zwei oder drei Dimensionen .....	62
4-2	Ort und Verschiebung.....	62
4-3	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit.....	64
4-4	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung .....	66
4-5	Wurfbewegungen .....	69
4-6	Analyse der Wurfbewegung.....	70
4-7	Die gleichförmige Kreisbewegung.....	77
4-8	Relativbewegung in einer Dimension .....	79
4-9	Relativbewegung in zwei Dimensionen ...	81
	Zusammenfassung .....	83
	Fragen.....	84
	Aufgaben .....	85

## 5 ■

### Kraft und Bewegung – I

5-1	Wodurch wird Beschleunigung verursacht? .....	94
5-2	Das erste newtonsche Gesetz .....	94
5-3	Kraft .....	95
5-4	Masse.....	96
5-5	Das zweite newtonsche Gesetz.....	97
5-6	Einige besondere Kräfte .....	103
5-7	Das dritte newtonsche Gesetz.....	108
5-8	Anwendung der newtonschen Gesetze ...	109
	Zusammenfassung .....	118
	Fragen.....	119
	Aufgaben .....	121

## 6 ■

### 6.1.1 Bewegung – II

6-1	Reibung .....	128
6-2	Eigenschaften der Reibung .....	129
6-3	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit .....	134
6-4	Gleichförmige Kreisbewegung .....	137
	Zusammenfassung .....	143
	Fragen .....	144
	Aufgaben .....	145

## 7 ■

### kinetische Energie und Arbeit

7-1	Energie .....	152
7-2	Arbeit .....	153
7-3	Arbeit und kinetische Energie .....	154
7-4	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit .....	158
7-5	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit ..	164
7-6	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit .....	167
7-7	Leistung .....	170
	Zusammenfassung .....	173
	Fragen .....	174
	Aufgaben .....	176

## 8 ■

### Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8-1	Potenzielle Energie .....	182
8-2	Wegunabhängigkeit von konservativen Kräften .....	183
8-3	Berechnung der potenziellen Energie ....	185
8-4	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik .....	189
8-5	Grafische Darstellung der potenziellen Energie .....	193
8-6	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit .....	196
8-7	Energieerhaltung .....	200
	Zusammenfassung .....	204
	Fragen .....	205
	Aufgaben .....	207

## 9 ■

### Systeme von Teilchen

9-1	Ein besonderer Punkt .....	218
9-2	Der Schwerpunkt .....	218

9-3	Das zweite newtonsche Axiom für ein Teilchensystem .....	223
9-4	Der Impuls eines Teilchens .....	227
9-5	Der Impuls eines Teilchensystems .....	227
9-6	Die Impulserhaltung .....	229
9-7	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete .....	233
9-8	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie .....	236
	Zusammenfassung .....	239
	Fragen .....	240
	Aufgaben .....	241

## 10 ■

### Stoßprozesse

10-1	Was ist ein Stoß? .....	248
10-2	Kraftstoß und Impuls .....	249
10-3	Impuls und kinetische Energie bei Stoßprozessen .....	252
10-4	Inelastische, eindimensionale Stöße .....	253
10-5	Elastische, eindimensionale Stöße .....	257
10-6	Zweidimensionale Stöße .....	261
	Zusammenfassung .....	263
	Fragen .....	264
	Aufgaben .....	266

## 11 ■

### Die Rotation

11-1	Translation und Rotation .....	274
11-2	Rotationsvariable .....	274
11-3	Sind Winkelgrößen Vektoren? .....	278
11-4	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung .....	279
11-5	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation .....	281
11-6	Die kinetische Energie der Rotation .....	284
11-7	Berechnung des Trägheitsmoments .....	285
11-8	Das Drehmoment .....	289
11-9	Das zweite newtonsche Axiom für die Rotation .....	290
11-10	Arbeit und kinetische Energie der Rotation .....	293
	Zusammenfassung .....	298
	Fragen .....	299
	Aufgaben .....	301

## 12 ■

### Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1	Rollen .....	310
12-2	Die kinetische Energie der Rollbewegung .....	312

12-3	Kräfte bei der Rollbewegung .....	313
12-4	Ein Jo-Jo.....	315
12-5	Eine erweiterte Definition des Drehmoments.....	316
12-6	Der Drehimpuls.....	318
12-7	Das zweite newtonsche Axiom in Winkelschreibweise .....	320
12-8	Der Drehimpuls eines Teilchensystems ...	322
12-9	Der Drehimpuls eines rotierenden starren Körpers .....	323
12-10	Die Erhaltung des Drehimpulses .....	326
	Zusammenfassung .....	333
	Fragen.....	334
	Aufgaben .....	335

## 13

---

### Gleichgewicht und Elastizität

13-1	Gleichgewicht .....	344
13-2	Bedingungen für das Gleichgewicht.....	345
13-3	Das Gravitationszentrum .....	346
13-4	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	348
13-5	Unterbestimmte Strukturen .....	355
13-6	Elastizität .....	357
	Zusammenfassung .....	361
	Fragen.....	362
	Aufgaben .....	363

## 14

---

### Gravitation

14-1	Die Gravitationskraft in unserem Kosmos.....	370
14-2	Das newtonsche Gravitationsgesetz .....	370
14-3	Gravitation und das Superpositionsprinzip.....	372
14-4	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche.....	375
14-5	Die Gravitation innerhalb der Erde .....	378
14-6	Die potenzielle Energie der Gravitation ..	379
14-7	Planeten und Satelliten: Die keplerschen Gesetze .....	384
14-8	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	388
14-9	Einstein und die Gravitation .....	390
	Zusammenfassung .....	392
	Fragen.....	394
	Aufgaben .....	395

## 15

---

### Fluide

15-1	Fluide in unserer Umgebung.....	402
15-2	Was ist ein Fluid? .....	402

15-3	Dichte und Druck.....	402
15-4	Ruhende Fluide.....	405
15-5	Druckmessung.....	408
15-6	Das pascalsche Prinzip.....	409
15-7	Das archimedische Prinzip.....	410
15-8	Ideale Fluide in Bewegung.....	414
15-9	Die Kontinuitätsgleichung.....	415
15-10	Die Bernoulli-Gleichung.....	418
	Zusammenfassung.....	422
	Fragen.....	423
	Aufgaben.....	424

## 16

---

### Schwingungen

16-1	Schwingungen.....	432
16-2	Harmonische Schwingungen.....	432
16-3	Das Kraftgesetz der harmonischen Schwingung.....	435
16-4	Die Energie der harmonischen Schwingung.....	439
16-5	Das Torsionspendel.....	441
16-6	Pendel.....	442
16-7	Harmonische Schwingungen und die gleichförmige Kreisbewegung.....	447
16-8	Gedämpfte harmonische Schwingungen.....	448
16-9	Erzwungene Schwingungen und Resonanz.....	451
	Zusammenfassung.....	454
	Fragen.....	455
	Aufgaben.....	457

## 17

---

### Wellen – I

17-1	Wellen und Teilchen.....	464
17-2	Wellenarten.....	464
17-3	Transversale und longitudinale Wellen ...	465
17-4	Wellenlänge und Frequenz.....	466
17-5	Die Geschwindigkeit einer fortlaufenden Welle.....	468
17-6	Die Wellengeschwindigkeit für ein gespanntes Seil.....	472
17-7	Energie und Leistung einer fortlaufenden Seilwelle.....	474
17-8	Das Superpositionsprinzip für Wellen....	477
17-9	Die Interferenz von Wellen.....	477
17-10	Darstellung einer Welle durch einen Vektor.....	481
17-11	Stehende Wellen.....	482
17-12	Stehende Wellen und Resonanz.....	485
	Zusammenfassung.....	487
	Fragen.....	488
	Aufgaben.....	490

# 1

---

## Wellen – II

18-1	Schallwellen .....	496
18-2	Die Schallgeschwindigkeit .....	496
18-3	Ausbreitung von Schallwellen .....	499
18-4	Interferenz .....	502
18-5	Schallintensität und Schallpegel .....	504
18-6	Musikalische Töne .....	508
18-7	Schwebungen .....	511
18-8	Der Doppler-Effekt .....	512
18-9	Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen .....	517
	Zusammenfassung .....	518
	Fragen .....	519
	Aufgaben .....	521

# 1

---

## Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

19-1	Thermodynamik .....	528
19-2	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik .....	528
19-3	Temperaturmessung .....	529
19-4	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skalen ...	531
19-5	Wärmeausdehnung .....	533
19-6	Temperatur und Wärme .....	536
19-7	Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten .....	537
19-8	Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung .....	542
19-9	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik .....	544
19-10	Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik .....	545
19-11	Möglichkeiten der Wärmeübertragung ...	547
	Zusammenfassung .....	552
	Fragen .....	554
	Aufgaben .....	555

# 2

---

## Die kinetische Gastheorie

20-1	Gase unter einem neuen Blickwinkel .....	564
20-2	Die Avogadro-Zahl .....	564
20-3	Ideale Gase .....	565
20-4	Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit .....	568
20-5	Die kinetische Translationsenergie .....	571
20-6	Die mittlere freie Weglänge .....	572

20-7	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten .....	574
20-8	Die molaren spezifischen Wärmen idealer Gase .....	578
20-9	Thermodynamische Freiheitsgrade und molare spezifische Wärmen .....	582
20-10	Die Quantenmechanik macht sich bemerkbar .....	584
20-11	Adiabatische Ausdehnung eines idealen Gases .....	585
	Zusammenfassung .....	589
	Fragen .....	590
	Aufgaben .....	592

## 2

### Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

21-1	Gerichtete Prozesse .....	598
21-2	Entropieänderungen .....	599
21-3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....	603
21-4	Die Entropie in Aktion: Maschinen .....	604
21-5	Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen ..	610
21-6	Die Wirkungsgrade realer Maschinen .....	611
21-7	Eine statistische Interpretation der Entropie .....	612
	Zusammenfassung .....	616
	Fragen .....	618
	Aufgaben .....	619

## 2

### Elektrische Ladung

22-1	Elektromagnetismus .....	624
22-2	Elektrische Ladung .....	624
22-3	Leiter und Isolatoren .....	626
22-4	Das coulombsche Gesetz .....	627
22-5	Die elektrische Ladung ist quantisiert ....	635
22-6	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße .....	637
	Zusammenfassung .....	638
	Fragen .....	638
	Aufgaben .....	640

## 2

### Elektrische Felder

23-1	Ladungen und Kräfte – genauer betrachtet .....	644
23-2	Das elektrische Feld .....	644
23-3	Elektrische Feldlinien .....	645

23-4	Das elektrische Feld einer Punktladung ..	647
23-5	Das Feld eines elektrischen Dipols.....	649
23-6	Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung .....	650
23-7	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe.....	656
23-8	Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld .....	657
23-9	Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld .....	659
	Zusammenfassung .....	662
	Fragen.....	663
	Aufgaben .....	664

## 2

### Der gaußsche Satz

24-1	Das coulombsche Gesetz in neuem Licht .....	670
24-2	Fluss .....	670
24-3	Fluss eines elektrischen Felds .....	671
24-4	Der gaußsche Satz .....	675
24-5	Gaußscher Satz und coulombsches Gesetz .....	677
24-6	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters .....	678
24-7	Anwendung des gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie.....	681
24-8	Anwendung des gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie .....	683
24-9	Anwendung des gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie .....	686
	Zusammenfassung .....	688
	Fragen.....	688
	Aufgaben .....	689

## 2

### Elektrisches Potenzial

25-1	Elektrische potenzielle Energie .....	696
25-2	Elektrisches Potenzial.....	697
25-3	Äquipotenzialflächen.....	700
25-4	Berechnung des Potenzials aus dem Feld .....	701
25-5	Potenzial einer Punktladung.....	703
25-6	Potenzial einer Gruppe von Punktladungen .....	704
25-7	Potenzial eines elektrischen Dipols .....	706
25-8	Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung.....	708
25-9	Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial.....	710

25-10	Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen.....	712
25-11	Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers.....	713
	Zusammenfassung .....	715
	Fragen.....	716
	Aufgaben .....	717

## 2

### Kapazität

26-1	Kondensatoren und ihre Anwendungen ..	724
26-2	Kapazität .....	724
26-3	Berechnung der Kapazität .....	726
26-4	Parallelschaltungen und Reihenschaltungen von Kondensatoren .....	730
26-5	In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie.....	735
26-6	Kondensator mit Dielektrikum .....	738
26-7	Dielektrika – auf atomarem Niveau betrachtet .....	740
26-8	Dielektrika und gaußscher Satz .....	741
	Zusammenfassung .....	745
	Fragen.....	746
	Aufgaben .....	747

## 2

### Elektrischer Strom und Widerstand

27-1	Ladung in Bewegung: Elektrische Ströme .....	752
27-2	Elektrischer Strom.....	752
27-3	Stromdichte .....	755
27-4	Widerstand und spezifischer Widerstand .....	759
27-5	Ohmsches Gesetz .....	763
27-6	Das ohmsche Gesetz – mikroskopisch betrachtet .....	764
27-7	Elektrische Leistung in Stromkreisen.....	766
27-8	Halbleiter .....	768
27-9	Supraleiter .....	769
	Zusammenfassung .....	770
	Fragen.....	771
	Aufgaben .....	772

## 2

### Stromkreise

28-1	„Pumpen“ von Ladung.....	778
28-2	Arbeit, Energie und Spannung .....	778

28-3	Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis .....	780
28-4	Weitere unverzweigte Stromkreise .....	782
28-5	Potenzialdifferenzen .....	784
28-6	Verzweigte Stromkreise .....	787
28-7	Amperemeter und Voltmeter .....	795
28-8	RC-Kreise .....	795
	Zusammenfassung .....	799
	Fragen .....	800
	Aufgaben .....	801

## 2

### Magnetfelder

29-1	Das Magnetfeld .....	808
29-2	Definition von $\vec{B}$ .....	808
29-3	Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons.....	813
29-4	Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt.....	814
29-5	Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn...	817
29-6	Zyklotron und Synchrotron .....	822
29-7	Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht.....	824
29-8	Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife.....	826
29-9	Magnetisches Dipolmoment .....	829
	Zusammenfassung .....	831
	Fragen .....	832
	Aufgaben .....	833

## 3

### Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1	Das Magnetfeld eines Stroms .....	840
30-2	Die Kraft zwischen parallelen Strömen...	846
30-3	Das amperesche Gesetz .....	848
30-4	Zylinder- und Ringspulen.....	851
30-5	Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol .....	854
	Zusammenfassung .....	856
	Fragen .....	857
	Aufgaben .....	858

## 31

### Induktion und Induktivität

31-1	Zwei symmetrische Situationen .....	866
31-2	Zwei Experimente.....	866
31-3	Das faradaysche Induktionsgesetz .....	867
31-4	Die lenzsche Regel.....	870
31-5	Induktion und Energietransfer .....	873

31-6	Induzierte elektrische Felder .....	876
31-7	Induktivität .....	880
31-8	Selbstinduktion .....	881
31-9	<i>RL</i> -Glieder .....	882
31-10	Energiespeicherung im Magnetfeld .....	886
31-11	Die Energiedichte eines Magnetfelds .....	888
31-12	Gegeninduktion .....	890
	Zusammenfassung .....	893
	Fragen .....	894
	Aufgaben .....	896

## 32

### Magnetismus und Materie: Die maxwellschen Gleichungen

32-1	Magnete.....	904
32-2	Der gaußsche Satz für Magnetfelder .....	904
32-3	Der Erdmagnetismus.....	905
32-4	Der Magnetismus von Elektronen .....	906
32-5	Magnetische Materialien .....	910
32-6	Diamagnetismus .....	911
32-7	Paramagnetismus.....	912
32-8	Ferromagnetismus.....	914
32-9	Induzierte magnetische Felder .....	917
32-10	Der Verschiebungsstrom .....	920
32-11	Die maxwellschen Gleichungen .....	922
	Zusammenfassung .....	923
	Fragen.....	924
	Aufgaben .....	925

## 33

### Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

33-1	Neue Physik – alte Mathematik .....	930
33-2	<i>LC</i> -Schwingungen: Eine qualitative Diskussion .....	930
33-3	Die Analogie: Elektrischer und mechanischer Schwingkreis .....	933
33-4	<i>LC</i> -Schwingungen: Eine quantitative Diskussion .....	934
33-5	Gedämpfte Schwingungen in einem <i>RLC</i> -Kreis .....	938
33-6	Wechselstrom.....	939
33-7	Erzwungene Schwingungen .....	940
33-8	Drei einfache Stromkreise.....	941
33-9	Der in Reihe geschaltete <i>RLC</i> -Kreis .....	947
33-10	Die Leistung in Wechselstromkreisen.....	952
33-11	Transformatoren .....	955
	Zusammenfassung .....	959
	Fragen.....	960
	Aufgaben .....	961

# 3

---

## Elektromagnetische Wellen

34-1	Maxwells Regenbogen .....	968
34-2	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Qualitative Betrachtung .....	969
34-3	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Quantitative Betrachtung .....	972
34-4	Energietransport und Poynting-Vektor ...	975
34-5	Der Strahlungsdruck .....	977
34-6	Polarisation .....	980
34-7	Reflexion und Brechung .....	984
34-8	Innere Totalreflexion .....	989
34-9	Polarisation durch Reflexion.....	991
	Zusammenfassung .....	992
	Fragen.....	993
	Aufgaben .....	994

# 3

---

## Abbildungen

35-1	Zwei Arten von Bildern .....	1002
35-2	Ebene Spiegel.....	1003
35-3	Kugelspiegel .....	1004
35-4	Abbildungen an Kugelspiegeln .....	1006
35-5	Sphärische brechende Flächen .....	1009
35-6	Dünne Linsen .....	1012
35-7	Optische Instrumente .....	1018
35-8	Drei Herleitungen .....	1021
	Zusammenfassung .....	1023
	Fragen.....	1024
	Aufgaben .....	1026

# 3

---

## Interferenz

36-1	Interferenz .....	1032
36-2	Licht als Welle .....	1032
36-3	Beugung .....	1036
36-4	Der Doppelspaltversuch von Young .....	1037
36-5	Kohärenz .....	1041
36-6	Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt .....	1041
36-7	Interferenz an dünnen Schichten.....	1045
36-8	Das Michelson-Interferometer.....	1052
	Zusammenfassung .....	1053
	Fragen.....	1054
	Aufgaben .....	1055

# 3

---

## Beugung

37-1	Beugung und die Wellentheorie des Lichts.....	1064
------	--------------------------------------------------	------

37-2	Beugung am Einzelspalt: Lokalisierung der Minima .....	1065
37-3	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – qualitative Betrachtung ....	1068
37-4	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – quantitative Betrachtung ..	1069
37-5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung ..	1072
37-6	Beugung am Doppelspalt.....	1075
37-7	Beugungsgitter .....	1078
37-8	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen .....	1081
37-9	Röntgenbeugung.....	1084
	Zusammenfassung .....	1086
	Fragen .....	1087
	Aufgaben .....	1088

## 3

### Relativitätstheorie

38-1	Womit beschäftigt sich die Relativitätstheorie? .....	1096
38-2	Die Postulate.....	1096
38-3	Messung von Ereignissen.....	1098
38-4	Die Relativität der Gleichzeitigkeit .....	1099
38-5	Die Relativität der Zeit.....	1101
38-6	Die Relativität der Länge.....	1106
38-7	Die Lorentz-Transformation.....	1108
38-8	Einige Folgen aus den Lorentz-Gleichungen .....	1110
38-9	Die Relativität der Geschwindigkeiten ....	1113
38-10	Der Doppler-Effekt für Lichtwellen .....	1114
38-11	Der relativistische Impuls .....	1118
38-12	Die relativistische Energie .....	1119
	Zusammenfassung .....	1125
	Fragen .....	1126
	Aufgaben .....	1127

## 3

### Photonen und Materiefelder

39-1	Eine neue Welt.....	1134
39-2	Das Photon: Teilchen des Lichts .....	1134
39-3	Der photoelektrische Effekt.....	1136
39-4	Photonen haben einen Impuls.....	1140
39-5	Licht als Wahrscheinlichkeitswelle .....	1143
39-6	Elektronen und Materiewellen.....	1145
39-7	Die Schrödinger-Gleichung .....	1148
39-8	Die heisenbergsche Unschärferelation ...	1151
39-9	Der Tunneleffekt .....	1152
	Zusammenfassung .....	1155
	Fragen .....	1155
	Aufgaben .....	1157

# 4

---

## Mehr über Materiewellen

40-1	Der Aufbau der Atome .....	1 164
40-2	Wellen auf einem Seil und Materiewellen .....	1 164
40-3	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfaller .....	1 165
40-4	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial.....	1 169
40-5	Ein Elektron in einem endlichen Kastenpotenzial .....	1 174
40-6	Weitere Elektronenfallen .....	1 176
40-7	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	1 178
40-8	Das Wasserstoffatom.....	1 180
	Zusammenfassung .....	1 189
	Fragen.....	1 190
	Aufgaben .....	1 191

# 4

---

## Atome

41-1	Unser atomares Weltbild .....	1 196
41-2	Einige Eigenschaften von Atomen.....	1 196
41-3	Der Spin des Elektrons.....	1 198
41-4	Drehimpulse und magnetische Dipolmomente .....	1 199
41-5	Das Stern-Gerlach-Experiment.....	1 201
41-6	Kernspinresonanz.....	1 204
41-7	Das Pauli-Prinzip .....	1 206
41-8	Mehrere Elektronen in kastenförmigen Potenzialtöpfen .....	1 206
41-9	Der Aufbau des Periodensystems .....	1 210
41-10	Röntgenstrahlen und die Ordnungszahl der Elemente.....	1 212
41-11	Laser und Laserlicht .....	1 216
41-12	Die Funktionsweise eines Lasers.....	1 217
	Zusammenfassung .....	1 221
	Fragen.....	1 222
	Aufgaben .....	1 223

# 4

---

## Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

42-1	Festkörper .....	1 230
42-2	Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern .....	1 230
42-3	Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper .....	1 231
42-4	Nichtleiter .....	1 232
42-5	Metalle .....	1 233

42-6	Halbleiter .....	1239
42-7	Dotierte Halbleiter .....	1241
42-8	Der <i>pn</i> -Übergang .....	1243
42-9	Der Halbleiter-Gleichrichter .....	1245
42-10	Die Lumineszenzdiode (LED) .....	1246
42-11	Der Transistor.....	1248
	Zusammenfassung .....	1250
	Fragen.....	1251
	Aufgaben .....	1252

## 4

---

### Kernphysik

43-1	Die Entdeckung des Atomkerns .....	1258
43-2	Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	1259
43-3	Radioaktiver Zerfall .....	1266
43-4	Der Alpha-Zerfall .....	1270
43-5	Der Beta-Zerfall .....	1272
43-6	Radiometrische Zeitmessung .....	1275
43-7	Maße für Strahlungsdosen .....	1277
43-8	Kernmodelle .....	1278
	Zusammenfassung .....	1281
	Fragen.....	1282
	Aufgaben .....	1283

## 4

---

### Kernenergie

44-1	Das Atom und sein Kern .....	1292
44-2	Kernspaltung: Der grundlegende Prozess.....	1292
44-3	Ein Modell der Kernspaltung.....	1295
44-4	Der Kernreaktor .....	1297
44-5	Ein natürlicher Kernreaktor.....	1302
44-6	Thermonukleare Fusion: Der grundlegende Prozess .....	1304
44-7	Thermonukleare Fusion in der Sonne und anderen Sternen.....	1306
44-8	Kontrollierte thermonukleare Fusion .....	1309
	Zusammenfassung .....	1312
	Fragen.....	1313
	Aufgaben .....	1314

## 4

---

### Quarks, Leptonen und der Urknall

45-1	Die Physik am Rande der Erkenntnisse... ..	1320
45-2	Teilchen, Teilchen und nochmals Teilchen .....	1320
45-3	Ein typischer Teilchenprozess .....	1323
45-4	Leptonen .....	1327

45-5	Hadronen .....	1329
45-6	Noch ein Erhaltungssatz.....	1331
45-7	Der Achtfache Weg .....	1332
45-8	Das Quark-Modell .....	1333
45-9	Die fundamentalen Kräfte und die Vermittlerteilchen .....	1336
45-10	Der Teil und das Ganze.....	1338
45-11	Das Universum dehnt sich aus .....	1339
45-12	Die kosmische Hintergrundstrahlung .....	1341
45-13	Dunkle Materie .....	1341
45-14	Der Urknall .....	1342
45-15	Ein Rückblick.....	1343
	Zusammenfassung .....	1343
	Fragen.....	1344
	Aufgaben .....	1345

A	Das Internationale Einheitensystem (SI) .....	1352
B	Wichtige physikalische Fundamental- konstanten .....	1354
C	Astronomische Daten .....	1355
D	Umrechnungsfaktoren .....	1356
E	Mathematische Formeln .....	1358
F	Eigenschaften der Elemente .....	1361
G	Periodensystem der Elemente .....	1364
H	Lösungen zu Kontrollfragen, Fragen und Aufgaben mit ungerader Nummer .....	1365
I	Index .....	1375
J	Bildquellenverzeichnis .....	1386
	Begleitmaterial .....	1389