

# Inhaltsverzeichnis

1–15	Mechanik
16–18	Schwingungen und Wellen
19–21	Thermodynamik
22–34	Elektrostatik und Elektrodynamik
35–37	Optik
38–45	Jenseits der klassischen Physik

## 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
3-8	Felder .....	55
3-9	Partielle Ableitungen .....	56
3-10	Der Gradient .....	58
3-11	Die Divergenz .....	59
3-12	Die Rotation .....	59
3-13	Zweite Ableitungen .....	60
3-14	Komplexe Zahlen und Funktionen .....	61
	Zusammenfassung .....	63
	Fragen .....	64
	Aufgaben .....	65

## 4

### Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4-1	Bewegung in zwei oder drei Dimensionen	70
4-2	Ort und Verschiebung .....	70
4-3	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit .....	72
4-4	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung .....	74

4-5	Wurfbewegungen .....	77	Fragen .....	188
4-6	Analyse der Wurfbewegung.....	78	Aufgaben .....	190
4-7	Die gleichförmige Kreisbewegung .....	85		
4-8	Relativbewegung in einer Dimension .....	87		
4-9	Relativbewegung in zwei Dimensionen .....	89		
	Zusammenfassung .....	91		
	Fragen .....	92		
	Aufgaben .....	93		
<b>5</b>				
	Kraft und Bewegung - I			
5-1	Wodurch wird Beschleunigung verursacht? .....	102		
5-2	Das erste Newtonsche Gesetz .....	102		
5-3	Kraft .....	103		
5-4	Masse .....	104		
5-5	Das zweite Newtonsche Gesetz .....	105		
5-6	Einige besondere Kräfte .....	111		
5-7	Das dritte Newtonsche Gesetz .....	116		
5-8	Anwendung der Newtonschen Gesetze .....	117		
	Zusammenfassung .....	126		
	Fragen .....	127		
	Aufgaben .....	129		
<b>6</b>				
	Kraft und Bewegung - II			
6-1	Reibung .....	138		
6-2	Eigenschaften der Reibung .....	139		
6-3	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit .....	144		
6-4	Gleichförmige Kreisbewegung .....	147		
6-5	Scheinkräfte .....	153		
	Zusammenfassung .....	156		
	Fragen .....	157		
	Aufgaben .....	158		
<b>7</b>				
	Kinetische Energie und Arbeit			
7-1	Energie .....	166		
7-2	Arbeit .....	167		
7-3	Arbeit und kinetische Energie .....	168		
7-4	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit .....	172		
7-5	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit .....	178		
7-6	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit .....	181		
7-7	Leistung .....	184		
	Zusammenfassung .....	187		
<b>8</b>				
	Potenzielle Energie und Energieerhaltung			
8-1	Potenzielle Energie .....	196		
8-2	Wegunabhängigkeit von konservativen Kräften .....	197		
8-3	Berechnung der potenziellen Energie .....	199		
8-4	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik .....	203		
8-5	Grafische Darstellung der potenziellen Energie .....	207		
8-6	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit .....	210		
8-7	Energieerhaltung .....	214		
	Zusammenfassung .....	218		
	Fragen .....	219		
	Aufgaben .....	221		
<b>9</b>				
	Systeme von Teilchen			
9-1	Ein besonderer Punkt .....	232		
9-2	Der Schwerpunkt .....	232		
9-3	Das zweite Newtonsche Axiom für ein Teilchensystem .....	237		
9-4	Der Impuls eines Teilchens .....	241		
9-5	Der Impuls eines Teilchensystems .....	241		
9-6	Die Impulserhaltung .....	243		
9-7	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete .....	247		
9-8	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie .....	250		
	Zusammenfassung .....	253		
	Fragen .....	254		
	Aufgaben .....	255		
<b>10</b>				
	Stoßprozesse			
10-1	Was ist ein Stoß? .....	262		
10-2	Kraftstoß und Impuls .....	263		
10-3	Impuls und kinetische Energie bei Stoßprozessen .....	266		
10-4	Inelastische, eindimensionale Stöße .....	267		
10-5	Elastische, eindimensionale Stöße .....	271		
10-6	Zweidimensionale Stöße .....	275		
	Zusammenfassung .....	277		
	Fragen .....	278		
	Aufgaben .....	280		

**11**

## Die Rotation ausgedehnter Körper

11-1	Translation und Rotation .....	288
11-2	Rotationsvariable .....	288
11-3	Sind Winkelgrößen Vektoren? .....	292
11-4	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung .....	293
11-5	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation .....	295
11-6	Die kinetische Energie der Rotation .....	298
11-7	Berechnung des Trägheitsmoments .....	299
11-8	Das Drehmoment .....	303
11-9	Das zweite Newtonsche Axiom für die Rotation .....	304
11-10	Arbeit und kinetische Energie der Rotation .....	307
	Zusammenfassung .....	312
	Fragen .....	313
	Aufgaben .....	315

**12**

## Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1	Rollen .....	324
12-2	Die kinetische Energie der Rollbewegung .....	326
12-3	Kräfte bei der Rollbewegung .....	327
12-4	Ein Jo-Jo .....	329
12-5	Eine erweiterte Definition des Drehmoments .....	330
12-6	Der Drehimpuls .....	332
12-7	Das zweite Newtonsche Axiom in Winkelschreibweise .....	334
12-8	Der Drehimpuls eines Teilchensystems ...	336
12-9	Der Drehimpuls eines rotierenden starren Körpers .....	337
12-10	Die Erhaltung des Drehimpulses .....	340
	Zusammenfassung .....	347
	Fragen .....	348
	Aufgaben .....	349

**13**

## Gleichgewicht und Elastizität

13-1	Gleichgewicht .....	358
13-2	Bedingungen für das Gleichgewicht .....	359
13-3	Das Gravitationszentrum .....	360
13-4	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	362
13-5	Unterbestimmte Strukturen .....	369
13-6	Elastizität .....	371
	Zusammenfassung .....	375

Fragen .....	376
Aufgaben .....	377

**14**

## Gravitation

14-1	Die Gravitationskraft in unserem Kosmos .....	384
14-2	Das Newtonsche Gravitationsgesetz .....	384
14-3	Gravitation und das Superpositionsprinzip .....	386
14-4	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche .....	389
14-5	Die Gravitation innerhalb der Erde .....	392
14-6	Die potenzielle Energie der Gravitation ..	393
14-7	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze .....	398
14-8	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	402
14-9	Einstein und die Gravitation .....	405
	Zusammenfassung .....	406
	Fragen .....	408
	Aufgaben .....	409

**15**

## Fluide

15-1	Fluide in unserer Umgebung .....	416
15-2	Was ist ein Fluid? .....	416
15-3	Dichte und Druck .....	416
15-4	Ruhende Fluide .....	419
15-5	Druckmessung .....	422
15-6	Das pascalsche Prinzip .....	423
15-7	Das Archimedische Prinzip .....	424
15-8	Ideale Fluide in Bewegung .....	428
15-9	Die Kontinuitätsgleichung .....	429
15-10	Die Bernoulli-Gleichung .....	433
	Zusammenfassung .....	437
	Fragen .....	438
	Aufgaben .....	439

**16**

## Schwingungen

16-1	Schwingungen .....	448
16-2	Harmonische Schwingungen .....	448
16-3	Das Kraftgesetz der harmonischen Schwingung .....	451
16-4	Die Energie der harmonischen Schwingung .....	455
16-5	Das Torsionspendel .....	457

16-6	Pendel .....	458
16-7	Harmonische Schwingungen und die gleichförmige Kreisbewegung .....	463
16-8	Gedämpfte harmonische Schwingungen .....	465
16-9	Erzwungene Schwingungen und Resonanz .....	469
16-10	Das Foucaultsche Pendel .....	472
	Zusammenfassung .....	475
	Fragen .....	476
	Aufgaben .....	478



## Wellen - I

17-1	Wellen und Teilchen .....	486
17-2	Wellenarten .....	486
17-3	Transversale und longitudinale Wellen ...	487
17-4	Wellenlänge und Frequenz .....	488
17-5	Die Geschwindigkeit einer fortlaufenden Welle .....	490
17-6	Die Wellengeschwindigkeit für ein gespanntes Seil .....	494
17-7	Energie und Leistung einer fortlaufenden Seilwelle .....	496
17-8	Das Superpositionsprinzip für Wellen ....	499
17-9	Die Interferenz von Wellen .....	499
17-10	Darstellung einer Welle durch einen Vektor .....	503
17-11	Stehende Wellen .....	504
17-12	Stehende Wellen und Resonanz .....	507
	Zusammenfassung .....	509
	Fragen .....	510
	Aufgaben .....	512



## Wellen - II

18-1	Schallwellen .....	518
18-2	Die Schallgeschwindigkeit .....	518
18-3	Ausbreitung von Schallwellen .....	521
18-4	Interferenz .....	524
18-5	Schallintensität und Schallpegel .....	526
18-6	Musikalische Töne .....	530
18-7	Schwebungen .....	533
18-8	Der Doppler-Effekt .....	534
18-9	Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen .....	539
	Zusammenfassung .....	540
	Fragen .....	541
	Aufgaben .....	543

## 19

## Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

19-1	Thermodynamik .....	550
19-2	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik .....	550
19-3	Temperaturmessung .....	551
19-4	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skalen ...	553
19-5	Wärmeausdehnung .....	555
19-6	Temperatur und Wärme .....	558
19-7	Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten .....	559
19-8	Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung .....	564
19-9	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik .....	566
19-10	Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik .....	567
19-11	Möglichkeiten der Wärmeübertragung ...	569
	Zusammenfassung .....	575
	Fragen .....	576
	Aufgaben .....	578

## 20

## Die kinetische Gastheorie

20-1	Gase unter einem neuen Blickwinkel .....	586
20-2	Die Avogadro-Zahl .....	586
20-3	Ideale Gase .....	587
20-4	Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit .....	590
20-5	Die kinetische Translationsenergie .....	593
20-6	Die mittlere freie Weglänge .....	594
20-7	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten .....	596
20-8	Die molaren spezifischen Wärmen idealer Gase .....	600
20-9	Thermodynamische Freiheitsgrade und molare spezifische Wärmen .....	604
20-10	Die Quantenmechanik macht sich bemerkbar .....	606
20-11	Adiabatische Ausdehnung eines idealen Gases .....	607
20-12	Reale Gase .....	611
	Zusammenfassung .....	614
	Fragen .....	615
	Aufgaben .....	616

## 21

## Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

21-1	Gerichtete Prozesse .....	624
21-2	Entropieänderungen .....	625
21-3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....	629

21-4	Die Entropie in Aktion: Maschinen .....	630	24-4	Der Gaußsche Satz .....	701
21-5	Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen ..	636	24-5	Gaußscher Satz und Coulombsches Gesetz .....	703
21-6	Die Wirkungsgrade realer Maschinen .....	637	24-6	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters .....	704
21-7	Eine statistische Interpretation der Entropie .....	638	24-7	Anwendung des Gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie .....	707
	Zusammenfassung .....	642	24-8	Anwendung des Gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie .....	709
	Fragen .....	644	24-9	Anwendung des Gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie .....	712
	Aufgaben .....	645		Zusammenfassung .....	714

## 2

### Elektrische Ladung

22-1	Elektromagnetismus .....	650
22-2	Elektrische Ladung .....	650
22-3	Leiter und Isolatoren .....	652
22-4	Das Coulombsche Gesetz .....	653
22-5	Die elektrische Ladung ist quantisiert ....	661
22-6	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße .....	663
	Zusammenfassung .....	664
	Fragen .....	664
	Aufgaben .....	666

## 2

### Elektrische Felder

23-1	Ladungen und Kräfte – genauer betrachtet .....	670
23-2	Das elektrische Feld .....	670
23-3	Elektrische Feldlinien .....	671
23-4	Das elektrische Feld einer Punktladung ..	673
23-5	Das Feld eines elektrischen Dipols .....	675
23-6	Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung .....	676
23-7	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe .....	682
23-8	Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld .....	683
23-9	Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld .....	685
	Zusammenfassung .....	688
	Fragen .....	689
	Aufgaben .....	690

## 2

### Der Gaußsche Satz

24-1	Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht	696
24-2	Fluss .....	696
24-3	Fluss eines elektrischen Felds .....	697

## 2

### Elektrisches Potenzial

25-1	Elektrische potenzielle Energie .....	722
25-2	Elektrisches Potenzial .....	723
25-3	Äquipotenzialflächen .....	726
25-4	Berechnung des Potenzials aus dem Feld	727
25-5	Potenzial einer Punktladung .....	729
25-6	Potenzial einer Gruppe von Punktladungen .....	730
25-7	Potenzial eines elektrischen Dipols .....	732
25-8	Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung .....	734
25-9	Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial .....	736
25-10	Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen .....	738
25-11	Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers .....	739
	Zusammenfassung .....	741
	Fragen .....	742
	Aufgaben .....	743

## 2

### Kapazität

26-1	Kondensatoren und ihre Anwendungen ..	750
26-2	Kapazität .....	750
26-3	Berechnung der Kapazität .....	752
26-4	Parallelschaltungen und Reihenschaltungen von Kondensatoren ..	756
26-5	In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie .....	761
26-6	Kondensator mit Dielektrikum .....	764
26-7	Dielektrika – auf atomarem Niveau betrachtet .....	766
26-8	Dielektrika und Gaußscher Satz .....	767

Zusammenfassung .....	771	29-8 Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife .....	854
Fragen .....	772	29-9 Magnetisches Dipolmoment .....	857
Aufgaben .....	773	Zusammenfassung .....	859
		Fragen .....	860
		Aufgaben .....	861

## 2

### Elektrischer Strom und Widerstand

27-1 Ladung in Bewegung: Elektrische Ströme	778
27-2 Elektrischer Strom .....	778
27-3 Stromdichte .....	781
27-4 Widerstand und spezifischer Widerstand	785
27-5 Ohmsches Gesetz .....	789
27-6 Das Ohmsche Gesetz – mikroskopisch betrachtet .....	790
27-7 Elektrische Leistung in Stromkreisen .....	792
27-8 Halbleiter .....	794
27-9 Supraleiter .....	795
Zusammenfassung .....	797
Fragen .....	798
Aufgaben .....	799

## 2

### Stromkreise

28-1 „Pumpen“ von Ladung .....	806
28-2 Arbeit, Energie und Spannung .....	806
28-3 Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis .....	808
28-4 Weitere unverzweigte Stromkreise .....	810
28-5 Potenzialdifferenzen .....	812
28-6 Verzweigte Stromkreise .....	815
28-7 Amperemeter und Voltmeter .....	823
28-8 RC-Kreise .....	823
Zusammenfassung .....	827
Fragen .....	828
Aufgaben .....	829

## 2

### Magnetfelder

29-1 Das Magnetfeld .....	836
29-2 Definition von $\vec{B}$ .....	836
29-3 Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons .....	841
29-4 Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt .....	842
29-5 Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn .....	845
29-6 Zyklotron und Synchrotron .....	850
29-7 Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht .....	852

## 3

### Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1 Das Magnetfeld eines Stroms .....	868
30-2 Die Kraft zwischen parallelen Strömen .....	874
30-3 Das Amperesche Gesetz .....	876
30-4 Zylinder- und Ringspulen .....	879
30-5 Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol .....	882
Zusammenfassung .....	884
Fragen .....	885
Aufgaben .....	886

## 3

### Induktion und Induktivität

31-1 Zwei symmetrische Situationen .....	894
31-2 Zwei Experimente .....	894
31-3 Das Faradaysche Induktionsgesetz .....	895
31-4 Die lenzsche Regel .....	898
31-5 Induktion und Energietransfer .....	901
31-6 Induzierte elektrische Felder .....	904
31-7 Induktivität .....	908
31-8 Selbstinduktion .....	909
31-9 RL-Glieder .....	910
31-10 Energiespeicherung im Magnetfeld .....	914
31-11 Die Energiedichte eines Magnetfelds .....	916
31-12 Gegeninduktion .....	918
Zusammenfassung .....	921
Fragen .....	922
Aufgaben .....	924

## 3

### Magnetismus und Materie

32-1 Magnete .....	932
32-2 Der Gaußsche Satz für Magnetfelder .....	932
32-3 Der Erdmagnetismus .....	933
32-4 Der Magnetismus von Elektronen .....	934
32-5 Magnetische Materialien .....	938
32-6 Diamagnetismus .....	939
32-7 Paramagnetismus .....	940
32-8 Ferromagnetismus .....	942
32-9 Induzierte magnetische Felder .....	945

32-10 Der Verschiebungsstrom .....	948	35-4 Abbildungen an Kugelspiegeln .....	1042
Zusammenfassung .....	950	35-5 Sphärische brechende Flächen .....	1045
Fragen .....	952	35-6 Dünne Linsen .....	1048
Aufgaben .....	953	35-7 Optische Instrumente .....	1054
		35-8 Drei Herleitungen .....	1057
		Zusammenfassung .....	1059
		Fragen .....	1060
		Aufgaben .....	1062

### 3

#### Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

33-1 Neue Physik – alte Mathematik .....	958
33-2 LC-Schwingungen: Eine qualitative Diskussion .....	958
33-3 Die Analogie: Elektrischer und mechanischer Schwingkreis .....	961
33-4 LC-Schwingungen: Eine quantitative Diskussion .....	962
33-5 Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis .....	966
33-6 Wechselstrom .....	968
33-7 Erzwungene Schwingungen .....	969
33-8 Drei einfache Stromkreise .....	970
33-9 Der in Reihe geschaltete RLC-Kreis .....	976
33-10 Die Leistung in Wechselstromkreisen .....	981
33-11 Transformatoren .....	983
Zusammenfassung .....	987
Fragen .....	988
Aufgaben .....	990

### 3

#### Maxwell-Gleichungen und elektromagnetische Wellen

34-1 Maxwells Regenbogen .....	998
34-2 Die Maxwellgleichungen .....	999
34-3 Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen .....	1001
34-4 Energietransport und Poynting-Vektor ...	1008
34-5 Der Strahlungsdruck .....	1011
34-6 Polarisierung .....	1014
34-7 Reflexion und Brechung .....	1019
34-8 Innere Totalreflexion .....	1024
34-9 Polarisierung durch Reflexion .....	1026
Zusammenfassung .....	1027
Fragen .....	1029
Aufgaben .....	1030

### 3

#### Abbildungen

35-1 Zwei Arten von Bildern .....	1038
35-2 Ebene Spiegel .....	1039
35-3 Kugelspiegel .....	1040

### 3

#### Interferenz

36-1 Interferenz .....	1068
36-2 Licht als Welle .....	1068
36-3 Beugung .....	1072
36-4 Der Doppelspaltversuch von Young .....	1073
36-5 Kohärenz .....	1077
36-6 Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt .....	1077
36-7 Interferenz an dünnen Schichten .....	1081
36-8 Das Michelson-Interferometer .....	1088
Zusammenfassung .....	1089
Fragen .....	1090
Aufgaben .....	1091

### 3

#### Beugung

37-1 Beugung und die Wellentheorie des Lichts	1100
37-2 Beugung am Einzelspalt: Lokalisierung der Minima .....	1101
37-3 Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – qualitative Betrachtung .....	1104
37-4 Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – quantitative Betrachtung .....	1105
37-5 Beugung an einer kreisrunden Öffnung ..	1108
37-6 Beugung am Doppelspalt .....	1111
37-7 Beugungsgitter .....	1114
37-8 Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen .....	1117
37-9 Röntgenbeugung .....	1120
Zusammenfassung .....	1122
Fragen .....	1123
Aufgaben .....	1124

### 3

#### Relativitätstheorie

38-1 Womit beschäftigt sich die Relativitätstheorie? .....	1132
38-2 Die Postulate .....	1132

38-3	Messung von Ereignissen.....	1134
38-4	Die Relativität der Gleichzeitigkeit .....	1135
38-5	Die Relativität der Zeit.....	1137
38-6	Die Relativität der Länge .....	1142
38-7	Die Lorentz-Transformation.....	1144
38-8	Einige Folgen aus den Lorentz-Gleichungen .....	1146
38-9	Die Relativität der Geschwindigkeiten ....	1149
38-10	Der Doppler-Effekt für Lichtwellen .....	1150
38-11	Der relativistische Impuls .....	1154
38-12	Die relativistische Energie .....	1155
	Zusammenfassung .....	1161
	Fragen.....	1162
	Aufgaben .....	1163

## 3

### Photonen und Materiefelder

39-1	Eine neue Welt.....	1170
39-2	Das Photon: Teilchen des Lichts .....	1170
39-3	Der photoelektrische Effekt.....	1172
39-4	Photonen haben einen Impuls.....	1176
39-5	Licht als Wahrscheinlichkeitswelle .....	1179
39-6	Elektronen und Materiewellen.....	1181
39-7	Die Schrödinger-Gleichung .....	1185
39-8	Die Heisenbergsche Unschärferelation... ..	1187
39-9	Der Tunneleffekt .....	1188
39-10	Das Plancksche Strahlungsgesetz .....	1191
	Zusammenfassung .....	1193
	Fragen.....	1194
	Aufgaben .....	1195

## 4

### Mehr über Materiewellen

40-1	Der Aufbau der Atome.....	1202
40-2	Wellen auf einem Seil und Materiewellen	1202
40-3	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfall.....	1203
40-4	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial.....	1207
40-5	Ein Elektron in einem endlichen Kastenpotenzial .....	1212
40-6	Weitere Elektronenfallen .....	1214
40-7	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	1216
40-8	Das Bohrsche Modell des Wasserstoffatoms .....	1218
	Zusammenfassung .....	1229
	Fragen.....	1230
	Aufgaben .....	1231

## 4

### Atome

41-1	Unser atomares Weltbild .....	1238
41-2	Einige Eigenschaften von Atomen.....	1238
41-3	Der Spin des Elektrons.....	1240
41-4	Drehimpulse und magnetische Dipolmomente .....	1241
41-5	Das Stern-Gerlach-Experiment.....	1243
41-6	Kernspinresonanz.....	1246
41-7	Das Pauli-Prinzip.....	1248
41-8	Mehrere Elektronen in kastenförmigen Potenzialtöpfen .....	1248
41-9	Der Aufbau des Periodensystems .....	1252
41-10	Röntgenstrahlen und die Ordnungszahl der Elemente.....	1254
41-11	Laser und Laserlicht .....	1258
41-12	Die Funktionsweise eines Lasers.....	1259
	Zusammenfassung .....	1263
	Fragen.....	1264
	Aufgaben .....	1265

## 4

### Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

42-1	Festkörper .....	1272
42-2	Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern .....	1272
42-3	Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper .....	1273
42-4	Nichtleiter .....	1275
42-5	Metalle .....	1276
42-6	Halbleiter .....	1283
42-7	Dotierte Halbleiter .....	1286
42-8	Der $pn$ -Übergang.....	1288
42-9	Der Halbleiter-Gleichrichter .....	1290
42-10	Anwendungen des $pn$ -Übergangs.....	1291
42-11	Der Transistor.....	1294
	Zusammenfassung .....	1296
	Fragen.....	1297
	Aufgaben .....	1298

## 4

### Kernphysik

43-1	Die Entdeckung des Atomkerns.....	1304
43-2	Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	1305
43-3	Radioaktiver Zerfall .....	1312
43-4	Der Alpha-Zerfall .....	1316
43-5	Der Beta-Zerfall .....	1318
43-6	Radiometrische Zeitmessung .....	1321
43-7	Maße für Strahlungsdosen .....	1323



43-8	Kernmodelle .....	1324	45-3	Ein typischer Teilchenprozess .....	1369	
	Zusammenfassung .....	1327	45-4	Leptonen .....	1373	
	Fragen .....	1328	45-5	Hadronen .....	1375	
	Aufgaben .....	1329	45-6	Noch ein Erhaltungssatz.....	1377	
<hr/>						
<b>4</b>						
<hr/>						
	Kernenergie					
44-1	Das Atom und sein Kern .....	1338	45-7	Der Achtfache Weg .....	1378	
44-2	Kernspaltung: Der grundlegende Prozess	1338	45-8	Das Quark-Modell .....	1379	
44-3	Ein Modell der Kernspaltung.....	1341	45-9	Die fundamentalen Kräfte und die Vermittlerteilchen .....	1382	
44-4	Der Kernreaktor .....	1343	45-10	Der Teil und das Ganze.....	1384	
44-5	Ein natürlicher Kernreaktor .....	1348	45-11	Das Universum dehnt sich aus .....	1385	
44-6	Thermonukleare Fusion: Der grundlegende Prozess .....	1350	45-12	Die kosmische Hintergrundstrahlung .....	1387	
44-7	Thermonukleare Fusion in der Sonne und anderen Sternen .....	1352	45-13	Dunkle Materie .....	1387	
44-8	Kontrollierte thermonukleare Fusion .....	1355	45-14	Der Urknall .....	1388	
	Zusammenfassung .....	1358	45-15	Ein Rückblick.....	1389	
	Fragen .....	1359		Zusammenfassung .....	1389	
	Aufgaben .....	1360		Fragen.....	1390	
<hr/>						
<b>4</b>						
<hr/>						
	Quarks, Leptonen und der Urknall					
45-1	Die Physik am Rande der Erkenntnisse ...	1366		Aufgaben .....	1391	
45-2	Teilchen, Teilchen und nochmals Teilchen	1366	<hr/>			
<hr/>						
<b>hang</b>						
<hr/>						
	A Das Internationale Einheitensystem (SI) .....					1398
	B Astronomische Daten.....					1400
	C Umrechnungsfaktoren .....					1401
	D Mathematische Formeln.....					1403
	E Eigenschaften der Elemente .....					1407
	F Ergebnisse der Kontrollfragen, Fragen und Aufgaben .....					1410
	G Index .....					1425
	H Bildquellenverzeichnis .....					1435