

# Physik

David Halliday  
University of Pittsburgh

Robert Resnick  
Rensselaer Polytechnic Institute

Jearl Walker  
Cleveland State University

Herausgeber der deutschen Übersetzung

Stephan W. Koch  
Universität Marburg



WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA

# Verzeichnis

## 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

### 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
<b>2-8 Der freie Fall</b>	<b>27</b>
Zusammenfassung	31
Fragen	32
Aufgaben	33

### 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

### 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**

## Kraft und Bewegung - II

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

**7 t**

## Kinetische Energie und Arbeit

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

## Potenzielle Energie und Energieerhaltung

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

## Systeme von Teilchen

9-1	Ein besonderer Punkt.....	<b>218</b>
9-2	Der Schwerpunkt.....	<b>218</b>

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

**1CM**

## Stoßprozesse

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

**11**

## Die Rotation

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

**1**

## Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1	Rollen.....	<b>310</b>
12-2	Die kinetische Energie der Rollbewegung.....	<b>312</b>

12-3 Kräfte bei der Rollbewegung. .... 313  
 12-4 EinJo-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

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

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

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

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

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

## Inhaltsverzeichnis

Wellen - II		<b>20-7</b> Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten. ....	<b>574</b>
<b>18-1</b> Schallwellen. ....	<b>496</b>	<b>20-8</b> Die molaren spezifischen Wärmen idealer Gase. ....	<b>578</b>
<b>18-2</b> Die Schallgeschwindigkeit. ....	<b>496</b>	<b>20-9</b> Thermodynamische Freiheitsgrade und molare spezifische Wärmen. ....	<b>582</b>
<b>18-3</b> Ausbreitung von Schallwellen. ....	499	<b>20-10</b> Die Quantenmechanik macht sich bemerkbar. ....	<b>584</b>
<b>18-4</b> Interferenz. ....	<b>502</b>	<b>20-11</b> Adiabatische Ausdehnung eines idealen Gases. ....	<b>585</b>
<b>18-5</b> Schallintensität und Schallpegel. ....	<b>504</b>	Zusammenfassung. ....	<b>589</b>
<b>18-6</b> Musikalische Töne. ....	<b>508</b>	Fragen. ....	590
<b>18-7</b> Schwebungen. ....	<b>511</b>	Aufgaben. ....	<b>592</b>
<b>18-8</b> Der Doppler-Effekt. ....	512		
<b>18-9</b> Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen. ....	<b>517</b>	Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	
Zusammenfassung. ....	<b>518</b>	<b>21-1</b> Gerichtete Prozesse. ....	598
Fragen. ....	519	<b>21-2</b> Entropieänderungen. ....	<b>599</b>
Aufgaben. ....	521	<b>21-3</b> Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. ....	<b>603</b>
		<b>21-4</b> Die Entropie in Aktion: Maschinen. ....	<b>604</b>
Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik		<b>21-5</b> Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen..	<b>610</b>
<b>19-1</b> Thermodynamik. ....	<b>528</b>	<b>21-6</b> Die Wirkungsgrade realer Maschinen. . . .	<b>611</b>
<b>19-2</b> Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik. ....	528	<b>21-7</b> Eine statistische Interpretation der Entropie. ....	<b>612</b>
<b>19-3</b> Temperaturmessung. ....	529	Zusammenfassung. ....	616
<b>19-4</b> Die Celsius-und die Fahrenheit-Skalen ...	<b>531</b>	Fragen. ....	<b>618</b>
<b>19-5</b> Wärmeausdehnung. ....	<b>533</b>	Aufgaben. ....	<b>619</b>
<b>19-6</b> Temperatur und Wärme. ....	536		
<b>19-7</b> Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten. ....	<b>537</b>	Elektrische Ladung	
<b>19-8</b> Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung. ....	<b>542</b>	<b>22-1</b> Elektromagnetismus. ....	<b>624</b>
<b>19-9</b> Der erste Hauptsatz der Thermodynamik. ....	<b>544</b>	<b>22-2</b> Elektrische Ladung. ....	<b>624</b>
<b>19-10</b> Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik. ....	<b>545</b>	<b>22-3</b> Leiter und Isolatoren. ....	<b>626</b>
<b>19-11</b> Möglichkeiten der Wärmeübertragung ...	<b>547</b>	<b>22-4</b> Das coulombsche Gesetz. ....	<b>627</b>
Zusammenfassung. ....	<b>552</b>	<b>22-5</b> Die elektrische Ladung ist quantisiert....	<b>635</b>
Fragen. ....	<b>554</b>	<b>22-6</b> Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße. ....	<b>637</b>
Aufgaben. ....	<b>555</b>	Zusammenfassung. ....	<b>638</b>
		Fragen. ....	<b>638</b>
		Aufgaben. ....	<b>640</b>
Die kinetische Gastheorie			
<b>20-1</b> Gase unter einem neuen Blickwinkel. . . .	<b>564</b>	Elektrische Felder	
<b>20-2</b> Die Avogadro-Zahl. ....	<b>564</b>	<b>23-1</b> Ladungen und Kräfte-genauer betrachtet. ....	<b>644</b>
<b>20-3</b> Ideale Gase. ....	<b>565</b>	<b>23-2</b> Das elektrische Feld. ....	<b>644</b>
<b>20-4</b> Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit. ....	<b>568</b>	<b>23-3</b> Elektrische Feldlinien. ....	<b>645</b>
<b>20-5</b> Die kinetische Translationsenergie. ....	<b>571</b>		
<b>20-6</b> Die mittlere freie Weglänge. ....	<b>572</b>		



<b>28-3</b>	Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis. ....	<b>780</b>	<b>31-6</b>	Induzierte elektrische Felder. ....	<b>876</b>
<b>28-4</b>	Weitere unverzweigte Stromkreise. ....	<b>782</b>	<b>31-7</b>	Induktivität. ....	<b>880</b>
<b>28-5</b>	Potenzialdifferenzen. ....	<b>784</b>	<b>31-8</b>	Selbstinduktion. ....	<b>881</b>
<b>28-6</b>	Verzweigte Stromkreise. ....	<b>787</b>	<b>31-9</b>	RL-Glieder. ....	<b>882</b>
<b>28-7</b>	Amperemeter und Voltmeter. ....	<b>795</b>	<b>31-10</b>	Energiespeicherung im Magnetfeld. ....	<b>886</b>
<b>28-8</b>	RC-Kreise. ....	<b>795</b>	<b>31-11</b>	Die Energiedichte eines Magnetfelds. . . .	<b>888</b>
	Zusammenfassung. ....	<b>799</b>	<b>31-12</b>	Gegeninduktion. ....	<b>890</b>
	Fragen. ....	<b>800</b>		Zusammenfassung. ....	<b>893</b>
	Aufgaben. ....	<b>801</b>		Fragen. ....	<b>894</b>
				Aufgaben. ....	<b>896</b>

Magnetfelder

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

Magnetismus und Materie: Die maxwellschen Gleichungen

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

Magnetfelder aufgrund von Strömen

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

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

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

Induktion und Induktivität

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

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**

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**

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

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**

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.....1 **106**  
**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.....1 127

Photonen und Materiefelder

**39-1** Eine neue Welt..... 134  
**39-2** Das Photon: Teilchen des Lichts ..... 134  
**39-3** Der photoelektrische Effekt..... 136  
**39-4** Photonen haben einen Impuls..... 140  
**39-5** Licht als Wahrscheinlichkeitswelle ..... 143  
**39-6** Elektronen und Materiewellen..... 145  
**39-7** Die Schrödinger-Gleichung.....**1148**  
**39-8** Die heisenbergsche Unschärferelation ... **1151**  
**39-9** Der Tunneleffekt.....**1152**  
 Zusammenfassung.....11 **55**  
 Fragen.....**1155**  
 Aufgaben.....1 **157**

Mehr über Materiewellen		42-6 Halbleiter.....	1239
40-1 Der Aufbau der Atome.....	1164	42-7 Dotierte Halbleiter.....	1241
40-2 Wellen auf einem Seil und Materiewellen.....	1164	42-8 Derpn-Übergang.....	1243
40-3 Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfall.....	1165	42-9 Der Halbleiter-Gleichrichter.....	1 245
40-4 Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial.....	11 69	42-10 Die Lumineszenzdiode (LED).....	1246
40-5 Ein Elektron in einem endlichen Kastenpotenzial.....	1174	42-11 Der Transistor.....	1248
40-6 Weitere Elektronenfallen.....	11 76	Zusammenfassung.....	1250
40-7 Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	1178	Fragen.....	1251
40-8 Das Wasserstoffatom.....	11 80	Aufgaben.....	1252
Zusammenfassung.....	11 89		
Fragen.....	1190	Kernphysik	
Aufgaben.....	1191	43-1 Die Entdeckung des Atomkerns.....	1258
		43-2 Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	1259
Atome		43-3 Radioaktiver Zerfall.....	1266
41-1 Unser atomares Weltbild.....	1196	43-4 Der Alpha-Zerfall.....	1270
41-2 Einige Eigenschaften von Atomen.....	1196	43-5 Der Beta-Zerfall.....	1272
41-3 Der Spin des Elektrons.....	1198	43-6 Radiometrische Zeitmessung.....	1275
41-4 Drehimpulse und magnetische Dipolmomente.....	1199	43-7 Maße für Strahlungsdosen.....	1277
41-5 Das Stern-Gerlach-Experiment.....	1201	43-8 Kernmodelle.....	1278
41-6 Kernspinresonanz.....	1204	Zusammenfassung.....	1281
41-7 Das Pauli-Prinzip.....	1206	Fragen.....	1282
41-8 Mehrere Elektronen in kastenförmigen Potenzialtöpfen.....	1206	Aufgaben.....	1283
41-9 Der Aufbau des Periodensystems.....	1210		
41-10 Röntgenstrahlen und die Ordnungszahl der Elemente.....	1212	Kernenergie	
41-11 Laser und Laserlicht.....	1216	44-1 Das Atom und sein Kern.....	1292
41-12 Die Funktionsweise eines Lasers.....	1217	44-2 Kernspaltung: Der grundlegende Prozess.....	1292
Zusammenfassung.....	1221	44-3 Ein Modell der Kernspaltung.....	1295
Fragen.....	1222	44-4 Der Kernreaktor.....	1297
Aufgaben.....	1223	44-5 Ein natürlicher Kernreaktor.....	1302
		44-6 Thermonukleare Fusion: Der grundlegende Prozess.....	1304
Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern		44-7 Thermonukleare Fusion in der Sonne und anderen Sternen.....	1306
42-1 Festkörper.....	1230	44-8 Kontrollierte thermonukleare Fusion. ...	1309
42-2 Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern.....	1230	Zusammenfassung.....	1312
42-3 Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper.....	1231	Fragen.....	1313
42-4 Nichtleiter.....	1232	Aufgaben.....	1314
42-5 Metalle.....	1233		
		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

<b>45-5</b>	Hadronen.....	<b>1329</b>		
<b>45-6</b>	Noch ein Erhaltungssatz.....	<b>1331</b>		
<b>45-7</b>	Der Achtfache Weg.....	<b>1332</b>		
<b>45-8</b>	Das Quark-Modell.....	<b>1333</b>	<b>A</b>	Das Internationale Einheitensystem (SI)..... <b>1352</b>
<b>45-9</b>	Die fundamentalen Kräfte und die Vermittlerteilchen.....	<b>1336</b>	<b>B</b>	Wichtige physikalische Fundamental- konstanten..... <b>1354</b>
<b>45-10</b>	Der Teil und das Ganze.....	<b>1338</b>	<b>C</b>	Astronomische Daten..... <b>1355</b>
<b>45-11</b>	Das Universum dehnt sich aus.....	<b>1 339</b>	<b>D</b>	Umrechnungsfaktoren..... <b>1356</b>
<b>45-12</b>	Die kosmische Hintergrundstrahlung.....	<b>1 341</b>	<b>E</b>	Mathematische Formeln..... <b>1358</b>
<b>45-13</b>	Dunkle Materie.....	<b>1341</b>	<b>F</b>	Eigenschaften der Elemente..... <b>1361</b>
<b>45-14</b>	Der Urknall.....	<b>1342</b>	<b>G</b>	Periodensystem der Elemente..... <b>1364</b>
<b>45-15</b>	Ein Rückblick.....	<b>1343</b>	<b>H</b>	Lösungen zu Kontrollfragen, Fragen und Aufgaben mit ungerader Nummer..... <b>1365</b>
	Zusammenfassung.....	<b>1343</b>	<b>I</b>	Index..... <b>1375</b>
	Fragen.....	<b>1 344</b>	<b>J</b>	Bildquellenverzeichnis..... <b>1386</b>
	Aufgaben.....	<b>1345</b>		Begleitmaterial..... <b>1389</b>