

Inhaltsverzeichnis

- 1-15 Mechanik
16-18 Schwingungen und Wellen
19-21 Thermodynamik

- 22-34 Elektrostatik und Elektrodynamik
35-37 Optik
38-42 Jenseits der klassischen Physik

1

Messung und Maßeinheiten

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

- 3-7 Multiplikation von Vektoren 43
3-8 Felder 47
3-9 Partielle Ableitungen 48
3-10 Der Gradient 50
2 3-11 Die Divergenz 51
2 3-12 Die Rotation 51
3 3-13 Zweite Ableitungen 52
5 3-14 Komplexe Zahlen und Funktionen 53
6 Zusammenfassung 55
9
10

2

Geradlinige Bewegung

- 2-1 Bewegung
2-2 Ort und Verschiebung
2-3 Durchschnittsgeschwindigkeit
2-4 Momentangeschwindigkeit
2-5 Beschleunigung
2-6 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:
Ein Sonderfall
2-7 Ein weiterer Zugang zur gleichmäßig
beschleunigten Bewegung
2-8 Der freie Fall
Zusammenfassung

- 4-1 Bewegung in zwei oder drei Dimensionen 58
4-2 Ort und Verschiebung 58
12 4-3 Durchschnittsgeschwindigkeit und
12 Momentangeschwindigkeit 60
13 4-4 Durchschnittsbeschleunigung und
16 Momentanbeschleunigung 62
19 4-5 Wurfbewegungen 65
4-6 Analyse der Wurfbewegung 66
22 4-7 Die gleichförmige Kreisbewegung 73
4-8 Relativbewegung in einer Dimension 75
25 4-9 Relativbewegung in zwei Dimensionen... 77
26 Zusammenfassung 79
29

3

Vektoren

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

5

Die Newtonschen Gesetze der Mechanik

- 5-1 Wodurch wird Beschleunigung
verursacht? 82
32 5-2 Das erste Newtonsche Gesetz 82
34 5-3 Kraft 83
39 5-4 Masse 85
40 5-5 Das zweite Newtonsche Gesetz 86
42 5-6 Einige besondere Kräfte 92

5-7	Das dritte Newtonsche Gesetz	97	9-4	Der Impuls eines Teilchens	185
5-8	Anwendung der Newtonschen Gesetze...	98	9-5	Der Impuls eines Teilchensystems	185
	Zusammenfassung	106	9-6	Die Impulserhaltung	187
			9-7	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete.....	191
			9-8	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie	194
				Zusammenfassung	196

6

Kraft und Bewegung

6-1	Reibung	110
6-2	Eigenschaften der Reibung	111
6-3	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit	116
6-4	Gleichförmige Kreisbewegung	119
	Zusammenfassung	125

7

Kinetische Energie und Arbeit

7-1	Energie	128
7-2	Arbeit.....	129
7-3	Arbeit und kinetische Energie	130
7-4	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit.....	134
7-5	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit..	139
7-6	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit.....	143
7-7	Leistung.....	146
	Zusammenfassung	148

8

Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8-1	Potenzielle Energie	152
8-2	Wegunabhängigkeit von konservativen Kräften	153
8-3	Berechnung der potenziellen Energie	156
8-4	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik	159
8-5	Grafische Darstellung der potenziellen Energie	163
8-6	An einem System verrichtete Arbeit.....	166
8-7	Energieerhaltung	171
	Zusammenfassung	173

9

Systeme von Teilchen

9-1	Ein besonderer Punkt	176
9-2	Der Schwerpunkt.....	176
9-3	Das zweite Newtonsche Axiom für ein Teilchensystem	181

10

Stoßprozesse

10-1	Was ist ein Stoß?.....	200
10-2	Kraftstoß und Impuls.....	201
10-3	Impuls und kinetische Energie bei Stoßprozessen.....	204
10-4	Inelastische eindimensionale Stöße.....	205
10-5	Elastische eindimensionale Stöße.....	209
10-6	Zweidimensionale Stöße	213
	Zusammenfassung	215

11

Die Rotation

11-1	Translation und Rotation	218
11-2	Rotationsvariable	218
11-3	Sind Winkelgrößen Vektoren?	222
11-4	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung	223
11-5	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation.....	226
11-6	Die kinetische Energie der Rotation.....	229
11-7	Berechnung des Trägheitsmoments	230
11-8	Das Drehmoment	233
11-9	Das zweite Newtonsche Axiom für die Rotation.....	234
11-10	Arbeit und kinetische Energie der Rotation.....	238
	Zusammenfassung	242

12

Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1	Rollen.....	246
12-2	Die kinetische Energie der Rollbewegung	248
12-3	Kräfte bei der Rollbewegung	249
12-4	Ein Jo-Jo.....	251
12-5	Eine erweiterte Definition des Drehmoments.....	252
12-6	Der Drehimpuls.....	254

12-7	Das zweite Newtonsche Axiom in Winkelschreibweise	256	16	
12-8	Der Drehimpuls eines Teilchensystems ...	258	Schwingungen	
12-9	Der Drehimpuls eines rotierenden starren Körpers	259	16-1 Schwingungen	338
12-10	Die Erhaltung des Drehimpulses	262	16-2 Harmonische Schwingungen	338
	Zusammenfassung	269	16-3 Das Kraftgesetz der harmonischen Schwingung	341
			16-4 Die Energie der harmonischen Schwingung	345
13	Gleichgewicht und Elastizität		16-5 Das Torsionspendel	347
13-1	Gleichgewicht	272	16-6 Pendel	348
13-2	Bedingungen für das Gleichgewicht.....	273	16-7 Harmonische Schwingungen und die gleichförmige Kreisbewegung.....	354
13-3	Das Gravitationszentrum	274	16-8 Gedämpfte harmonische Schwingungen	355
13-4	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	276	16-9 Erzwungene Schwingungen und Resonanz	357
13-5	Unterbestimmte Strukturen	283	16-10 Das Foucaultsche Pendel	358
13-6	Elastizität	284	Zusammenfassung	359
	Zusammenfassung	289		
14			17	
	Gravitation		Wellen	
14-1	Die Gravitationskraft in unserem Kosmos	292	17-1 Wellen und Teilchen	362
14-2	Das Newtonsche Gravitationsgesetz	292	17-2 Wellenarten	362
14-3	Gravitation und das Superpositionsprinzip.....	294	17-3 Transversale und longitudinale Wellen ...	363
14-4	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche.....	297	17-4 Wellenlänge und Frequenz	364
14-5	Die Gravitation innerhalb der Erde	300	17-5 Die Geschwindigkeit einer fortlaufenden Welle	366
14-6	Die potenzielle Energie der Gravitation ..	301	17-6 Die Wellengeschwindigkeit für ein gespanntes Seil.....	370
14-7	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze	306	17-7 Energie und Leistung einer fortlaufenden Seilwelle	372
14-8	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	310	17-8 Das Superpositionsprinzip für Wellen	375
	Zusammenfassung	312	17-9 Die Interferenz von Wellen	375
15			17-10 Darstellung einer Welle durch einen Vektor	379
	Fluide		17-11 Stehende Wellen	380
15-1	Was ist ein Fluid?	316	17-12 Stehende Wellen und Resonanz	383
15-2	Dichte	316	Zusammenfassung	385
15-3	Druck	316		
15-4	Ruhende Fluide	318	18	
15-5	Druckmessung.....	321	Schallwellen	
15-6	Das Pascalsche Prinzip	322	18-1 Schallwellen	388
15-7	Das Archimedische Prinzip.....	324	18-2 Die Schallgeschwindigkeit.....	388
15-8	Ideale Fluide in Bewegung	327	18-3 Ausbreitung von Schallwellen	391
15-9	Die Kontinuitätsgleichung.....	328	18-4 Interferenz	394
15-10	Die Bernoulli-Gleichung.....	331	18-5 Schallintensität und Schallpegel	396
	Zusammenfassung	335	18-6 Musikalische Töne	400
			18-7 Schwebungen	402
			18-8 Der Doppler-Effekt	404

18-9	Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen	408	22	
	Zusammenfassung	409	Elektrische Ladung	
19	Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik		22-1 Elektromagnetismus	478
19-1	Thermodynamik.....	412	22-2 Elektrische Ladung	478
19-2	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik	412	22-3 Leiter und Isolatoren	480
19-3	Temperaturmessung	413	22-4 Das Coulombsche Gesetz.....	481
19-4	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skalen ...	415	Zusammenfassung	489
19-5	Wärmeausdehnung	417		
19-6	Temperatur und Wärme	419		
19-7	Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten	420		
19-8	Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung	426		
19-9	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	428		
19-10	Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik	429		
	Zusammenfassung	431		
20	Die kinetische Gastheorie		23	
20-1	Gase unter einem neuen Blickwinkel.....	434	Elektrische Felder	
20-2	Die Avogadro-Zahl	434	23-1 Ladungen und Kräfte - genauer betrachtet	492
20-3	Ideale Gase	435	23-2 Das elektrische Feld	492
20-4	Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit	438	23-3 Elektrische Feldlinien.....	493
20-5	Die kinetische Translationsenergie	441	23-4 Das elektrische Feld einer Punktladung ..	495
20-6	Die mittlere freie Weglänge	442	23-5 Das Feld eines elektrischen Dipols.....	497
20-7	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	444	23-6 Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung	498
20-8	Die molaren spezifischen Wärmen ideal er Gase	448	23-7 Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe.....	503
	Zusammenfassung	452	23-8 Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld	504
21	Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik		23-9 Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld	507
21-1	Gerichtete Prozesse	456	Zusammenfassung	510
21-2	Entropieänderungen	457		
21-3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	461	24	
21-4	Die Entropie in Aktion: Maschinen.....	462	Der Gaußsche Satz	
21-5	Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen..	468	24-1 Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht	512
21-6	Die Wirkungsgrade realer Maschinen	469	24-2 Fluss	512
21-7	Eine statistische Interpretation der Entropie.....	470	24-3 Fluss eines elektrischen Felds	513
	Zusammenfassung	474	24-4 Der Gaußsche Satz	517
			24-5 Gaußscher Satz und Coulombsches Gesetz	519
			24-6 Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters	520
			Zusammenfassung	524
25	Elektrisches Potenzial			
25-1	Elektrische potenzielle Energie	526		
25-2	Elektrisches Potenzial.....	527		
25-3	Äquipotenzialflächen.....	530		
25-4	Berechnung des Potenzials aus dem Feld	531		
25-5	Potenzial einer Punktladung.....	533		

25-6	Potenzial einer Gruppe von Punktladungen	535
25-7	Potenzial eines elektrischen Dipols	536
25-8	Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung	538
25-9	Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial	540
25-10	Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen.....	542
25-11	Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers	544
	Zusammenfassung	545

29

Magnetfelder

29-1	Das Magnetfeld	606
29-2	Definition von \vec{B}	606
29-3	Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons.....	611
29-4	Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt	612
29-5	Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn...	615
29-6	Zyklotron und Synchrotron	620
29-7	Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht.....	622
29-8	Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife.....	624
29-9	Magnetisches Dipolmoment	627

26

Kapazität

26-1	Kondensatoren und ihre Anwendungen ..	548
26-2	Kapazität	548
26-3	Berechnung der Kapazität	550
26-4	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	554
	Zusammenfassung	556

30

Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1	Das Magnetfeld eines Stroms	632
30-2	Die Kraft zwischen parallelen Strömen...	638
30-3	Das Ampèresche Gesetz	639
	Zusammenfassung	643

27

Elektrischer Strom und Widerstand

27-1	Ladung in Bewegung: Elektrische Ströme	560
27-2	Elektrischer Strom	560
27-3	Stromdichte	563
27-4	Widerstand und spezifischer Widerstand	567
27-5	Ohmsches Gesetz	570
27-6	Das Ohmsche Gesetz - mikroskopisch betrachtet	572
27-7	Elektrische Leistung in Stromkreisen....	574
27-8	Halbleiter	576
27-9	Supraleiter	577
	Zusammenfassung	579

31

Induktion und Induktivität

31-1	Zwei symmetrische Situationen	646
31-2	Zwei Experimente	646
31-3	Das Faradaysche Induktionsgesetz	647
31-4	Die Lenzsche Regel	650
31-5	Induktion und Energietransfer	653
31-6	Induzierte elektrische Felder	656
31-7	Induktivität	660
31-8	Selbstinduktion	661
	Zusammenfassung	663

28

Stromkreise

28-1	„Pumpen“ von Ladung	582
28-2	Arbeit, Energie und Spannung	582
28-3	Der einfache Stromkreis	584
28-4	Widerstände im einfachen Stromkreis	586
28-5	Potenzialdifferenzen	588
28-6	Verzweigte Stromkreise	591
28-7	Ampermeter und Voltmeter	599
28-8	Stromkreise mit Kondensator	599
	Zusammenfassung	603

32

Magnetismus und Materie

32-1	Magnete	666
32-2	Der Gaußsche Satz für Magnetfelder	666
32-3	Der Erdmagnetismus	667
32-4	Der Magnetismus von Elektronen	668

32-5	Magnetische Materialien	672	35-4	Abbildungen an Kugelspiegeln	756
32-6	Diamagnetismus	673	35-5	Sphärische brechende Flächen	759
32-7	Paramagnetismus	674		Zusammenfassung	764
32-8	Ferromagnetismus	676			
32-9	Induzierte magnetische Felder	679			
32-10	Der Verschiebungsstrom	682			
	Zusammenfassung	684			

36

Interferenz

36-1	Interferenz	766
36-2	Licht als Welle	766
36-3	Beugung	770
36-4	Der Doppelspaltversuch von Young	771
36-5	Kohärenz	774
36-6	Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt	775
36-7	Interferenz an dünnen Schichten	779
36-8	Das Michelson-Interferometer	785
	Zusammenfassung	786

37

Beugung

37-1	Beugung und die Wellentheorie des Lichts	790
37-2	Beugung am Einzelpunkt: Lokalisierung der Minima	791
37-3	Intensitäten bei der Beugung am Einzelpunkt - qualitative Betrachtung	794
37-4	Intensitäten bei der Beugung am Einzelpunkt - quantitative Betrachtung	796
37-5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	798
37-6	Beugung am Doppelspalt	801
37-7	Beugungsgitter	804
37-8	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen	807
37-9	Röntgenbeugung	810
	Zusammenfassung	812

38

Relativitätstheorie

38-1	Womit beschäftigt sich die Relativitätstheorie?	814
38-2	Die Postulate	814
38-3	Messung von Ereignissen	816
38-4	Die Relativität der Gleichzeitigkeit	817
38-5	Die Relativität der Zeit	819
38-6	Die Relativität der Länge	824
38-7	Die Lorentz-Transformation	826
38-8	Einige Folgen aus den Lorentz-Gleichungen	828
	Zusammenfassung	831

33

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

33-1	Neue Physik - alte Mathematik	688
33-2	LC-Schwingungen: Eine qualitative Diskussion	688
33-3	Die Analogie: Elektrischer und mechanischer Schwingkreis	691
33-4	LC-Schwingungen: Eine quantitative Diskussion	692
33-5	Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis	696
33-6	Wechselstrom	698
33-7	Erzwungene Schwingungen	699
33-8	Drei einfache Stromkreise	699
33-9	Der in Reihe geschaltete RLC-Kreis	706
33-10	Die Leistung in Wechselstromkreisen	710
33-11	Transformatoren	713
	Zusammenfassung	717

34

Die Maxwell-Gleichungen

34-1	Maxwells Regenbogen	720
34-2	Die Maxwell-Gleichungen	721
34-3	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen	723
34-4	Energietransport und Poynting-Vektor	730
34-5	Der Strahlungsdruck	733
34-6	Polarisation	736
34-7	Reflexion und Brechung	740
34-8	Innere Totalreflexion	746
34-9	Polarisation durch Reflexion	748
	Zusammenfassung	749

35

Abbildungen

35-1	Zwei Arten von Bildern	752
35-2	Ebene Spiegel	753
35-3	Kugelspiegel	754

39

Photonen und Materiefelder

39-1 Eine neue Welt	834
39-2 Das Photon: Teilchen des Lichts	834
39-3 Der photoelektrische Effekt.....	836
39-4 Photonen haben einen Impuls.....	839
39-5 Licht als Wahrscheinlichkeitswelle	843
39-6 Elektronen und Materiewellen.....	845
39-7 Die Schrödinger-Gleichung	848
39-8 Die Heisenbergsche Unschärferelation...	851
39-9 Der Tunneleffekt	852
39-10 Das Plancksche Strahlungsgesetz	855
Zusammenfassung	856

40

Mehr über Materiewellen

40-1 Der Aufbau der Atome	860
40-2 Wellen auf einem Seil und Materiewellen	860
40-3 Die eindimensionale Elektronenfalle	861
40-4 Das Elektron im Kastenpotenzial	865
40-5 Das Elektron im endlichen Kastenpotenzial	869
40-6 Realisierung von Elektronenfallen.....	872
40-7 Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	874
40-8 Das Bohrsche Modell des Wasserstoffatoms	876
Zusammenfassung	886

41-4 Das Stern-Gerlach-Experiment.....	895
41-5 Kernspinresonanz.....	898
41-6 Die Entdeckung des Atomkerns	899
41-7 Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	900
41-8 Radioaktiver Zerfall	905
41-9 Radiometrische Zeitmessung	911
41-10 Maße für Strahlungsdosen	912
Zusammenfassung	913

42

Metalle, Halbleiter und Isolatoren

42-1 Festkörper	918
42-2 Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern	918
42-3 Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper	919
42-4 Nichtleiter	920
42-5 Metalle	921
42-6 Halbleiter	927
42-7 Dotierte Halbleiter	929
42-8 Der <i>pn</i> -Übergang.....	932
42-9 Der Halbleiter-Gleichrichter	934
42-10 Anwendungen des <i>pn</i> -Übergangs.....	935
42-11 Der Transistor.....	938
Zusammenfassung	939

Anhang**41**

Atome und Radioaktivität

41-1 Einige Eigenschaften von Atomen.....	890
41-2 Der Spin des Elektrons.....	892
41-3 Drehimpulse und magnetische Dipolmomente	893

A Das Internationale Einheitensystem (SI)	942
B Astronomische Daten.....	944
C Umrechnungsfaktoren.....	945
D Mathematische Formeln.....	947
E Eigenschaften der Elemente	951
F Ergebnisse der Kontrollfragen	954
G Bildquellenverzeichnis	957
H Index	959