

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	10

2

Geradlinige Bewegung

2-1	Bewegung	12
2-2	Ort und Verschiebung	12
2-3	Durchschnittsgeschwindigkeit	13
2-4	Momentangeschwindigkeit	16
2-5	Beschleunigung	19
2-6	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Ein Sonderfall	22
2-7	Ein weiterer Zugang zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung	25
2-8	Der freie Fall	25
	Zusammenfassung	29

3

Vektoren

3-1	Vektoren und Skalare	32
3-2	Geometrische Addition von Vektoren	32
3-3	Komponenten von Vektoren	34
3-4	Einheitsvektoren	39
3-5	Vektoren komponentenweise addieren ...	40
3-6	Vektoren und physikalische Gesetze	42
3-7	Multiplikation von Vektoren	43
	Zusammenfassung	47

4

Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4-1	Bewegung in zwei oder drei Dimensionen	50
4-2	Ort und Verschiebung	50
4-3	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit	52
4-4	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung	54
4-5	Wurfbewegungen	57
4-6	Analyse der Wurfbewegung	58
4-7	Die gleichförmige Kreisbewegung	65
4-8	Relativbewegung in einer Dimension	67
4-9	Relativbewegung in zwei Dimensionen ...	69
	Zusammenfassung	71

5

Kraft und Bewegung – I

5-1	Wodurch wird Beschleunigung verursacht?	74
5-2	Das erste newtonsche Gesetz	74
5-3	Kraft	75
5-4	Masse	76
5-5	Das zweite newtonsche Gesetz	77
5-6	Einige besondere Kräfte	83
5-7	Das dritte newtonsche Gesetz	88
5-8	Anwendung der newtonschen Gesetze ...	89
	Zusammenfassung	98

6

Kraft und Bewegung – II

6-1	Reibung	100
6-2	Eigenschaften der Reibung	101

6-3	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit	106
6-4	Gleichförmige Kreisbewegung	109
	Zusammenfassung	115

7 ■

Kinetische Energie und Arbeit

7-1	Energie	118
7-2	Arbeit	119
7-3	Arbeit und kinetische Energie	120
7-4	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit	124
7-5	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit	130
7-6	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit	133
7-7	Leistung	136
	Zusammenfassung	139

8 ■

Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8-1	Potenzielle Energie	142
8-2	Wegunabhängigkeit von konservativen Kräften	143
8-3	Berechnung der potenziellen Energie	145
8-4	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik	149
8-5	Grafische Darstellung der potenziellen Energie	153
8-6	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit	156
8-7	Energieerhaltung	160
	Zusammenfassung	164

9 ■

Systeme von Teilchen

9-1	Ein besonderer Punkt	168
9-2	Der Schwerpunkt	168
9-3	Das zweite newtonsche Axiom für ein Teilchensystem	173
9-4	Der Impuls eines Teilchens	177
9-5	Der Impuls eines Teilchensystems	177
9-6	Die Impulserhaltung	179
9-7	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete	183
9-8	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie	186
	Zusammenfassung	189

10

Stoßprozesse

10-1	Was ist ein Stoß?	192
10-2	Kraftstoß und Impuls	193
10-3	Impuls und kinetische Energie bei Stoßprozessen	196
10-4	Inelastische, eindimensionale Stöße	197
10-5	Elastische, eindimensionale Stöße	201
10-6	Zweidimensionale Stöße	205
	Zusammenfassung	207

11

Die Rotation

11-1	Translation und Rotation	210
11-2	Rotationsvariable	210
11-3	Sind Winkelgrößen Vektoren?	214
11-4	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung	215
11-5	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation	217
11-6	Die kinetische Energie der Rotation	220
11-7	Berechnung des Trägheitsmoments	221
11-8	Das Drehmoment	225
11-9	Das zweite newtonsche Axiom für die Rotation	226
11-10	Arbeit und kinetische Energie der Rotation	229
	Zusammenfassung	234

12

Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1	Rollen	238
12-2	Die kinetische Energie der Rollbewegung	240
12-3	Kräfte bei der Rollbewegung	241
12-4	Ein Jo-Jo	243
12-5	Eine erweiterte Definition des Drehmoments	244
12-6	Der Drehimpuls	246
12-7	Das zweite newtonsche Axiom in Winkelschreibweise	248
12-8	Der Drehimpuls eines Teilchensystems ...	250
12-9	Der Drehimpuls eines rotierenden starrten Körpers	251
12-10	Die Erhaltung des Drehimpulses	254
	Zusammenfassung	261

Gleichgewicht und Elastizität

13-1	Gleichgewicht.....	264
13-2	Bedingungen für das Gleichgewicht.....	265
13-3	Das Gravitationszentrum.....	266
13-4	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	268
13-5	Unterbestimmte Strukturen	275
13-6	Elastizität.....	277
	Zusammenfassung	281

Gravitation

14-1	Die Gravitationskraft in unserem Kosmos.....	284
14-2	Das newtonsche Gravitationsgesetz	284
14-3	Gravitation und das Superpositionsprinzip.....	286
14-4	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche.....	289
14-5	Die Gravitation innerhalb der Erde	292
14-6	Die potenzielle Energie der Gravitation ..	293
14-7	Planeten und Satelliten: Die keplerschen Gesetze.....	298
14-8	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	302
14-9	Einstein und die Gravitation	305
	Zusammenfassung	306

Fluide

15-1	Fluide in unserer Umgebung.....	310
15-2	Was ist ein Fluid?	310
15-3	Dichte und Druck.....	310
15-4	Ruhende Fluide.....	313
15-5	Druckmessung.....	316
15-6	Das pascalsche Prinzip.....	317
15-7	Das archimedische Prinzip.....	318
15-8	Ideale Fluide in Bewegung	322
15-9	Die Kontinuitätsgleichung.....	323
15-10	Die Bernoulli-Gleichung.....	326
	Zusammenfassung	330

Schwingungen

16-1	Schwingungen	332
16-2	Harmonische Schwingungen	332

16-3	Das Kraftgesetz der harmonischen Schwingung	335
16-4	Die Energie der harmonischen Schwingung	339
16-5	Das Torsionspendel	341
16-6	Pendel	342
16-7	Harmonische Schwingungen und die gleichförmige Kreisbewegung	347
16-8	Gedämpfte harmonische Schwingungen	348
16-9	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	351
	Zusammenfassung	354



Wellen – I

17-1	Wellen und Teilchen	358
17-2	Wellenarten	358
17-3	Transversale und longitudinale Wellen ...	359
17-4	Wellenlänge und Frequenz	360
17-5	Die Geschwindigkeit einer fortlaufenden Welle	362
17-6	Die Wellengeschwindigkeit für ein gespanntes Seil	366
17-7	Energie und Leistung einer fortlaufenden Seilwelle	368
17-8	Das Superpositionsprinzip für Wellen	371
17-9	Die Interferenz von Wellen	371
17-10	Darstellung einer Welle durch einen Vektor	375
17-11	Stehende Wellen	376
17-12	Stehende Wellen und Resonanz	379
	Zusammenfassung	381



Wellen – II

18-1	Schallwellen	384
18-2	Die Schallgeschwindigkeit	384
18-3	Ausbreitung von Schallwellen	387
18-4	Interferenz	390
18-5	Schallintensität und Schallpegel	392
18-6	Musikalische Töne	396
18-7	Schwebungen	399
18-8	Der Doppler-Effekt	400
18-9	Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen	405
	Zusammenfassung	406

1

Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

19-1	Thermodynamik	410
19-2	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik	410
19-3	Temperaturmessung	411
19-4	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skalen ...	413
19-5	Wärmeausdehnung	415
19-6	Temperatur und Wärme	418
19-7	Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten	419
19-8	Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung	424
19-9	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	426
19-10	Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik	427
	Zusammenfassung	429

2

Die kinetische Gastheorie

20-1	Gase unter einem neuen Blickwinkel	432
20-2	Die Avogadro-Zahl	432
20-3	Ideale Gase	433
20-4	Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit	436
20-5	Die kinetische Translationsenergie	439
20-6	Die mittlere freie Weglänge	440
20-7	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	442
20-8	Die molaren spezifischen Wärmen idealer Gase	446
	Zusammenfassung	450

3

Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

21-1	Gerichtete Prozesse	454
21-2	Entropieänderungen	455
21-3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	459
21-4	Die Entropie in Aktion: Maschinen	460
21-5	Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen ..	466
21-6	Die Wirkungsgrade realer Maschinen	467
21-7	Eine statistische Interpretation der Entropie	468
	Zusammenfassung	472

2

Elektrische Ladung

22-1	Elektromagnetismus	476
22-2	Elektrische Ladung	476
22-3	Leiter und Isolatoren	478
22-4	Das coulombsche Gesetz	479
	Zusammenfassung	487

2

Elektrische Felder

23-1	Ladungen und Kräfte – genauer betrachtet	490
23-2	Das elektrische Feld	490
23-3	Elektrische Feldlinien.....	491
23-4	Das elektrische Feld einer Punktladung ..	493
23-5	Das Feld eines elektrischen Dipols.....	495
23-6	Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung	496
23-7	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe.....	502
23-8	Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld	503
23-9	Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld	505
	Zusammenfassung	508

2

Der gaußsche Satz

24-1	Das coulombsche Gesetz in neuem Licht	510
24-2	Fluss	510
24-3	Fluss eines elektrischen Felds	511
24-4	Der gaußsche Satz	515
24-5	Gaußscher Satz und coulombsches Gesetz	517
24-6	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters	518
	Zusammenfassung	521

2

Elektrisches Potenzial

25-1	Elektrische potenzielle Energie	524
25-2	Elektrisches Potenzial.....	525
25-3	Äquipotenzialflächen.....	528
25-4	Berechnung des Potenzials aus dem Feld	529
25-5	Potenzial einer Punktladung.....	531

25-6	Potenzial einer Gruppe von Punktladungen	532
25-7	Potenzial eines elektrischen Dipols	534
25-8	Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung	536
25-9	Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial	538
25-10	Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen	540
25-11	Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers	541
	Zusammenfassung	543

2

Kapazität

26-1	Kondensatoren und ihre Anwendungen ..	546
26-2	Kapazität	546
26-3	Berechnung der Kapazität	548
26-4	Parallelschaltungen und Reihenschaltungen von Kondensatoren	552
	Zusammenfassung	555

2

Elektrischer Strom und Widerstand

27-1	Ladung in Bewegung: Elektrische Ströme	558
27-2	Elektrischer Strom	558
27-3	Stromdichte	561
27-4	Widerstand und spezifischer Widerstand	565
27-5	Ohmsches Gesetz	569
27-6	Das ohmsche Gesetz – mikroskopisch betrachtet	570
27-7	Elektrische Leistung in Stromkreisen	572
27-8	Halbleiter	574
27-9	Supraleiter	575
	Zusammenfassung	576

2

Stromkreise

28-1	„Pumpen“ von Ladung	580
28-2	Arbeit, Energie und Spannung	580
28-3	Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis	582
28-4	Weitere unverzweigte Stromkreise	584
28-5	Potenzialdifferenzen	586

28-6	Verzweigte Stromkreise	589
28-7	Amperemeter und Voltmeter	597
28-8	RC-Kreise	597
	Zusammenfassung	601

2

Magnetfelder

29-1	Das Magnetfeld	604
29-2	Definition von \vec{B}	604
29-3	Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons	609
29-4	Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt	610
29-5	Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn...	613
29-6	Zyklotron und Synchrotron	618
29-7	Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht	620
29-8	Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife	622
29-9	Magnetisches Dipolmoment	625
	Zusammenfassung	627

3

Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1	Das Magnetfeld eines Stroms	630
30-2	Die Kraft zwischen parallelen Strömen...	636
30-3	Das amperesche Gesetz	638
	Zusammenfassung	641

3

Induktion und Induktivität

31-1	Zwei symmetrische Situationen	644
31-2	Zwei Experimente	644
31-3	Das faradaysche Induktionsgesetz	645
31-4	Die lenzsche Regel	648
31-5	Induktion und Energietransfer	651
31-6	Induzierte elektrische Felder	654
31-7	Induktivität	658
31-8	Selbstinduktion	659
	Zusammenfassung	661

3

Magnetismus und Materie: Die maxwellschen Gleichungen

32-1	Magnete	664
32-2	Der gaußsche Satz für Magnetfelder	664
32-3	Der Erdmagnetismus	665

32-4	Der Magnetismus von Elektronen	666
32-5	Magnetische Materialien	670
32-6	Diamagnetismus	671
32-7	Paramagnetismus.....	672
32-8	Ferromagnetismus.....	674
32-9	Induzierte magnetische Felder	677
32-10	Der Verschiebungsstrom	680
32-11	Die maxwellschen Gleichungen	682
	Zusammenfassung	683

3

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

33-1	Neue Physik – alte Mathematik.....	686
33-2	LC-Schwingungen: Eine qualitative Diskussion.....	686
33-3	Die Analogie: Elektrischer und mechanischer Schwingkreis	689
33-4	LC-Schwingungen: Eine quantitative Diskussion.....	690
33-5	Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis	694
33-6	Wechselstrom.....	695
33-7	Erzwungene Schwingungen	696
	Zusammenfassung	697

Elektromagnetische Wellen

34-1	Maxwells Regenbogen	700
34-2	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Qualitative Betrachtung	701
34-3	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Quantitative Betrachtung	704
34-4	Energietransport und Poynting-Vektor ...	707
34-5	Der Strahlungsdruck	709
34-6	Polarisation	712
34-7	Reflexion und Brechung	716
34-8	Innere Totalreflexion	721
34-9	Polarisation durch Reflexion.....	723
	Zusammenfassung	724

Abbildungen

35-1	Zwei Arten von Bildern	728
35-2	Ebene Spiegel.....	729
35-3	Kugelspiegel	730
35-4	Abbildungen an Kugelspiegeln	732
35-5	Sphärische brechende Flächen	735
	Zusammenfassung	741

Interferenz		
36-1	Interferenz	744
36-2	Licht als Welle	744
36-3	Beugung	748
36-4	Der Doppelspaltversuch von Young	749
36-5	Kohärenz	753
36-6	Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt	753
36-7	Interferenz an dünnen Schichten	757
36-8	Das Michelson-Interferometer	764
Zusammenfassung		765

Beugung		
37-1	Beugung und die Wellentheorie des Lichts	768
37-2	Beugung am Einzelspalt: Lokalisierung der Minima	769
37-3	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – qualitative Betrachtung	772
37-4	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – quantitative Betrachtung ..	773
37-5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung ..	776
37-6	Beugung am Doppelspalt	779
37-7	Beugungsgitter	782
37-8	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen	785
37-9	Röntgenbeugung	788
Zusammenfassung		790

Relativitätstheorie		
38-1	Womit beschäftigt sich die Relativitätstheorie?	792
38-2	Die Postulate	792
38-3	Messung von Ereignissen	794
38-4	Die Relativität der Gleichzeitigkeit	795
38-5	Die Relativität der Zeit	797
38-6	Die Relativität der Länge	802
38-7	Die Lorentz-Transformation	804
38-8	Einige Folgen aus den Lorentz-Gleichungen	806
Zusammenfassung		809

Photonen und Materiefelder

39-1	Eine neue Welt.....	812
39-2	Das Photon: Teilchen des Lichts	812
39-3	Der photoelektrische Effekt.....	814
39-4	Photonen haben einen Impuls.....	818
39-5	Licht als Wahrscheinlichkeitswelle	821
39-6	Elektronen und Materiewellen.....	823
39-7	Die Schrödinger-Gleichung	826
39-8	Die heisenbergsche Unschärferelation ...	829
39-9	Der Tunneleffekt	830
	Zusammenfassung	833

Mehr über Materiewellen

40-1	Der Aufbau der Atome	836
40-2	Wellen auf einem Seil und Materiewellen.....	836
40-3	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfalle	837
40-4	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial.....	841
40-5	Ein Elektron in einem endlichen Kastenpotenzial	846
40-6	Weitere Elektronenfallen	848
40-7	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	850
40-8	Das Wasserstoffatom.....	852
	Zusammenfassung	861

Atome

41-1	Unser atomares Weltbild	864
41-2	Einige Eigenschaften von Atomen.....	864
41-3	Der Spin des Elektrons.....	866

41-4	Drehimpulse und magnetische Dipolmomente	867
41-5	Das Stern-Gerlach-Experiment	869
	Zusammenfassung	872

4

Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

42-1	Festkörper	874
42-2	Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern	874
42-3	Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper	875
42-4	Nichtleiter	876
42-5	Metalle	877
42-6	Halbleiter	883
	Zusammenfassung	885

4

Kernphysik

43-1	Die Entdeckung des Atomkerns	888
43-2	Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	889
43-3	Radioaktiver Zerfall	894
43-4	Der Alpha-Zerfall	896
43-5	Der Beta-Zerfall	897
43-6	Radiometrische Zeitmessung	900
	Zusammenfassung	901

A	Das Internationale Einheitensystem (SI)	904
B	Wichtige physikalische Fundamentalkonstanten	906
C	Astronomische Daten	907
D	Umrechnungsfaktoren	908
E	Mathematische Formeln	910
F	Eigenschaften der Elemente	913
G	Periodensystem der Elemente	916
H	Bildquellenverzeichnis	917
I	Index	919