

Inhaltsverzeichnis

1

Messung und Maßeinheiten

1.1	Grundsätzliches zu Messungen	1
1.2	Zeit	6
1.3	Masse	8
1.4	Zusammenfassung	9
1.5	Aufgaben	10

2

Geradlinige Bewegung

2.1	Ort, Verschiebung und mittlere Geschwindigkeit	13
2.2	Momentangeschwindigkeit	19
2.3	Beschleunigung	21
2.4	Konstante Beschleunigung	24
2.5	Der freie Fall	30
2.6	Zusammenfassung	33
2.7	Fragen	34
2.8	Aufgaben	35

3

Vektoren

3.1	Vektoren und ihre Eigenschaften	41
3.2	Einheitsvektoren und Vektoraddition	48
3.3	Die Multiplikation von Vektoren	53
3.4	Felder	58
3.5	Partielle Ableitungen	60
3.6	Vektorableitungen	62
3.7	Komplexe Zahlen und Funktionen	65
3.8	Zusammenfassung	68
3.9	Fragen	69
3.10	Aufgaben	71

4

Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4.1	Ort und Verschiebung	77
4.2	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit	80
4.3	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung	82
4.4	Wurfbewegungen	85

4.5	Die gleichförmige Kreisbewegung	92
4.6	Relativbewegung in einer Dimension	95
4.7	Relativbewegung in zwei Dimensionen	98
4.8	Zusammenfassung	100
4.9	Fragen	101
4.10	Aufgaben	104

5

Kraft und Bewegung – I

5.1	Das erste und das zweite Newtonsche Gesetz	111
5.2	Einige besondere Kräfte	121
5.3	Die Newtonschen Gesetze in der Praxis	126
5.4	Zusammenfassung	136
5.5	Fragen	137
5.6	Aufgaben	139

6

Kraft und Bewegung – II

6.1	Reibung	145
6.2	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit	151
6.3	Gleichförmige Kreisbewegung	155
6.4	Scheinkräfte	161
6.5	Zusammenfassung	165
6.6	Fragen	166
6.7	Aufgaben	168

7

Kinetische Energie und Arbeit

7.1	Energie	175
7.2	Arbeit und kinetische Energie	178
7.3	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit	183
7.4	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit	188
7.5	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit	192
7.6	Leistung	197
7.7	Zusammenfassung	200
7.8	Fragen	201
7.9	Aufgaben	204

8

Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8.1	Potenzielle Energie	211
8.2	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik . .	219
8.3	Grafische Darstellung der potenziellen Energie	223
8.4	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit	228
8.5	Energieerhaltung	232
8.6	Zusammenfassung	238
8.7	Fragen	239
8.8	Aufgaben	241

9

Systeme von Teilchen

9.1	Der Schwerpunkt	251
9.2	Das zweite Newtonsche Gesetz für ein Teilchensystem	256
9.3	Der Impuls	261
9.4	Stoßprozesse: Der Kraftstoß	263
9.5	Die Impulserhaltung	267
9.6	Inelastische eindimensionale Stöße	272
9.7	Elastische eindimensionale Stöße	275
9.8	Zweidimensionale Stöße	279
9.9	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete	280
9.10	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie	283
9.11	Zusammenfassung	286
9.12	Fragen	288
9.13	Aufgaben	290

10

Die Rotation ausgedehnter Körper

10.1	Die Variablen der Rotation	301
10.2	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung	310
10.3	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation	313
10.4	Die kinetische Energie der Rotation	318
10.5	Die Berechnung des Trägheitsmoments	319
10.6	Das Drehmoment	324
10.7	Das zweite Newtonsche Gesetz für die Rotation	326
10.8	Arbeit und kinetische Energie der Rotation	330
10.9	Zusammenfassung	335
10.10	Fragen	337
10.11	Aufgaben	339

11

Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls

11.1	Die Rollbewegung	347
11.2	Kräfte und die kinetische Energie der Rollbewegung	349

11.3	Das Jo-Jo	354
11.4	Eine erweiterte Definition des Drehmoments	355
11.5	Der Drehimpuls	357
11.6	Das zweite Newtonsche Gesetz in Winkelschreibweise	360
11.7	Der Drehimpuls eines starren Körpers	363
11.8	Die Erhaltung des Drehimpulses	366
11.9	Die Präzession eines Kreisels	374
11.10	Zusammenfassung	376
11.11	Fragen	377
11.12	Aufgaben	379

12

Gleichgewicht und Elastizität

12.1	Gleichgewicht	387
12.2	Beispiele für statische Gleichgewichte	392
12.3	Elastizität	400
12.4	Zusammenfassung	407
12.5	Fragen	407
12.6	Aufgaben	409

13

Gravitation

13.1	Das Newtonsche Gravitationsgesetz	419
13.2	Gravitation und das Superpositionsprinzip	422
13.3	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche	425
13.4	Die Gravitation innerhalb der Erde	428
13.5	Die potenzielle Energie der Gravitation	430
13.6	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze	436
13.7	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie	439
13.8	Einstein und die Gravitation	443
13.9	Zusammenfassung	445
13.10	Fragen	446
13.11	Aufgaben	448

14

Fluide

14.1	Fluide, Dichte und Druck	455
14.2	Ruhende Fluide	459
14.3	Druckmessung	462
14.4	Das Pascalsche Prinzip	464
14.5	Das archimedische Prinzip	465
14.6	Die Kontinuitätsgleichung	470
14.7	Die Bernoulli-Gleichung	475
14.8	Zusammenfassung	479
14.9	Fragen	480
14.10	Aufgaben	481

15

Schwingungen

15.1	Harmonische Schwingungen	489
------	------------------------------------	-----

15.2	Die Energie einer harmonischen Schwingung	498
15.3	Das Torsionspendel	500
15.4	Pendel und Kreisbewegungen	502
15.5	Gedämpfte harmonische Schwingungen	509
15.6	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	514
15.7	Das Foucaultsche Pendel	518
15.8	Zusammenfassung	521
15.9	Fragen	522
15.10	Aufgaben	525

16

Wellen – I

16.1	Transversalwellen	531
16.2	Die Wellengeschwindigkeit eines gespannten Seils	542
16.3	Energie und Leistung einer sich ausbreitenden Seilwelle	544
16.4	Die Wellengleichung	547
16.5	Die Interferenz von Wellen	549
16.6	Darstellung von Wellen durch Zeiger	554
16.7	Stehende Wellen und Resonanz	556
16.8	Zusammenfassung	563
16.9	Fragen	564
16.10	Aufgaben	566

17

Wellen – II

17.1	Die Schallgeschwindigkeit	573
17.2	Die Ausbreitung von Schallwellen	577
17.3	Interferenz	580
17.4	Schallintensität und Schallpegel	583
17.5	Musikalische Töne	587
17.6	Schwebungen	592
17.7	Der Doppler-Effekt	594
17.8	Überschallgeschwindigkeit und Stoßwellen	600
17.9	Zusammenfassung	601
17.10	Fragen	602
17.11	Aufgaben	604

18

Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

18.1	Temperatur	611
18.2	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skala	615
18.3	Wärmeausdehnung	618
18.4	Die Absorption von Wärme	621
18.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	628
18.6	Mechanismen der Wärmeübertragung	635
18.7	Zusammenfassung	641
18.8	Fragen	642
18.9	Aufgaben	644

19

Die kinetische Gastheorie

19.1	Ein neuer Blick auf Gase	651
19.2	Ideale Gase	653
19.3	Druck, Temperatur und gemittelte Geschwindigkeiten	657
19.4	Kinetische Translationsenergie	661
19.5	Die mittlere freie Weglänge	662
19.6	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	664
19.7	Die molare Wärmekapazität idealer Gase	669
19.8	Freiheitsgrade und molare Wärmekapazität	674
19.9	Die adiabatische Expansion eines idealen Gases	678
19.10	Reale Gase	683
19.11	Zusammenfassung	686
19.12	Fragen	688
19.13	Aufgaben	690

20

Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

20.1	Entropie	695
20.2	Entropie in Aktion: Thermodynamische Maschinen	703
20.3	Kältemaschinen und reale Maschinen	709
20.4	Eine statistische Interpretation der Entropie	713
20.5	Zusammenfassung	718
20.6	Fragen	719
20.7	Aufgaben	720

21

Elektrische Ladung

21.1	Elektromagnetismus	727
21.2	Die elektrische Ladung ist quantisiert	740
21.3	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße	742
21.4	Zusammenfassung	743
21.5	Fragen	744
21.6	Aufgaben	746

22

Elektrische Felder

22.1	Das elektrische Feld	751
22.2	Das elektrische Feld einer Punktladung	754
22.3	Das elektrische Feld eines Dipols	757
22.4	Elektrisches Feld einer linearen Ladungsverteilung	760
22.5	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe	766
22.6	Punktladung im elektrischen Feld	768
22.7	Ein Dipol in einem elektrischen Feld	770

22.8 Zusammenfassung 774
 22.9 Fragen 775
 22.10 Aufgaben 777

23

Der Gaußsche Satz

23.1 Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht . 783
 23.2 Der Gaußsche Satz 789
 23.3 Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters 795
 23.4 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie 799
 23.5 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie 801
 23.6 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie 804
 23.7 Zusammenfassung 807
 23.8 Fragen 807
 23.9 Aufgaben 809

24

Das elektrische Potenzial

24.1 Das elektrische Potenzial 817
 24.2 Äquipotenzialflächen 823
 24.3 Das Potenzial von Punktladungen 827
 24.4 Das Potenzial eines elektrischen Dipols ... 830
 24.5 Das Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung 832
 24.6 Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial 835
 24.7 Die elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen 837
 24.8 Das Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers 841
 24.9 Zusammenfassung 843
 24.10 Fragen 844
 24.11 Aufgaben 845

25

Kapazität

25.1 Kondensatoren und ihre Anwendungen ... 851
 25.2 Die Berechnung der Kapazität 854
 25.3 Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren 859
 25.4 In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie 865
 25.5 Kondensator mit Dielektrikum 869
 25.6 Dielektrika und Gaußscher Satz 873
 25.7 Zusammenfassung 877
 25.8 Fragen 878
 25.9 Aufgaben 879

26

Elektrischer Strom und Widerstand

26.1 Ladung in Bewegung: Elektrischer Strom .. 885

26.2 Die Stromdichte 889
 26.3 Widerstand und spezifischer Widerstand .. 893
 26.4 Das Ohmsche Gesetz 898
 26.5 Elektrische Leistung in Stromkreisen 902
 26.6 Zusammenfassung 908
 26.7 Fragen 909
 26.8 Aufgaben 911

27

Stromkreise

27.1 Unverzweigte Stromkreise 917
 27.2 Verzweigte Stromkreise 928
 27.3 Amperemeter und Voltmeter 937
 27.4 RC-Kreise 938
 27.5 Zusammenfassung 944
 27.6 Fragen 944
 27.7 Aufgaben 946

28

Magnetfelder

28.1 Magnetfelder und die Definition von \vec{B} ... 953
 28.2 Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons 959
 28.3 Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt 961
 28.4 Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn ... 965
 28.5 Zyklotron und Synchrotron 970
 28.6 Die magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht 973
 28.7 Das Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife 975
 28.8 Das magnetische Dipolmoment 978
 28.9 Zusammenfassung 980
 28.10 Fragen 981
 28.11 Aufgaben 983

29

Magnetfelder aufgrund von Strömen

29.1 Das Magnetfeld um einen Strom 989
 29.2 Die Kraft zwischen parallelen Strömen 997
 29.3 Das Ampèresche Gesetz 999
 29.4 Zylinder- und Ringspulen 1003
 29.5 Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol 1006
 29.6 Zusammenfassung 1009
 29.7 Fragen 1009
 29.8 Aufgaben 1011

30

Induktion und Induktivität

30.1 Das Faradaysche Gesetz und die Lenzsche Regel 1017
 30.2 Induktion und Energietransfer 1026
 30.3 Induzierte elektrische Felder 1029
 30.4 Induktivität 1034

30.5	Selbstinduktion	1036
30.6	<i>RL</i> -Kreise	1038
30.7	Energiespeicherung im Magnetfeld	1042
30.8	Die Energiedichte eines Magnetfelds	1044
30.9	Gegeninduktion	1045
30.10	Zusammenfassung	1049
30.11	Fragen	1050
30.12	Aufgaben	1052

31

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

31.1	<i>LC</i> -Schwingungen	1061
31.2	Gedämpfte Schwingungen in einem <i>RLC</i> -Kreis	1070
31.3	Erzwungene Schwingungen	1072
31.4	Der Reihen- <i>RLC</i> -Kreis	1082
31.5	Leistung in Wechselstromkreisen	1088
31.6	Transformatoren	1091
31.7	Zusammenfassung	1096
31.8	Fragen	1098
31.9	Aufgaben	1099

32

Magnetismus und Materie

32.1	Der Gaußsche Satz für Magnetfelder	1105
32.2	Induzierte magnetische Felder	1107
32.3	Der Verschiebungsstrom und die Maxwell-Gleichungen	1110
32.4	Magnete	1116
32.5	Der Magnetismus von Elektronen	1118
32.6	Diamagnetismus	1124
32.7	Paramagnetismus	1126
32.8	Ferromagnetismus	1128
32.9	Zusammenfassung	1132
32.10	Fragen	1134
32.11	Aufgaben	1136

33

Elektromagnetische Wellen

33.1	Elektromagnetische Wellen	1141
33.2	Energietransport und Poynting-Vektor	1151
33.3	Der Strahlungsdruck	1154
33.4	Polarisation	1157
33.5	Reflexion und Brechung	1162
33.6	Totalreflexion	1169
33.7	Polarisation durch Reflexion	1170
33.8	Zusammenfassung	1172
33.9	Fragen	1173
33.10	Aufgaben	1175

34

Abbildungen

34.1	Bilder und ebene Spiegel	1183
34.2	Kugelspiegel	1187

34.3	Sphärische brechende Flächen	1193
34.4	Dünne Linsen	1196
34.5	Optische Instrumente	1203
34.6	Drei Herleitungen	1207
34.7	Zusammenfassung	1210
34.8	Fragen	1211
34.9	Aufgaben	1213

35

Interferenz

35.1	Licht als Welle	1219
35.2	Beugung am Doppelspalt	1225
35.3	Interferenz und Intensität	1232
35.4	Interferenz an dünnen Schichten	1237
35.5	Das Michelson-Interferometer	1245
35.6	Zusammenfassung	1246
35.7	Fragen	1247
35.8	Aufgaben	1249

36

Beugung

36.1	Beugung am Einzelspalt	1255
36.2	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt	1260
36.3	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	1265
36.4	Beugung am Doppelspalt	1269
36.5	Beugungsgitter	1273
36.6	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen	1277
36.7	Röntgenbeugung	1281
36.8	Zusammenfassung	1283
36.9	Fragen	1284
36.10	Aufgaben	1286

37

Relativitätstheorie

37.1	Gleichzeitigkeit und Zeitdilatation	1293
37.2	Die Relativität der Länge	1304
37.3	Die Lorentz-Transformation	1308
37.4	Die Relativität der Geschwindigkeiten	1314
37.5	Der Doppler-Effekt für Lichtwellen	1315
37.6	Impuls und Energie	1319
37.7	Zusammenfassung	1326
37.8	Fragen	1327
37.9	Aufgaben	1329

38

Photonen und Materiewellen

38.1	Das Photon: Teilchen des Lichts	1335
38.2	Der photoelektrische Effekt	1337
38.3	Photonenimpuls, Compton-Verschiebung und Lichtinterferenz	1341
38.4	Die Geburtsstunde der Quantenphysik	1348
38.5	Elektronen und Materiewellen	1350
38.6	Die Schrödinger-Gleichung	1354

38.7 Die Heisenbergsche Unschärferelation 1357
 38.8 Reflexion an einer Potenzienschwelle 1359
 38.9 Der Tunneleffekt 1361
 38.10 Zusammenfassung 1365
 38.11 Fragen 1366
 38.12 Aufgaben 1367

39

Mehr über Materiewellen

39.1 Die Energie eines Elektrons
 in einer Elektronenfall 1373
 39.2 Die Wellenfunktionen eines Elektrons
 in einem Kastenpotenzial 1380
 39.3 Das eindimensionale endliche
 Kastenpotenzial 1385
 39.4 Zwei- und dreidimensionale
 Elektronenfallen 1388
 39.5 Das Wasserstoffatom 1393
 39.6 Zusammenfassung 1406
 39.7 Fragen 1408
 39.8 Aufgaben 1409

40

Atome

40.1 Eigenschaften von Atomen 1415
 40.2 Das Stern-Gerlach-Experiment 1422
 40.3 Kernspinresonanz 1426
 40.4 Das Pauli-Prinzip 1428
 40.5 Der Aufbau des Periodensystems 1432
 40.6 Röntgenstrahlung 1435
 40.7 Laser 1440
 40.8 Zusammenfassung 1445
 40.9 Fragen 1447
 40.10 Aufgaben 1447

41

Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

41.1 Die elektrischen Eigenschaften
 von Metallen 1453
 41.2 Halbleiter und Dotierung 1466
 41.3 pn-Übergänge und Transistoren 1472
 41.4 Zusammenfassung 1480
 41.5 Fragen 1481
 41.6 Aufgaben 1482

42

Kernphysik

42.1 Die Entdeckung des Atomkerns 1487

42.2 Einige Eigenschaften
 von Atomkernen 1489
 42.3 Der radioaktive Zerfall 1497
 42.4 Der Alpha-Zerfall 1501
 42.5 Der Beta-Zerfall 1504
 42.6 Radiometrische Altersbestimmung 1508
 42.7 Maße für Strahlungsdosen 1509
 42.8 Kernmodelle 1511
 42.9 Zusammenfassung 1514
 42.10 Fragen 1515
 42.11 Aufgaben 1516

43

Kernenergie

43.1 Kernspaltung 1525
 43.2 Kernreaktoren 1531
 43.3 Ein natürlicher Kernreaktor 1536
 43.4 Thermonukleare Fusion:
 Der grundlegende Prozess 1538
 43.5 Thermonukleare Fusion in der Sonne
 und anderen Sternen 1541
 43.6 Kontrollierte thermonukleare Fusion 1544
 43.7 Zusammenfassung 1547
 43.8 Fragen 1548
 43.9 Aufgaben 1549

44

Quarks, Leptonen und der Urknall

44.1 Grundzüge der Teilchenphysik 1555
 44.2 Leptonen, Hadronen und Strangeness 1564
 44.3 Quarks und Austauschteilchen 1570
 44.4 Kosmologie 1577
 44.5 Zusammenfassung 1585
 44.6 Fragen 1585
 44.7 Aufgaben 1586

Anhang

A Das Internationale Einheitensystem (SI) 1594
 B Astronomische Daten 1596
 C Umrechnungsfaktoren 1597
 D Mathematische Formeln 1599
 E Eigenschaften der Elemente 1603
 F Antworten auf die Kontrollfragen und
 Fragen 1606
 G Stichwortverzeichnis 1614