

Inhaltsverzeichnis

1

Bewegung

1.1	Ort, Verschiebung und mittlere Geschwindigkeit	1
1.2	Momentangeschwindigkeit	4
1.3	Beschleunigung	5
1.4	Konstante Beschleunigung	8
1.5	Der freie Fall	12
1.6	Zwei und drei Raumdimensionen	14
1.7	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit	15
1.8	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung	18
1.9	Wurfbewegungen	19
1.10	Die gleichförmige Kreisbewegung	24
1.11	Relativbewegung in einer Dimension	26
1.12	Relativbewegung in zwei Dimensionen	28
1.13	Zusammenfassung	29
1.14	Fragen	31

2

Kraft und Bewegung

2.1	Das erste und das zweite Newtonsche Gesetz	35
2.2	Einige besondere Kräfte	42
2.3	Die Newtonschen Gesetze in der Praxis	47
2.4	Reibung	50
2.5	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit	54
2.6	Gleichförmige Kreisbewegung	56
2.7	Scheinkräfte	58
2.8	Zusammenfassung	61
2.9	Fragen	63

3

Kinetische Energie und Arbeit

3.1	Energie	69
3.2	Arbeit und kinetische Energie	71
3.3	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit	74

3.4	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit	76
3.5	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit	80
3.6	Leistung	83
3.7	Zusammenfassung	85
3.8	Fragen	86

4

Potenzielle Energie und Energieerhaltung

4.1	Potenzielle Energie	89
4.2	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik ..	94
4.3	Grafische Darstellung der potenziellen Energie	98
4.4	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit	101
4.5	Energieerhaltung	104
4.6	Zusammenfassung	107
4.7	Fragen	109

5

Systeme von Teilchen

5.1	Der Schwerpunkt	113
5.2	Das zweite Newtonsche Gesetz für ein Teilchensystem	116
5.3	Der Impuls	119
5.4	Stoßprozesse: Der Kraftstoß	121
5.5	Die Impulserhaltung	125
5.6	Inelastische eindimensionale Stöße	127
5.7	Elastische eindimensionale Stöße	129
5.8	Zweidimensionale Stöße	132
5.9	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete	133
5.10	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie	136
5.11	Zusammenfassung	138
5.12	Fragen	139

6

Die Rotation ausgedehnter Körper

6.1	Die Variablen der Rotation	143
-----	----------------------------------	-----

6.2	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung	148
6.3	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation	149
6.4	Die kinetische Energie der Rotation	152
6.5	Die Berechnung des Trägheitsmoments ...	154
6.6	Das Drehmoment.....	156
6.7	Das zweite Newtonsche Gesetz für die Rotation	158
6.8	Arbeit und kinetische Energie der Rotation	159
6.9	Zusammenfassung	162
6.10	Fragen	164

7

Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls

7.1	Die Rollbewegung	167
7.2	Kräfte und die kinetische Energie der Rollbewegung	169
7.3	Das Jo-Jo	172
7.4	Eine erweiterte Definition des Drehmoments	173
7.5	Der Drehimpuls	175
7.6	Das zweite Newtonsche Gesetz in Winkelschreibweise	177
7.7	Der Drehimpuls eines starren Körpers	179
7.8	Die Erhaltung des Drehimpulses	182
7.9	Die Präzession eines Kreisels	185
7.10	Zusammenfassung	187
7.11	Fragen	188

8

Gleichgewicht und Elastizität

8.1	Gleichgewicht	191
8.2	Beispiele für statische Gleichgewichte	195
8.3	Elastizität	198
8.4	Zusammenfassung	203
8.5	Fragen	203

9

Gravitation

9.1	Das Newtonsche Gravitationsgesetz	207
9.2	Gravitation und das Superpositions-prinzip	210
9.3	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche	211
9.4	Die Gravitation innerhalb der Erde	214
9.5	Die potenzielle Energie der Gravitation ...	216
9.6	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze	220
9.7	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie	223
9.8	Einstein und die Gravitation	225
9.9	Zusammenfassung	227
9.10	Fragen	229

10

Fluide

10.1	Fluide, Dichte und Druck	233
10.2	Ruhende Fluide	235
10.3	Druckmessung	238
10.4	Das Pascalsche Prinzip	240
10.5	Das archimedische Prinzip	241
10.6	Die Kontinuitätsgleichung	245
10.7	Die Bernoulli-Gleichung	248
10.8	Zusammenfassung	251
10.9	Fragen	252

11

Schwingungen

11.1	Harmonische Schwingungen.....	255
11.2	Die Energie einer harmonischen Schwingung	260
11.3	Das Torsionspendel	262
11.4	Pendel und Kreisbewegungen	264
11.5	Gedämpfte harmonische Schwingungen ..	269
11.6	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	271
11.7	Das Foucaultsche Pendel	273
11.8	Zusammenfassung	274
11.9	Fragen	275

12

Wellen – I

12.1	Transversalwellen.....	279
12.2	Die Wellengeschwindigkeit eines gespannten Seils	285
12.3	Energie und Leistung einer sich ausbreitenden Seilwelle	288
12.4	Die Wellengleichung	290
12.5	Die Interferenz von Wellen	293
12.6	Darstellung von Wellen durch Zeiger	297
12.7	Stehende Wellen und Resonanz	298
12.8	Zusammenfassung	304
12.9	Fragen	305

13

Wellen – II

13.1	Die Schallgeschwindigkeit	307
13.2	Die Ausbreitung von Schallwellen.....	310
13.3	Interferenz	314
13.4	Schallintensität und Schallpegel	316
13.5	Musikalische Töne	319
13.6	Schwebungen	322
13.7	Der Doppler-Effekt	323
13.8	Überschallgeschwindigkeit und Stoßwellen.....	328
13.9	Zusammenfassung	329
13.10	Fragen	330

1

Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

14.1	Temperatur	333
14.2	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skala	336
14.3	Wärmeausdehnung	339
14.4	Die Absorption von Wärme	341
14.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	347
14.6	Mechanismen der Wärmeübertragung	353
14.7	Zusammenfassung	358
14.8	Fragen	359

1

Die kinetische Gastheorie

15.1	Ein neuer Blick auf Gase	363
15.2	Ideale Gase	364
15.3	Druck, Temperatur und gemittelte Geschwindigkeiten	368
15.4	Kinetische Translationsenergie	371
15.5	Die mittlere freie Weglänge	372
15.6	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	374
15.7	Die molare Wärmekapazität idealer Gase	377
15.8	Freiheitsgrade und molare Wärmekapazität	382
15.9	Die adiabatische Expansion eines idealen Gases	385
15.10	Reale Gase	389
15.11	Zusammenfassung	392
15.12	Fragen	393

1

Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

16.1	Entropie	397
16.2	Entropie in Aktion: Thermodynamische Maschinen	402
16.3	Kältemaschinen und reale Maschinen	407
16.4	Eine statistische Interpretation der Entropie	411
16.5	Zusammenfassung	414
16.6	Fragen	416

1

Elektrische Ladung

17.1	Elektromagnetismus	419
17.2	Die elektrische Ladung ist quantisiert	426
17.3	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße	427
17.4	Zusammenfassung	429
17.5	Fragen	429

1

Elektrische Felder

18.1	Das elektrische Feld	433
18.2	Das elektrische Feld einer Punktladung	436
18.3	Das elektrische Feld eines Dipols	438
18.4	Elektrisches Feld einer linearen Ladungsverteilung	440
18.5	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe	444
18.6	Punktladung im elektrischen Feld	446
18.7	Ein Dipol in einem elektrischen Feld	448
18.8	Zusammenfassung	451
18.9	Fragen	452

1

Der Gaußsche Satz

19.1	Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht	455
19.2	Der Gaußsche Satz	458
19.3	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters	462
19.4	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie	465
19.5	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie	466
19.6	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie	469
19.7	Zusammenfassung	471
19.8	Fragen	472

2

Das elektrische Potenzial

20.1	Das elektrische Potenzial	475
20.2	Äquipotenzialflächen	479
20.3	Das Potenzial von Punktladungen	482
20.4	Das Potenzial eines elektrischen Dipols	485
20.5	Das Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung	487
20.6	Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial	490
20.7	Die elektrische potentielle Energie eines Systems von Punktladungen	492
20.8	Das Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers	493
20.9	Zusammenfassung	495
20.10	Fragen	497

2

Kapazität

21.1	Kondensatoren und ihre Anwendungen	499
21.2	Die Berechnung der Kapazität	502
21.3	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	506

21.4	In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie	511
21.5	Kondensator mit Dielektrikum	513
21.6	Dielektrika und Gaußscher Satz	517
21.7	Zusammenfassung	519
21.8	Fragen	520

2

Elektrischer Strom und Widerstand

22.1	Ladung in Bewegung: Elektrischer Strom ..	523
22.2	Die Stromdichte	525
22.3	Widerstand und spezifischer Widerstand ..	528
22.4	Das Ohmsche Gesetz	532
22.5	Elektrische Leistung in Stromkreisen	536
22.6	Zusammenfassung	541
22.7	Fragen	542

2

Stromkreise

23.1	Unverzweigte Stromkreise	545
23.2	Verzweigte Stromkreise	554
23.3	Amperemeter und Voltmeter	558
23.4	<i>RC</i> -Kreise	559
23.5	Zusammenfassung	563
23.6	Fragen	564

2

Magnetfelder

24.1	Magnetfelder und die Definition von \vec{B} ...	567
24.2	Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons	572
24.3	Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt	574
24.4	Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn ...	576
24.5	Zyklotron und Synchrotron	580
24.6	Die magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht	582
24.7	Das Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife	584
24.8	Das magnetische Dipolmoment	587
24.9	Zusammenfassung	589
24.10	Fragen	590

2

Magnetfelder aufgrund von Strömen

25.1	Das Magnetfeld um einen Strom	593
25.2	Die Kraft zwischen parallelen Strömen....	598
25.3	Das Ampèresche Gesetz	599
25.4	Zylinder- und Ringspulen	603
25.5	Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol	606
25.6	Zusammenfassung	609
25.7	Fragen	609

2

Induktion und Induktivität

26.1	Das Faradaysche Gesetz und die Lenzsche Regel	613
26.2	Induktion und Energietransfer	619
26.3	Induzierte elektrische Felder	622
26.4	Induktivität	625
26.5	Selbstinduktion	627
26.6	<i>RL</i> -Kreise	629
26.7	Energiespeicherung im Magnetfeld	632
26.8	Die Energiedichte eines Magnetfelds	634
26.9	Gegeninduktion	635
26.10	Zusammenfassung	637
26.11	Fragen	638

2

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

27.1	<i>LC</i> -Schwingungen	641
27.2	Gedämpfte Schwingungen in einem <i>RLC</i> -Kreis	647
27.3	Erzwungene Schwingungen	649
27.4	Der Reihen- <i>RLC</i> -Kreis	657
27.5	Leistung in Wechselstromkreisen	662
27.6	Transformatoren	664
27.7	Zusammenfassung	668
27.8	Fragen	669

2

Magnetismus und Materie

28.1	Der Gaußsche Satz für Magnetfelder	671
28.2	Induzierte magnetische Felder	673
28.3	Der Verschiebungstrom und die Maxwell-Gleichungen	675
28.4	Magnete	678
28.5	Der Magnetismus von Elektronen	680
28.6	Diamagnetismus	687
28.7	Paramagnetismus	688
28.8	Ferromagnetismus	691
28.9	Zusammenfassung	694
28.10	Fragen	696

2

Elektromagnetische Wellen

29.1	Elektromagnetische Wellen	699
29.2	Energietransport und Poynting-Vektor	707
29.3	Der Strahlungsdruck	710
29.4	Polarisation	712
29.5	Reflexion und Brechung	716
29.6	Totalreflexion	721
29.7	Polarisation durch Reflexion	723
29.8	Zusammenfassung	724
29.9	Fragen	726

30

Abbildungen

30.1	Bilder und ebene Spiegel	729
30.2	Kugelspiegel	733
30.3	Sphärische brechende Flächen	738
30.4	Dünne Linsen	740
30.5	Optische Instrumente	747
30.6	Drei Herleitungen	751
30.7	Zusammenfassung	753
30.8	Fragen	754

31

Interferenz

31.1	Licht als Welle	757
31.2	Beugung am Doppelspalt	761
31.3	Interferenz und Intensität	766
31.4	Interferenz an dünnen Schichten	770
31.5	Das Michelson-Interferometer	776
31.6	Zusammenfassung	777
31.7	Fragen	778

32

Beugung

32.1	Beugung am Einzelpunkt	781
32.2	Intensitäten bei der Beugung am Einzelpunkt	785
32.3	Beugung an einer kreisrunden Öffnung . . .	789
32.4	Beugung am Doppelpunkt	792
32.5	Beugungsgitter	795
32.6	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen	799
32.7	Röntgenbeugung	801
32.8	Zusammenfassung	804
32.9	Fragen	805

33

Relativitätstheorie

33.1	Gleichzeitigkeit und Zeitdilatation	807
33.2	Die Relativität der Länge	816
33.3	Die Lorentz-Transformation	818
33.4	Die Relativität der Geschwindigkeiten	822
33.5	Der Doppler-Effekt für Lichtwellen	823
33.6	Impuls und Energie	827
33.7	Zusammenfassung	833
33.8	Fragen	834

34

Photonen und Materiewellen

34.1	Das Photon: Teilchen des Lichts	837
34.2	Der photoelektrische Effekt	839
34.3	Photonenimpuls, Compton- Verschiebung und Lichtinterferenz	842
34.4	Die Geburtsstunde der Quantenphysik	848

34.5	Elektronen und Materiewellen	850
34.6	Die Schrödinger-Gleichung	854
34.7	Die Heisenbergsche Unschärferelation	857
34.8	Reflexion an einer Potenzialschwelle	858
34.9	Der Tunneleffekt	860
34.10	Zusammenfassung	863
34.11	Fragen	865

35

Mehr über Materiewellen

35.1	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfalle	867
35.2	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial	871
35.3	Das eindimensionale endliche Kastenpotenzial	875
35.4	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen	876
35.5	Das Wasserstoffatom	880
35.6	Zusammenfassung	891
35.7	Fragen	892

36

Atome

36.1	Eigenschaften von Atomen	895
36.2	Das Stern-Gerlach-Experiment	901
36.3	Kernspinresonanz	904
36.4	Das Pauli-Prinzip	906
36.5	Der Aufbau des Periodensystems	908
36.6	Röntgenstrahlung	911
36.7	Laser	915
36.8	Zusammenfassung	920
36.9	Fragen	921

37

Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

37.1	Die elektrischen Eigenschaften von Metallen	923
37.2	Halbleiter und Dotierung	930
37.3	pn-Übergänge und Transistoren	935
37.4	Zusammenfassung	943
37.5	Fragen	944

Anhang

A	Das Internationale Einheitensystem (SI)	948
B	Astronomische Daten	951
C	Umrechnungsfaktoren	952
D	Mathematische Formeln	954
E	Eigenschaften der Elemente	959
F	Antworten auf die Kontrollfragen und Fragen	962
G	Stichwortverzeichnis	970