

1	Einheitensysteme	1
1.1	Physikalische Größen und Maßeinheiten	3
1.2	Dimensionen physikalischer Größen	5
1.3	Die Exponentialschreibweise	6
1.4	Messgenauigkeit und Messfehler	8
1.5	Signifikante Stellen und Größenordnungen	11

Teil 1: Mechanik

2	Eindimensionale Bewegung	19
2.1	Verschiebung, Geschwindigkeit und Tempo	20
2.2	Beschleunigung	27
2.3	Gleichförmig beschleunigte Bewegung	29
2.4	Integration	39
3	Bewegung in zwei und drei Dimensionen	49
3.1	Der Verschiebungsvektor	50
3.2	Allgemeine Eigenschaften von Vektoren	50
3.3	Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung	55
3.4	Erster Spezialfall: Der schräge Wurf	60
3.5	Zweiter Spezialfall: Die Kreisbewegung	68
4	Die Newton'schen Axiome	77
4.1	Das erste Newton'sche Axiom: Das Trägheitsgesetz	78
4.2	Kraft, Masse und das zweite Newton'sche Axiom	79
4.3	Die Gewichtskraft	81
4.4	Die Naturkräfte	82
4.5	Kräfte diagramme und ihre Anwendung	85
4.6	Das dritte Newton'sche Axiom	94

- 4.7 Aufgabenstellungen mit zwei und mehr Körpern 96

- 5 Anwendungen der Newton'schen Axiome 105
 - 5.1 Reibung 106
 - 5.2 Krummlinige Bewegung 119
 - 5.3 Trägheits- oder Scheinkräfte 125
 - 5.4 Widerstandskräfte* 128
 - 5.5 Numerische Integration: Das Euler-Verfahren 129

- 6 Arbeit und Energie 139
 - 6.1 Arbeit und kinetische Energie 140
 - 6.2 Das Skalarprodukt 148
 - 6.3 Arbeit und Energie in drei Dimensionen 155
 - 6.4 Potenzielle Energie 157

- 7 Energieerhaltung 171
 - 7.1 Die Erhaltung der mechanischen Energie 172
 - 7.2 Der Energieerhaltungssatz 181
 - 7.3 Masse und Energie 191
 - 7.4 Quantisierung der Energie 194

- 8 Teilchensysteme und die Erhaltung des linearen Impulses 201
 - 8.1 Der Massenmittelpunkt 202
 - 8.2 Bestimmung des Massenmittelpunkts durch Integration 206
 - 8.3 Bewegung des Massenmittelpunkts 208
 - 8.4 Impulserhaltung 213
 - 8.5 Kinetische Energie eines Systems von Teilchen 218

8.6	Stöße	218
8.7	Das Massenmittelpunktsystem als Bezugssystem	233
8.8	Systeme mit veränderlicher Masse: Strahlantrieb	236
9	Drehbewegungen	247
9.1	Kinematik der Drehbewegung: Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung	248
9.2	Die kinetische Energie der Drehbewegung	251
9.3	Berechnung von Trägheitsmomenten	253
9.4	Das zweite Newton'sche Axiom für Drehbewegungen: Der Drehimpuls	262
9.5	Anwendungen des zweiten Newton'schen Axioms	265
9.6	Rollende Körper	272
10	Die Drehimpulserhaltung	287
10.1	Die Vektornatur der Rotation	288
10.2	Drehmoment und Drehimpuls	290
10.3	Die Drehimpulserhaltung	297
10.4	Die Quantisierung des Drehimpulses	309
R	Die spezielle Relativitätstheorie	317
R.1	Das Relativitätsprinzip und die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	318
R.2	Bewegte Stäbe	319
R.3	Bewegte Uhren	320
R.4	Noch einmal bewegte Stäbe	324
R.5	Weit voneinander entfernte Uhren und Gleichzeitigkeit	325
R.6	Anwendung der Gesetzmäßigkeiten der speziellen Relativitätstheorie	326
R.7	Relativistischer Impuls, Masse und Energie	329
11	Gravitation	333
11.1	Die Kepler'schen Gesetze	334

- 11.2 Das Newton'sche Gravitationsgesetz 337
- 11.3 Die potenzielle Energie der Gravitation 344
- 11.4 Das Gravitationsfeld 350
- 11.5 Berechnung des Gravitationsfelds einer Kugelschale durch Integration 354

12 Statisches Gleichgewicht und Elastizität 365

- 12.1 Gleichgewichtsbedingungen 366
- 12.2 Der Schwerpunkt 366
- 12.3 Einige Beispiele für statisches Gleichgewicht 367
- 12.4 Kräftepaare 375
- 12.5 Statisches Gleichgewicht in beschleunigten Bezugssystemen 376
- 12.6 Stabilität des Gleichgewichts 378
- 12.7 Unbestimmbare Probleme 380
- 12.8 Spannung und Dehnung 380

13 Fluide 391

- 13.1 Dichte 392
- 13.2 Druck in einem Fluid 393
- 13.3 Auftrieb und archimedisches Prinzip 399
- 13.4 Bewegte Fluide 405

Teil 2: Schwingungen und Wellen

14 Schwingungen 423

- 14.1 Harmonische Schwingung 424
- 14.2 Energie des harmonischen Oszillators 432
- 14.3 Einige schwingende Systeme 435
- 14.4 Gedämpfte Schwingungen 446
- 14.5 Erzwungene Schwingungen und Resonanz 451

15 Ausbreitung von Wellen 463

- 15.1 Einfache Wellenbewegungen 464
- 15.2 Periodische Wellen, harmonische Wellen 471

- 15.3 Wellen in drei Dimensionen 477
- 15.4 Wellenausbreitung an Hindernissen 482
- 15.5 Der Doppler-Effekt 487

- 16 Überlagerung und stehende Wellen 501
- 16.1 Überlagerung von Wellen 502
- 16.2 Stehende Wellen 510
- 16.3 Überlagerung von stehenden Wellen 518
- 16.4 Harmonische Analyse und Synthese 521
- 16.5 Wellenpakete und Dispersion 522

Teil 3: Thermodynamik

- 17 Temperatur und die kinetische Gastheorie 533
- 17.1 Thermisches Gleichgewicht und Temperatur 534
- 17.2 Celsius- und Fahrenheit-Skala 534
- 17.3 Gasthermometer und die absolute Temperatur 536
- 17.4 Die Zustandsgleichung für das ideale Gas 539
- 17.5 Die kinetische Gastheorie 542

- 18 Wärme und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik 553
- 18.1 Wärmekapazität und spezifische Wärmekapazität 554
- 18.2 Phasenübergänge und latente Wärme 557
- 18.3 Joules Experiment und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik 560
- 18.4 Die innere Energie eines idealen Gases 562
- 18.5 Volumenarbeit und das P - V -Diagramm eines Gases 563
- 18.6 Wärmekapazitäten von Gasen 567
- 18.7 Wärmekapazitäten von Festkörpern 572
- 18.8 Das Versagen des Gleichverteilungssatzes 573
- 18.9 Die reversible adiabatische Kompression eines Gases 576

- 19 Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik 585
 - 19.1 Wärmekraftmaschinen und der Zweite Hauptsatz 587
 - 19.2 Kältemaschinen und der Zweite Hauptsatz 591
 - 19.3 Die Gleichwertigkeit der Formulierungen des Zweiten Hauptsatzes 592
 - 19.4 Der Carnot'sche Kreisprozess 594
 - 19.5 Wärmepumpen 600
 - 19.6 Irreversibilität und Unordnung 601
 - 19.7 Entropie 602
 - 19.8 Entropie und die Verfügbarkeit der Energie 608
 - 19.9 Entropie und Wahrscheinlichkeit 609
 - 19.10 Der Dritte Hauptsatz 610

20 Thermische Eigenschaften und Vorgänge 617

- 20.1 Thermische Ausdehnung 618
- 20.2 Die Van-der-Waals-Gleichung und Flüssigkeits-Dampf-Isothermen 621
- 20.3 Phasendiagramme 623
- 20.4 Wärmeübertragung 624

Teil 4: Elektrizität und Magnetismus

- 21 Das elektrische Feld I: Diskrete Ladungsverteilungen 641
 - 21.1 Elektrische Ladung 642
 - 21.2 Leiter und Nichtleiter 644
 - 21.3 Das Coulomb'sche Gesetz 647
 - 21.4 Das elektrische Feld 652
 - 21.5 Elektrische Feldlinien 658
 - 21.6 Bewegung von Punktladungen in elektrischen Feldern 661
 - 21.7 Elektrische Dipole in elektrischen Feldern 665

- 22 Das elektrische Feld II: Kontinuierliche Ladungsverteilungen 673
 - 22.1 Berechnung von \mathbf{E} mit dem Coulomb'schen Gesetz 674
 - 22.2 Das Gauß'sche Gesetz 682
 - 22.3 Berechnung von \mathbf{E} mit dem Gauß'schen Gesetz 685
 - 22.4 Diskontinuität von \mathbf{E}_n 687
 - 22.5 Ladung und Feld auf Leiteroberflächen 689
 - 22.6 Ableitung des Gauß'schen Gesetzes aus dem Coulomb'schen Gesetz 691

- 23 Das elektrische Potenzial 713
 - 23.1 Die Potenzialdifferenz 714
 - 23.2 Das Potenzial eines Punktladungssystems 715
 - 23.3 Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem Potenzial 717
 - 23.4 Die Berechnung des elektrischen Potentials ϕ kontinuierlicher Ladungsverteilungen 722
 - 23.5 Äquipotenzialflächen 729

- 24 Elektrostatische Energie und Kapazität 745
 - 24.1 Die elektrische Energie 746
 - 24.2 Die Kapazität 749
 - 24.3 Speicherung elektrischer Energie 752
 - 24.4 Kondensatoren, Batterien und elektrische Stromkreise 756
 - 24.5 Dielektrika 762
 - 24.6 Molekulare Betrachtung von Dielektrika 768

- 25 Elektrischer Strom – Gleichstromkreise 781
 - 25.1 Elektrischer Strom und die Bewegung von Ladungsträgern 782
 - 25.2 Widerstand und Ohm'sches Gesetz 785
 - 25.3 Energetische Betrachtung elektrischer Stromkreise 787
 - 25.4 Zusammenschaltung von Widerständen 793

- 25.5 Die Kirchhoff'schen Regeln 799
- 25.6 *RC*-Stromkreise 808

- 26 Das Magnetfeld 823
 - 26.1 Die magnetische Kraft 824
 - 26.2 Die Bewegung einer Punktladung in einem Magnetfeld 830
 - 26.3 Das auf Leiterschleifen und Magnete ausgeübte Drehmoment 839
 - 26.4 Der Hall-Effekt 844

- 27 Quellen des Magnetfelds 853
 - 27.1 Das Magnetfeld bewegter Punktladungen 854
 - 27.2 Das Magnetfeld von Strömen: Das Biot-Savart'sche Gesetz 854
 - 27.3 Der Gauß'sche Satz für Magnetfelder 869
 - 27.4 Das Ampère'sche Gesetz 870
 - 27.5 Magnetismus in Materie 874

- 28 Die magnetische Induktion 893
 - 28.1 Der magnetische Fluss 894
 - 28.2 Induktionsspannung und Faraday'sches Gesetz 896
 - 28.3 Die Lenz'sche Regel 900
 - 28.4 Induktion durch Bewegung 905
 - 28.5 Wirbelströme 911
 - 28.6 Induktivität 912
 - 28.7 Die Energie des Magnetfelds 915
 - 28.8 *RL*-Stromkreise 916
 - 28.9 Magnetische Eigenschaften von Supraleitern 921

- 29 Wechselstromkreise 931
 - 29.1 Wechselstromgeneratoren 932
 - 29.2 Wechselspannung an einem Ohm'schen Widerstand 933
 - 29.3 Wechselstromkreise 936
 - 29.4 Zeigerdiagramme 940

- 29.5 *LC*- und *RLC*-Stromkreise ohne Wechsellspannungsquelle 941
- 29.6 Erzwungene Schwingungen in *RLC*-Stromkreisen 945
- 29.7 Der Transformator 953

- 30 Die Maxwell'schen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen 965
 - 30.1 Der Maxwell'sche Verschiebungsstrom 966
 - 30.2 Die Maxwell'schen Gleichungen 970
 - 30.3 Elektromagnetische Wellen 970
 - 30.4 Die Wellengleichung für elektromagnetische Wellen 979

Teil 5: Licht

- 31 Eigenschaften des Lichts 991
 - 31.1 Welle-Teilchen-Dualismus 992
 - 31.2 Lichtspektren 992
 - 31.3 Lichtquellen 993
 - 31.4 Die Lichtgeschwindigkeit 1001
 - 31.5 Die Ausbreitung des Lichts 1005
 - 31.6 Reflexion und Brechung 1006
 - 31.7 Polarisation 1017
 - 31.8 Ableitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes 1024

- 32 Optische Abbildungen 1033
 - 32.1 Spiegel 1034
 - 32.2 Linsen 1046
 - 32.3 Abbildungsfehler 1061
 - 32.4 Optische Instrumente 1062

- 33 Interferenz und Beugung 1079
 - 33.1 Phasendifferenz und Kohärenz 1080
 - 33.2 Interferenz an dünnen Schichten 1081
 - 33.3 Interferenzmuster beim Doppelspalt 1084
 - 33.4 Beugungsmuster beim Einzelspalt 1087
 - 33.5 Vektoraddition harmonischer Wellen 1091

33.6 Fraunhofer'sche und Fresnel'sche
Beugung 1099

33.7 Beugung und Auflösung 1100

33.8 Beugungsgitter 1103

Teil 6: Moderne Physik: Quantenmechanik, Relativitätstheorie und die Struktur der Materie

34 Welle-Teilchen-Dualismus und
Quantenphysik 1115

34.1 Licht 1116

34.2 Die Teilchennatur des Lichts:
Photonen 1117

34.3 Energiequantisierung in Atomen 1122

34.4 Elektronen und Materiewellen 1122

34.5 Die Interpretation der Wellenfunktion 1126

34.6 Der Welle-Teilchen-Dualismus 1128

34.7 Ein Teilchen im Kasten 1130

34.8 Erwartungswerte 1134

34.9 Energiequantisierung in anderen
Systemen 1137

35 Anwendungen der Schrödinger-
Gleichung 1143

35.1 Die Schrödinger-Gleichung 1144

35.2 Ein Teilchen im Kasten mit endlich hohem
Potenzial 1146

35.3 Der harmonische Oszillator 1148

35.4 Reflexion und Transmission von
Elektronenwellen an Potenzialbarrieren 1151

35.5 Die Schrödinger-Gleichung in drei
Dimensionen 1157

35.6 Die Schrödinger-Gleichung für zwei
identische Teilchen 1160

36 Atome 1165

36.1 Das Atom und die Atomspektren 1166

36.2 Das Bohr'sche Modell des
Wasserstoffatoms 1167

36.3 Quantentheorie der Atome 1171

36.4	Quantentheorie des Wasserstoffatoms	1174
36.5	Spin-Bahn-Kopplung und Feinstruktur	1179
36.6	Das Periodensystem der Elemente	1181
36.7	Spektren im sichtbaren und im Röntgenbereich	1189
37	Moleküle	1199
37.1	Die chemische Bindung	1200
37.2	Mehratomige Moleküle	1206
37.3	Energieniveaus und Spektren zweiatomiger Moleküle	1208
38	Festkörper	1219
38.1	Die Struktur von Festkörpern	1220
38.2	Eine mikroskopische Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit	1223
38.3	Das Fermi-Elektronengas	1227
38.4	Die Quantentheorie der elektrischen Leitfähigkeit	1233
38.5	Das Bändermodell der Festkörper	1235
38.6	Halbleiter	1237
38.7	Halbleiterübergangsschichten und Bauelemente	1238
38.8	Supraleitung	1244
38.9	Die Fermi-Dirac-Verteilung	1247
39	Relativitätstheorie	1255
39.1	Das Newton'sche Relativitätsprinzip	1256
39.2	Die Einstein'schen Postulate	1257
39.3	Die Lorentz-Transformation	1258
39.4	Uhrensynchronisation und Gleichzeitigkeit	1266
39.5	Die Geschwindigkeitstransformation	1273
39.6	Der relativistische Impuls	1276
39.7	Die relativistische Energie	1278
39.8	Die allgemeine Relativitätstheorie	1284
40	Kernphysik	1293
40.1	Eigenschaften der Kerne	1294

- 40.2 Radioaktivität 1297
- 40.3 Kernreaktionen 1304
- 40.4 Kernspaltung und Kernfusion 1306

- 41 Elementarteilchen und die Entstehung des Universums 1321
 - 41.1 Hadronen und Leptonen 1322
 - 41.2 Spin und Antiteilchen 1325
 - 41.3 Erhaltungssätze 1327
 - 41.4 Quarks 1332
 - 41.5 Feldquanten 1335
 - 41.6 Die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung 1335
 - 41.7 Das Standardmodell 1336
 - 41.8 Die Entwicklung des Universums 1337

Anhang

- A 1344
- B 1347
- C 1350
- D 1352
- Abbildungsnachweis 1359
- Index 1363