

Inhaltsverzeichnis

I Physikalische Größen und Messungen

1	Physikalische Größen und Messungen	3
1.1	Vom Wesen der Physik	5
1.2	Maßeinheiten	7
1.3	Dimensionen physikalischer Größen	11
1.4	Signifikante Stellen und Größenordnungen	13
1.5	Messgenauigkeit und Messfehler	16
	Im Kontext: Naturkonstanten und das Internationale Einheitensystem (SI)	25
	Zusammenfassung	27
	Aufgaben	28

II Mechanik

2	Mechanik von Massenpunkten	33
2.1	Verschiebung	35
2.2	Geschwindigkeit	37
2.3	Beschleunigung	49
2.4	Gleichförmig beschleunigte Bewegung in einer Dimension	53
2.5	Gleichförmig beschleunigte Bewegung in mehreren Dimensionen	62
	Im Kontext: Nutzung von GNSS in der Landwirtschaft – der Schlüssel zu Precision Farming, Smart Farming und Digital Farming	72
	Zusammenfassung	74
	Aufgaben	75
3	Die Newton'schen Axiome	79
3.1	Das erste Newton'sche Axiom: Das Trägheitsgesetz	81
3.2	Kraft und Masse	82
3.3	Das zweite Newton'sche Axiom	86
3.4	Gravitationskraft und Gewicht	89
3.5	Kräfte diagramme und ihre Anwendung	90
3.6	Das dritte Newton'sche Axiom	96
3.7	Kräfte bei der Kreisbewegung	96
	Im Kontext: Achterbahnen auf Geschwindigkeitsjagd	102
	Zusammenfassung	103
	Aufgaben	104
4	Weitere Anwendungen der Newton'schen Axiome	107
4.1	Reibung	109
4.2	Widerstandskräfte	119
4.3	Trägheits- oder Scheinkräfte	123
4.4	Die Gravitationskraft und die Kepler'schen Gesetze	128
4.5	Das Gravitationsfeld	138
	Im Kontext: Bremsenquietschen und Erdbeben – Probleme von Reibungsinstabilitäten ..	145
	Zusammenfassung	146
	Aufgaben	147
5	Energie und Arbeit	151
5.1	Arbeit	153
5.2	Leistung	161
5.3	Kinetische Energie	162

5.4	Potenzielle Energie	167
5.5	Energieerhaltung	175
	Im Kontext: Pumpspeicherkraftwerke (PSPKW) – Energie auf Abruf im Kontext der Energiewende	187
	Zusammenfassung	189
	Aufgaben	190
6	Der Impuls	193
6.1	Impulserhaltung	195
6.2	Stoßarten	199
6.3	Kraftstoß und zeitliches Mittel der Kraft	200
6.4	Inelastische Stöße	203
6.5	Elastische Stöße	205
	Im Kontext: Der Impuls im Fahrzeugcrash	212
	Zusammenfassung	214
	Aufgaben	215
7	Teilchensysteme	219
7.1	Mehrkörperprobleme	221
7.2	Der Massenmittelpunkt	224
7.3	Massenmittelpunktsbewegung und Impulserhaltung	230
7.4	Massenmittelpunktsarbeit und Energieerhaltung	233
7.5	*Stöße im Schwerpunktsystem	238
7.6	Systeme mit veränderlicher Masse und Strahlantrieb	240
	Im Kontext: Neuheiten bei Strahltriebwerken	245
	Zusammenfassung	248
	Aufgaben	249
8	Drehbewegungen	253
8.1	Kinematik der Drehbewegung: Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung ...	255
8.2	Die kinetische Energie der Drehbewegung	260
8.3	Berechnung von Trägheitsmomenten	261
8.4	Das Drehmoment	269
8.5	Gleichgewicht und Stabilität	279
8.6	Der Drehimpuls	283
8.7	Die Drehimpulserhaltung	290
8.8	Rollende Körper	296
8.9	Der Kreisel	302
	Im Kontext: Die Kunst, Pulsare zu recyceln	306
	Zusammenfassung	308
	Aufgaben	310
9	Mechanik deformierbarer Körper	315
9.1	Spannung und Dehnung	317
9.2	Kompression	320
9.3	Scherung	321
9.4	Zusammenhang zwischen E, K, G und μ	322
9.5	Elastische Energie und Hysterese	324
9.6	Biegung	324
	Im Kontext: Kohlenstoffnanoröhrchen: Klein und kräftig	331
	Zusammenfassung	333
	Aufgaben	334
10	Fluide	337
10.1	Dichte	339
10.2	Druck in einem Fluid	341

10.3	Auftrieb und archimedisches Prinzip	348
10.4	Molekulare Phänomene	353
10.5	Bewegte Fluide ohne Reibung	354
10.6	Bewegte Fluide mit Reibung	361
10.7	*Turbulenz	367
	Im Kontext: Coil-Rope-Effekt – Weshalb sich Honig wickelt wie ein Seil	370
	Zusammenfassung	372
	Aufgaben	374
III	Schwingungen und Wellen	
11	Schwingungen	379
11.1	Harmonische Schwingungen	381
11.2	Energie des harmonischen Oszillators	388
11.3	Beispiele für schwingende Systeme	391
11.4	Gedämpfte Schwingungen	401
11.5	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	406
	Im Kontext: Erdbebensicheres Bauen in Japan – Von der Pagode zum Hochhaus	413
	Zusammenfassung	415
	Aufgaben	416
12	Wellen	421
12.1	Einfache Wellenbewegungen	423
12.2	Periodische Wellen, harmonische Wellen	431
12.3	Energietransport und Intensität	435
12.4	Der Doppler-Effekt	440
12.5	Wellenausbreitung an Hindernissen	445
12.6	Überlagerung von Wellen	452
12.7	Stehende Wellen	460
12.8	*Harmonische Zerlegung und Wellenpakete	468
	Im Kontext: Die Physik der Musikinstrumente	474
	Zusammenfassung	476
	Aufgaben	480
IV	Thermodynamik	
13	Temperatur und der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik	487
13.1	Temperatur und der Nullte Hauptsatz	489
13.2	Temperaturmessgeräte und Temperaturskalen	490
13.3	Thermische Ausdehnung	494
	Im Kontext: Negative absolute Temperaturen	499
	Zusammenfassung	500
	Aufgaben	501
14	Die kinetische Gastheorie	503
14.1	Die Zustandsgleichung für das ideale Gas	505
14.2	Druck und Teilchengeschwindigkeit	511
14.3	Der Gleichverteilungssatz	517
14.4	Die mittlere freie Weglänge	517
14.5	*Die Van-der-Waals-Gleichung und Flüssigkeits-Dampf-Isothermen	519
	Im Kontext: Stau – Ein Beispiel für ein Vielteilchensystem	522
	Zusammenfassung	525
	Aufgaben	526

15	Wärme und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik	529
15.1	Wärmekapazität und spezifische Wärmekapazität	531
15.2	Phasenübergänge und latente Wärme	534
15.3	Phasendiagramme	536
15.4	Joules Experiment und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik	537
15.5	Die innere Energie eines idealen Gases	539
15.6	Volumenarbeit und das p - V -Diagramm eines Gases	540
15.7	Wärmekapazitäten von Festkörpern	544
15.8	Wärmekapazitäten von Gasen	545
15.9	Die reversible adiabatische Expansion eines Gases	550
	Im Kontext: Bleibt bei der Expansion des Universums die Gesamtenergie erhalten?	554
	Zusammenfassung	556
	Aufgaben	558
16	Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik	561
16.1	Wärmekraftmaschinen und der Zweite Hauptsatz	563
16.2	Kältemaschinen und der Zweite Hauptsatz	568
16.3	Der Carnot'sche Kreisprozess	570
16.4	*Wärmepumpen	575
16.5	Irreversibilität, Unordnung und Entropie	576
16.6	Entropie und die Verfügbarkeit der Energie	582
16.7	Entropie und Wahrscheinlichkeit	582
16.8	*Der Dritte Hauptsatz	583
	Im Kontext: Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik – warum es kein Patent auf ein Perpetuum mobile geben kann	585
	Zusammenfassung	587
	Aufgaben	588
17	Wärmeübertragung	591
17.1	Wärmeübertragungsarten	593
17.2	Wärmeleitung	593
17.3	Konvektion	599
17.4	Wärmestrahlung	599
	Im Kontext: Die städtische Wärmeinsel	602
	Zusammenfassung	604
	Aufgaben	605
 V Elektrizität und Magnetismus		
18	Das elektrische Feld I: Diskrete Ladungsverteilungen	609
18.1	Die elektrische Ladung	611
18.2	Leiter und Nichtleiter	614
18.3	Das Coulomb'sche Gesetz	615
18.4	Das elektrische Feld	619
18.5	Elektrische Feldlinien	627
18.6	Wirkung von elektrischen Feldern auf Ladungen	631
	Im Kontext: Das elektrische Feld und die Verbrechensaufklärung	637
	Zusammenfassung	639
	Aufgaben	640
19	Das elektrische Feld II: Kontinuierliche Ladungsverteilungen	643
19.1	Das Konzept der Ladungsdichte	645
19.2	Berechnung von E mit dem Coulomb'schen Gesetz	645
19.3	Das Gauß'sche Gesetz	651
19.4	Berechnung von E mit dem Gauß'schen Gesetz	655
19.5	Diskontinuität von E_n	660

19.6	Ladung und Feld auf Leiteroberflächen	661
19.7	*Die Äquivalenz des Gauß'schen und des Coulomb'schen Gesetzes	664
	Im Kontext: Warum Gewitter nicht überall gleich häufig auftreten	666
	Zusammenfassung	668
	Aufgaben	669
20	Das elektrische Potenzial	673
20.1	Die Potentialdifferenz	675
20.2	Das Potenzial eines Punktladungssystems	678
20.3	Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem Potenzial	684
20.4	Die Berechnung des elektrischen Potentials ϕ kontinuierlicher Ladungsverteilungen ..	687
20.5	Äquipotenzialflächen	695
20.6	Die elektrische Energie	701
	Im Kontext: Blitze am Saturn	704
	Zusammenfassung	706
	Aufgaben	708
21	Die Kapazität	711
21.1	Die Kapazität	713
21.2	Speicherung elektrischer Energie	717
21.3	Kondensatoren, Batterien und elektrische Stromkreise	721
21.4	Dielektrika	729
21.5	Molekulare Betrachtung von Dielektrika	735
	Im Kontext: „Kapazität“ – von der Schwierigkeit, elektrische Energie zu speichern	740
	Zusammenfassung	742
	Aufgaben	743
22	Elektrischer Strom – Gleichstromkreise	747
22.1	Elektrischer Strom und die Bewegung von Ladungsträgern	749
22.2	Widerstand und Ohm'sches Gesetz	753
22.3	Energetische Betrachtung elektrischer Stromkreise	757
22.4	Zusammenschaltung von Widerständen	762
22.5	Die Kirchhoff'schen Regeln	768
22.6	RC-Stromkreise	778
	Im Kontext: Elektromobilität – ein Thema in Bewegung	785
	Zusammenfassung	787
	Aufgaben	788
23	Das Magnetfeld	793
23.1	Die magnetische Kraft	795
23.2	Die Bewegung einer Punktladung in einem Magnetfeld	801
23.3	Das auf Leiterschleifen und Magnete ausgeübte Drehmoment	809
23.4	*Der Hall-Effekt	813
	Im Kontext: Wie geomagnetische Stürme die Orientierung von Pottwalen stören können ..	817
	Zusammenfassung	819
	Aufgaben	820
24	Quellen des Magnetfelds	823
24.1	Das Magnetfeld bewegter Punktladungen	825
24.2	Das Magnetfeld von Strömen: Das Biot-Savart'sche Gesetz	826
24.3	Der Gauß'sche Satz für Magnetfelder	841
24.4	Das Ampère'sche Gesetz	842
24.5	Magnetismus in Materie	847
	Im Kontext: Magnetfelder für die Forschung	857
	Zusammenfassung	859
	Aufgaben	861

25	Die magnetische Induktion	865
25.1	Der magnetische Fluss	867
25.2	Induktionsspannung und Faraday'sches Gesetz	868
25.3	Die Lenz'sche Regel	872
25.4	Induktion durch Bewegung	876
25.5	Wirbelströme	881
25.6	Induktivität	882
25.7	Die Energie des Magnetfelds	884
25.8	RL-Stromkreise	886
	Im Kontext: Energiesparen mit dem Induktionsherd	890
	Zusammenfassung	892
	Aufgaben	893
26	Wechselstromkreise	897
26.1	Wechselspannung an einem Ohm'schen Widerstand	899
26.2	Wechselstromkreise	902
26.3	Der Transformator	905
26.4	LC- und RLC-Stromkreise ohne Wechselspannungsquelle	908
26.5	*Zeigerdiagramme	913
26.6	*Erzwungene Schwingungen in RLC-Stromkreisen	914
	Im Kontext: Smart Grids – Herausforderungen an das Stromnetz durch die Energiewende	922
	Zusammenfassung	924
	Aufgaben	925
27	Die Maxwell'schen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen	931
27.1	Der Maxwell'sche Verschiebungsstrom	933
27.2	Die Maxwell'schen Gleichungen	936
27.3	Die Wellengleichung für elektromagnetische Wellen	937
27.4	Elektromagnetische Strahlung	941
	Im Kontext: Kreisel im Magnetfeld	951
	Zusammenfassung	952
	Aufgaben	953
VI	Optik	
28	Eigenschaften des Lichts	957
28.1	Die Lichtgeschwindigkeit	959
28.2	Die Ausbreitung des Lichts	962
28.3	Reflexion und Brechung	962
28.4	*Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes	972
28.5	Polarisation	975
28.6	Lichtspektren	982
	Im Kontext: Licht als Werkzeug in der Biophysik	984
	Zusammenfassung	986
	Aufgaben	987
29	Geometrische Optik	991
29.1	Spiegel	992
29.2	Linsen	1002
29.3	Abbildungsfehler	1015
29.4	Optische Instrumente	1016
	Im Kontext: Hieroglyphen aus Licht	1024
	Zusammenfassung	1026
	Aufgaben	1028

30	Interferenz und Beugung	1033
30.1	Phasendifferenz und Kohärenz	1035
30.2	Interferenz an dünnen Schichten	1036
30.3	Interferenzmuster beim Doppelspalt	1039
30.4	Beugungsgitter	1042
30.5	Fraunhofer'sche und Fresnel'sche Beugung	1044
30.6	Beugungsmuster beim Einzelspalt	1046
30.7	*Vektoraddition harmonischer Wellen	1050
30.8	Beugung und Auflösung	1056
	Im Kontext: Interferenz in der optischen Messtechnik	1060
	Zusammenfassung	1062
	Aufgaben	1063

VII Einsteins Relativitätstheorien

31	Die Relativitätstheorien	1069
31.1	Das Relativitätsprinzip	1071
31.2	Die Einstein'schen Postulate	1072
31.3	Die Lorentz-Transformation	1073
31.4	Uhrensynchronisation und Gleichzeitigkeit	1080
31.5	Die Geschwindigkeitstransformation	1086
31.6	*Der relativistische Impuls	1089
31.7	*Die relativistische Energie	1091
31.8	*Minkowski-Diagramme	1096
31.9	*Die allgemeine Relativitätstheorie	1098
	Im Kontext: Die Glocken des Universums – Neutronensterne und Schwarze Löcher	1102
	Zusammenfassung	1105
	Aufgaben	1107

VIII Quantenmechanik

32	Einführung in die Quantenphysik	1111
32.1	Wellen und Teilchen	1113
32.2	Licht als Teilchen: Photonen	1113
32.3	Teilchen als Materiewellen	1118
32.4	Die Schrödinger-Gleichung	1121
32.5	Der Welle-Teilchen-Dualismus	1124
32.6	*Erwartungswerte und klassischer Grenzfall	1125
	Im Kontext: Zwischen Quantenmechanik und klassischer Mechanik	1130
	Zusammenfassung	1131
	Aufgaben	1132
33	Anwendungen der Schrödinger-Gleichung	1135
33.1	Ein Teilchen im Kasten mit unendlich hohem Potenzial	1137
33.2	Ein Teilchen im Kasten mit endlich hohem Potenzial	1140
33.3	Der harmonische Oszillator	1142
33.4	Reflexion und Transmission von Elektronenwellen an Potenzialbarrieren	1145
33.5	*Die Schrödinger-Gleichung in drei Dimensionen	1150
33.6	Die Schrödinger-Gleichung für zwei identische Teilchen	1153
	Im Kontext: Spinnetzwerke und -schäume: Auf der Suche nach einer Quantisierung der Relativitätstheorie	1155
	Zusammenfassung	1157
	Aufgaben	1158

IX Atome und Moleküle

34	Atome	1163
34.1	Das Atom und die Atomspektren	1165
34.2	Das Bohr'sche Modell des Wasserstoffatoms	1166
34.3	Quantentheorie der Atome	1170
34.4	Quantentheorie des Wasserstoffatoms	1172
34.5	*Spin-Bahn-Kopplung und Feinstruktur	1179
34.6	Das Periodensystem der Elemente	1181
34.7	Spektren im sichtbaren und im Röntgenbereich	1190
34.8	Laser	1194
	Im Kontext: Superschwere Elemente	1198
	Zusammenfassung	1200
	Aufgaben	1202
35	Moleküle	1205
35.1	Die chemische Bindung	1206
35.2	*Mehratomige Moleküle	1213
35.3	*Energieniveaus und Spektren zweiatomiger Moleküle	1215
35.4	*Freiheitsgrade und der Gleichverteilungssatz	1221
	Im Kontext: Molekülschwingungen und Infrarotspektroskopie	1225
	Zusammenfassung	1227
	Aufgaben	1228

X Festkörperphysik

36	Festkörper	1233
36.1	Die Struktur von Festkörpern	1234
36.2	Kristallgitter	1234
36.3	Streuung an periodischen Strukturen	1238
	Im Kontext: Die Wunderwelt des Kohlenstoffs	1240
	Zusammenfassung	1242
	Aufgaben	1242
37	Elektrische Eigenschaften von Festkörpern	1245
37.1	Eine mikroskopische Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit	1247
37.2	Freie Elektronen im Festkörper	1249
37.3	Die Quantentheorie der elektrischen Leitfähigkeit	1255
37.4	Das Bändermodell der Festkörper	1256
37.5	Halbleiter	1259
37.6	*Halbleiterübergangsschichten und Bauelemente	1260
37.7	*Supraleitung	1265
37.8	*Die Fermi-Dirac-Verteilung	1268
	Im Kontext: Supraleitung und Magnetismus	1271
	Zusammenfassung	1272
	Aufgaben	1274

XI Kern- und Teilchenphysik

38	Kernphysik	1279
38.1	Eigenschaften der Kerne	1281
38.2	Radioaktivität	1284
38.3	Kernreaktionen	1290
38.4	Kernspaltung und Kernfusion	1292
38.5	Dosimetrie	1299

	Im Kontext: Energie aus der Fusion schwerer Wasserstoffkerne – das Großexperiment	
	Wendelstein 7-X	1302
	Zusammenfassung	1304
	Aufgaben	1305
39	*Teilchenphysik	1309
39.1	*Hadronen und Leptonen	1311
39.2	*Spin und Antiteilchen	1313
39.3	*Erhaltungssätze	1315
39.4	*Quarks	1318
39.5	*Feldquanten	1321
39.6	*Die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung	1321
39.7	*Das Standardmodell	1323
39.8	*Moderne Teilchenbeschleuniger und Detektoren	1324
	Im Kontext: Die Suche nach dem Higgs	1332
	Im Kontext: Auf Neutrinosuche mit dem weltgrößten Eiswürfel	1334
	Zusammenfassung	1336
	Aufgaben	1337
XII	Anhang	
40	Tabellen	1341
40.1	Einheiten, Symbole und Umrechnungsfaktoren	1342
40.2	Wichtige physikalische Größen und Konstanten	1346
40.3	Die chemischen Elemente	1350
	Serviceteil	1353
	Stichwortverzeichnis	1355