

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil I Physikalische Größen und Messungen</b>	
<b>1</b>	<b>Physikalische Größen und Messungen</b> . . . . . 3
1.1	Vom Wesen der Physik . . . . . 4
1.2	Maßeinheiten . . . . . 5
1.3	Dimensionen physikalischer Größen . . . . . 9
1.4	Signifikante Stellen und Größenordnungen . . . . . 10
1.5	Messgenauigkeit und Messfehler . . . . . 14
	Zusammenfassung . . . . . 24
	Aufgaben . . . . . 25
<b>Teil II Mechanik</b>	
<b>2</b>	<b>Mechanik von Massepunkten</b> . . . . . 29
2.1	Verschiebung . . . . . 30
2.2	Geschwindigkeit . . . . . 32
2.3	Beschleunigung . . . . . 43
2.4	Gleichförmig beschleunigte Bewegung in einer Dimension . . . . . 50
2.5	Gleichförmig beschleunigte Bewegung in mehreren Dimensionen . . . . . 60
	Zusammenfassung . . . . . 74
	Aufgaben . . . . . 76
<b>3</b>	<b>Die Newton'schen Axiome</b> . . . . . 83
3.1	Das erste Newton'sche Axiom: Das Trägheitsgesetz . . . . . 84
3.2	Kraft und Masse . . . . . 85
3.3	Das zweite Newton'sche Axiom . . . . . 88
3.4	Gravitationskraft und Gewicht . . . . . 91
3.5	Kräftediagramme und ihre Anwendung . . . . . 93
3.6	Das dritte Newton'sche Axiom . . . . . 100
3.7	Kräfte bei der Kreisbewegung . . . . . 102
	Zusammenfassung . . . . . 109
	Aufgaben . . . . . 111
	XVII

<b>4</b>	<b>Weitere Anwendungen der Newton'schen Axiome</b> . . . . .	117
4.1	Reibung . . . . .	118
4.2	Widerstandskräfte . . . . .	131
4.3	Trägheits- oder Scheinkräfte . . . . .	134
4.4	Die Gravitationskraft und die Kepler'schen Gesetze . . . . .	139
4.5	Das Gravitationsfeld . . . . .	148
	Zusammenfassung . . . . .	158
	Aufgaben . . . . .	160
<b>5</b>	<b>Energie und Arbeit</b> . . . . .	167
5.1	Arbeit . . . . .	168
5.2	Leistung . . . . .	175
5.3	Kinetische Energie . . . . .	176
5.4	Potenzielle Energie . . . . .	182
5.5	Energieerhaltung . . . . .	190
	Zusammenfassung . . . . .	208
	Aufgaben . . . . .	210
<b>6</b>	<b>Der Impuls</b> . . . . .	219
6.1	Impulserhaltung . . . . .	220
6.2	Stoßarten . . . . .	226
6.3	Kraftstoß und zeitliches Mittel der Kraft . . . . .	226
6.4	Inelastische Stöße . . . . .	233
6.5	Elastische Stöße . . . . .	238
	Zusammenfassung . . . . .	245
	Aufgaben . . . . .	247
<b>7</b>	<b>Teilchensysteme</b> . . . . .	253
7.1	Mehrkörperprobleme . . . . .	254
7.2	Der Massenmittelpunkt . . . . .	257
7.3	Massenmittelpunktsbewegung und Impulserhaltung . . . . .	262
7.4	Massenmittelpunktsarbeit und Energieerhaltung . . . . .	266
7.5	*Stöße im Schwerpunktsystem . . . . .	273
7.6	Systeme mit veränderlicher Masse und Strahlantrieb . . . . .	275
	Zusammenfassung . . . . .	283
	Aufgaben . . . . .	285

<b>8</b>	<b>Drehbewegungen</b> . . . . .	291
8.1	Kinematik der Drehbewegung: Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung . . . . .	292
8.2	Die kinetische Energie der Drehbewegung . . . . .	295
8.3	Berechnung von Trägheitsmomenten . . . . .	297
8.4	Das Drehmoment . . . . .	306
8.5	Gleichgewicht und Stabilität . . . . .	318
8.6	Der Drehimpuls . . . . .	322
8.7	Die Drehimpulserhaltung . . . . .	327
8.8	Rollende Körper . . . . .	336
8.9	Der Kreisel . . . . .	342
	Zusammenfassung . . . . .	350
	Aufgaben . . . . .	352
<b>9</b>	<b>Mechanik deformierbarer Körper</b> . . . . .	359
9.1	Spannung und Dehnung . . . . .	360
9.2	Kompression . . . . .	362
9.3	Scherung . . . . .	364
9.4	Zusammenhang zwischen $E$ , $K$ , $G$ und $\mu$ . . . . .	365
9.5	Elastische Energie und Hysterese . . . . .	366
9.6	Biegung . . . . .	367
	Zusammenfassung . . . . .	375
	Aufgaben . . . . .	377
<b>10</b>	<b>Fluide</b> . . . . .	381
10.1	Dichte . . . . .	382
10.2	Druck in einem Fluid . . . . .	384
10.3	Auftrieb und archimedisches Prinzip . . . . .	392
10.4	Molekulare Phänomene . . . . .	397
10.5	Bewegte Fluide ohne Reibung . . . . .	398
10.6	Bewegte Fluide mit Reibung . . . . .	404
10.7	*Turbulenz . . . . .	409
	Zusammenfassung . . . . .	413
	Aufgaben . . . . .	416
<b>Teil III Schwingungen und Wellen</b>		
<b>11</b>	<b>Schwingungen</b> . . . . .	423
11.1	Harmonische Schwingungen . . . . .	424
11.2	Energie des harmonischen Oszillators . . . . .	431
11.3	Beispiele für schwingende Systeme . . . . .	434
11.4	Gedämpfte Schwingungen . . . . .	445
11.5	Erzwungene Schwingungen und Resonanz . . . . .	452
	Zusammenfassung . . . . .	459
	Aufgaben . . . . .	461

<b>12</b>	<b>Wellen</b>	467
12.1	Einfache Wellenbewegungen	468
12.2	Periodische Wellen, harmonische Wellen	475
12.3	Energietransport und Intensität	480
12.4	Der Doppler-Effekt	485
12.5	Wellenausbreitung an Hindernissen	492
12.6	Überlagerung von Wellen	500
12.7	Stehende Wellen	508
12.8	*Harmonische Zerlegung und Wellenpakete	516
	Zusammenfassung	525
	Aufgaben	529
<b>Teil IV Thermodynamik</b>		
<b>13</b>	<b>Temperatur und der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik</b>	539
13.1	Temperatur und der Nullte Hauptsatz	540
13.2	Temperaturmessgeräte und Temperaturskalen	540
13.3	Thermische Ausdehnung	545
	Zusammenfassung	552
	Aufgaben	553
<b>14</b>	<b>Die kinetische Gastheorie</b>	555
14.1	Die Zustandsgleichung für das ideale Gas	556
14.2	Druck und Teilchengeschwindigkeit	561
14.3	Der Gleichverteilungssatz	567
14.4	Die mittlere freie Weglänge	568
14.5	*Die Van-der-Waals-Gleichung und Flüssigkeits-Dampf-Isothermen	568
	Zusammenfassung	574
	Aufgaben	575
<b>15</b>	<b>Wärme und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik</b>	579
15.1	Wärmekapazität und spezifische Wärmekapazität	580
15.2	Phasenübergänge und latente Wärme	583
15.3	Phasendiagramme	585
15.4	Joules Experiment und der Erste Hauptsatz der Thermodynamik	586
15.5	Die innere Energie eines idealen Gases	589
15.6	Volumenarbeit und das $p$ - $V$ -Diagramm eines Gases	590
15.7	Wärmekapazitäten von Festkörpern	594
15.8	Wärmekapazitäten von Gasen	595
15.9	Die reversible adiabatische Expansion eines Gases	601
	Zusammenfassung	607
	Aufgaben	609

<b>16</b>	<b>Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik</b> . . . . .	613
	16.1 Wärmekraftmaschinen und der Zweite Hauptsatz . . . . .	614
	16.2 Kältemaschinen und der Zweite Hauptsatz . . . . .	619
	16.3 Der Carnot'sche Kreisprozess . . . . .	621
	16.4 *Wärmepumpen . . . . .	626
	16.5 Irreversibilität, Unordnung und Entropie . . . . .	627
	16.6 Entropie und die Verfügbarkeit der Energie . . . . .	633
	16.7 Entropie und Wahrscheinlichkeit . . . . .	634
	16.8 *Der Dritte Hauptsatz . . . . .	635
	Zusammenfassung . . . . .	638
	Aufgaben . . . . .	640
<b>17</b>	<b>Wärmeübertragung</b> . . . . .	645
	17.1 Wärmeübertragungsarten . . . . .	646
	17.2 Wärmeleitung . . . . .	646
	17.3 Konvektion . . . . .	652
	17.4 Wärmestrahlung . . . . .	652
	Zusammenfassung . . . . .	658
	Aufgaben . . . . .	660
<b>Teil V Elektrizität und Magnetismus</b>		
<b>18</b>	<b>Das elektrische Feld I: Diskrete Ladungsverteilungen</b> . . . . .	665
	18.1 Die elektrische Ladung . . . . .	666
	18.2 Leiter und Nichtleiter . . . . .	668
	18.3 Das Coulomb'sche Gesetz . . . . .	670
	18.4 Das elektrische Feld . . . . .	676
	18.5 Elektrische Feldlinien . . . . .	684
	18.6 Wirkung von elektrischen Feldern auf Ladungen . . . . .	689
	Zusammenfassung . . . . .	696
	Aufgaben . . . . .	698
<b>19</b>	<b>Das elektrische Feld II: Kontinuierliche Ladungsverteilungen</b> . . . . .	703
	19.1 Das Konzept der Ladungsdichte . . . . .	704
	19.2 Berechnung von $E$ mit dem Coulomb'schen Gesetz . . . . .	704
	19.3 Das Gauß'sche Gesetz . . . . .	715
	19.4 Berechnung von $E$ mit dem Gauß'schen Gesetz . . . . .	720
	19.5 Diskontinuität von $E_n$ . . . . .	727
	19.6 Ladung und Feld auf Leiteroberflächen . . . . .	727
	19.7 *Die Äquivalenz des Gauß'schen und des Coulomb'schen Gesetzes . . . . .	730
	Zusammenfassung . . . . .	734
	Aufgaben . . . . .	735

<b>20</b>	<b>Das elektrische Potenzial</b> . . . . .	741
	20.1 Die Potentialdifferenz . . . . .	742
	20.2 Das Potenzial eines Punktladungssystems . . . . .	744
	20.3 Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem Potenzial . . . . .	751
	20.4 Die Berechnung des elektrischen Potentials $\phi$ kontinuierlicher Ladungsverteilungen . . . . .	753
	20.5 Äquipotenzialflächen . . . . .	761
	20.6 Die elektrische Energie . . . . .	767
	Zusammenfassung . . . . .	772
	Aufgaben . . . . .	774
<b>21</b>	<b>Die Kapazität</b> . . . . .	779
	21.1 Die Kapazität . . . . .	780
	21.2 Speicherung elektrischer Energie . . . . .	784
	21.3 Kondensatoren, Batterien und elektrische Stromkreise . . . . .	787
	21.4 Dielektrika . . . . .	796
	21.5 Molekulare Betrachtung von Dielektrika . . . . .	803
	Zusammenfassung . . . . .	809
	Aufgaben . . . . .	811
<b>22</b>	<b>Elektrischer Strom – Gleichstromkreise</b> . . . . .	817
	22.1 Elektrischer Strom und die Bewegung von Ladungsträgern . . . . .	818
	22.2 Widerstand und Ohm'sches Gesetz . . . . .	822
	22.3 Energetische Betrachtung elektrischer Stromkreise . . . . .	826
	22.4 Zusammenschaltung von Widerständen . . . . .	830
	22.5 Die Kirchhoff'schen Regeln . . . . .	837
	22.6 RC-Stromkreise . . . . .	847
	Zusammenfassung . . . . .	855
	Aufgaben . . . . .	857
<b>23</b>	<b>Das Magnetfeld</b> . . . . .	865
	23.1 Die magnetische Kraft . . . . .	866
	23.2 Die Bewegung einer Punktladung in einem Magnetfeld . . . . .	871
	23.3 Das auf Leiterschleifen und Magnete ausgeübte Drehmoment . . . . .	879
	23.4 *Der Hall-Effekt . . . . .	883
	Zusammenfassung . . . . .	888
	Aufgaben . . . . .	890

<b>24</b>	<b>Quellen des Magnetfelds</b> . . . . .	893
	24.1 Das Magnetfeld bewegter Punktladungen . . . . .	894
	24.2 Das Magnetfeld von Strömen: Das Biot-Savart'sche Gesetz . . . . .	895
	24.3 Der Gauß'sche Satz für Magnetfelder . . . . .	910
	24.4 Das Ampère'sche Gesetz . . . . .	911
	24.5 Magnetismus in Materie . . . . .	916
	Zusammenfassung . . . . .	926
	Aufgaben . . . . .	928
<b>25</b>	<b>Die magnetische Induktion</b> . . . . .	933
	25.1 Der magnetische Fluss . . . . .	934
	25.2 Induktionsspannung und Faraday'sches Gesetz . . . . .	935
	25.3 Die Lenz'sche Regel . . . . .	939
	25.4 Induktion durch Bewegung . . . . .	943
	25.5 Wirbelströme . . . . .	947
	25.6 Induktivität . . . . .	948
	25.7 Die Energie des Magnetfelds . . . . .	950
	25.8 <i>RL</i> -Stromkreise . . . . .	952
	Zusammenfassung . . . . .	959
	Aufgaben . . . . .	961
<b>26</b>	<b>Wechselstromkreise</b> . . . . .	967
	26.1 Wechselspannung an einem Ohm'schen Widerstand . . . . .	968
	26.2 Wechselstromkreise . . . . .	970
	26.3 Der Transformator . . . . .	974
	26.4 <i>LC</i> - und <i>RLC</i> -Stromkreise ohne Wechselspannungsquelle . . . . .	976
	26.5 *Zeigerdiagramme . . . . .	981
	26.6 *Erzwungene Schwingungen in <i>RLC</i> -Stromkreisen . . . . .	982
	Zusammenfassung . . . . .	992
	Aufgaben . . . . .	994
<b>27</b>	<b>Die Maxwell'schen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen</b> . . . . .	1001
	27.1 Der Maxwell'sche Verschiebungsstrom . . . . .	1002
	27.2 Die Maxwell'schen Gleichungen . . . . .	1005
	27.3 Die Wellengleichung für elektromagnetische Wellen . . . . .	1005
	27.4 Elektromagnetische Strahlung . . . . .	1010
	Zusammenfassung . . . . .	1019
	Aufgaben . . . . .	1021

**Teil VI Optik**

<b>28</b>	<b>Eigenschaften des Lichts</b>	1027
28.1	Die Lichtgeschwindigkeit	1028
28.2	Die Ausbreitung des Lichts	1031
28.3	Reflexion und Brechung	1031
28.4	*Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes	1041
28.5	Polarisation	1043
28.6	Lichtspektren	1050
	Zusammenfassung	1054
	Aufgaben	1056
<b>29</b>	<b>Geometrische Optik</b>	1059
29.1	Spiegel	1060
29.2	Linse	1070
29.3	Abbildungsfehler	1083
29.4	Optische Instrumente	1084
	Zusammenfassung	1095
	Aufgaben	1098
<b>30</b>	<b>Interferenz und Beugung</b>	1103
30.1	Phasendifferenz und Kohärenz	1104
30.2	Interferenz an dünnen Schichten	1105
30.3	Interferenzmuster beim Doppelspalt	1107
30.4	Beugungsgitter	1111
30.5	Fraunhofer'sche und Fresnel'sche Beugung	1113
30.6	Beugungsmuster beim Einzelspalt	1114
30.7	*Vektoraddition harmonischer Wellen	1117
30.8	Beugung und Auflösung	1123
	Zusammenfassung	1129
	Aufgaben	1131

**Teil VII Einsteins Relativitätstheorien**

<b>31</b>	<b>Die Relativitätstheorien</b>	1137
31.1	Das Newton'sche Relativitätsprinzip	1138
31.2	Die Einstein'schen Postulate	1139
31.3	Die Lorentz-Transformation	1140
31.4	Uhrensynchronisation und Gleichzeitigkeit	1146
31.5	Die Geschwindigkeitstransformation	1153
31.6	*Der relativistische Impuls	1156
31.7	*Die relativistische Energie	1157

31.8	*Minkowski-Diagramme	1163
31.9	*Die allgemeine Relativitätstheorie	1164
	Zusammenfassung	1170
	Aufgaben	1172
<b>Teil VIII Quantenmechanik</b>		
<b>32</b>	<b>Einführung in die Quantenphysik</b>	<b>1179</b>
32.1	Wellen und Teilchen	1180
32.2	Licht als Teilchen: Photonen	1180
32.3	Teilchen als Materiewellen	1185
32.4	Die Schrödinger-Gleichung	1188
32.5	Der Welle-Teilchen-Dualismus	1190
32.6	*Erwartungswerte und klassischer Grenzfall	1191
	Zusammenfassung	1197
	Aufgaben	1199
<b>33</b>	<b>Anwendungen der Schrödinger-Gleichung</b>	<b>1201</b>
33.1	Ein Teilchen im Kasten mit unendlich hohem Potenzial	1202
33.2	Ein Teilchen im Kasten mit endlich hohem Potenzial	1205
33.3	Der harmonische Oszillator	1206
33.4	Reflexion und Transmission von Elektronenwellen an Potenzialbarrieren	1209
33.5	*Die Schrödinger-Gleichung in drei Dimensionen	1214
33.6	Die Schrödinger-Gleichung für zwei identische Teilchen	1217
	Zusammenfassung	1222
	Aufgaben	1224
<b>Teil IX Atome und Moleküle</b>		
<b>34</b>	<b>Atome</b>	<b>1229</b>
34.1	Das Atom und die Atomspektren	1230
34.2	Das Bohr'sche Modell des Wasserstoffatoms	1231
34.3	Quantentheorie der Atome	1235
34.4	Quantentheorie des Wasserstoffatoms	1237
34.5	*Spin-Bahn-Kopplung und Feinstruktur	1243
34.6	Das Periodensystem der Elemente	1245
34.7	Spektren im sichtbaren und im Röntgenbereich	1252
34.8	Laser	1256
	Zusammenfassung	1263
	Aufgaben	1266

<b>35</b>	<b>Moleküle</b> .....	1269
	35.1 Die chemische Bindung .....	1270
	35.2 *Mehratomige Moleküle .....	1276
	35.3 *Energieniveaus und Spektren zweiatomiger Moleküle .....	1278
	35.4 *Freiheitsgrade und der Gleichverteilungssatz .....	1284
	Zusammenfassung .....	1290
	Aufgaben .....	1292
<b>Teil X Festkörperphysik</b>		
<b>36</b>	<b>Festkörper</b> .....	1297
	36.1 Die Struktur von Festkörpern .....	1298
	36.2 Kristallgitter .....	1298
	36.3 Streuung an periodischen Strukturen .....	1301
	Zusammenfassung .....	1305
	Aufgaben .....	1306
<b>37</b>	<b>Elektrische Eigenschaften von Festkörpern</b> .....	1307
	37.1 Eine mikroskopische Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit ...	1308
	37.2 Freie Elektronen im Festkörper .....	1310
	37.3 Die Quantentheorie der elektrischen Leitfähigkeit .....	1315
	37.4 Das Bändermodell der Festkörper .....	1316
	37.5 Halbleiter .....	1318
	37.6 *Halbleiterübergangsschichten und Bauelemente .....	1320
	37.7 *Supraleitung .....	1324
	37.8 *Die Fermi-Dirac-Verteilung .....	1327
	Zusammenfassung .....	1331
	Aufgaben .....	1333
<b>Teil XI Kern- und Teilchenphysik</b>		
<b>38</b>	<b>Kernphysik</b> .....	1339
	38.1 Eigenschaften der Kerne .....	1340
	38.2 Radioaktivität .....	1343
	38.3 Kernreaktionen .....	1348
	38.4 Kernspaltung und Kernfusion .....	1350
	38.5 Dosimetrie .....	1358
	Zusammenfassung .....	1361
	Aufgaben .....	1363

<b>39</b>	<b>*Teilchenphysik</b> . . . . .	1367
	39.1 *Hadronen und Leptonen . . . . .	1368
	39.2 *Spin und Antiteilchen . . . . .	1370
	39.3 *Erhaltungssätze . . . . .	1371
	39.4 *Quarks . . . . .	1376
	39.5 *Feldquanten . . . . .	1378
	39.6 *Die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung . . . . .	1379
	39.7 *Das Standardmodell . . . . .	1379
	39.8 *Moderne Teilchenbeschleuniger und Detektoren . . . . .	1381
	Zusammenfassung . . . . .	1391
	Aufgaben . . . . .	1393
	<b>Teil XII Anhänge</b>	
<b>40</b>	<b>Tabellen</b> . . . . .	1397
	40.1 Einheiten, Symbole und Umrechnungsfaktoren . . . . .	1398
	40.2 Wichtige physikalische Größen und Konstanten . . . . .	1401
	40.3 Die chemischen Elemente . . . . .	1404
<b>41</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b> . . . . .	1407
	41.1 Signifikante Stellen . . . . .	1408
	41.2 Gleichungen . . . . .	1409
	41.3 Direkte und umgekehrte Proportionalität . . . . .	1410
	41.4 Lineare Gleichungen . . . . .	1411
	41.5 Quadratische Gleichungen und Zerlegung in Linearfaktoren . . . . .	1412
	41.6 Potenzen und Logarithmen . . . . .	1414
	41.7 Geometrie . . . . .	1416
	41.8 Trigonometrie und Vektoren . . . . .	1418
	41.9 Die Binomialentwicklung . . . . .	1424
	41.10 Komplexe Zahlen . . . . .	1425
	41.11 Differenzialrechnung . . . . .	1426
	41.12 Integralrechnung . . . . .	1432
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	1435