

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>5</b>
<b>0 Zum richtigen Gebrauch dieses Buches .....</b>	<b>17</b>
0.1 Achtung: Konsistenz-Prüfung !! Wichtig !! .....	19
0.2 Fehlersuche .....	21
0.3 Vorlesungsbegleitendes Üben der Rechentechniken .....	22
0.4 Klausurvorbereitung: Zusammenstellen eigener Übungs- und Trainingsklausuren ..	22
0.5 Selbstkontrolle durch Bewertung der eigenen Lösungen.....	23
0.6 Rundungsfehler und ein Sonderzeichen dieses Buches .....	23
0.7 Hinweis zum Kürzen und Vereinfachen von Ausdrücken.....	24
0.8 Hinweise zum Gebrauch von Formelsammlungen .....	24
0.9 Noch eine Bitte an alle Leserinnen und Leser.....	25
0.10 Hinweis: Nicht alle Leser verstehen alle Aufgaben .....	25
0.11 Naturkonstanten und Zahlenwerte .....	25
<b>1 Mechanik .....</b>	<b>27</b>
Aufgabe 1.1 Einführendes Beispiel: Geschwindigkeiten.....	27
Aufgabe 1.2 Beschleunigte Translationsbewegung .....	28
Aufgabe 1.3 Freier Fall .....	29
Aufgabe 1.4 Beschleunigte Translationsbewegung .....	31
Aufgabe 1.5 Wurfparabel (zweidimensional) .....	32
Aufgabe 1.6 Bahnkurve in Parameterform .....	34
Aufgabe 1.7 Geschwindigkeit, Reibung, Leistung .....	35
Aufgabe 1.8 Beschleunigung und Energieerhaltung.....	35
Aufgabe 1.9 Beschleunigte Rotationsbewegung.....	36
Aufgabe 1.10 Drehimpuls und Rotationsenergie .....	37
Aufgabe 1.11 Zentrifugalkraft.....	39
Aufgabe 1.12 Drehmomente beim Abrollen eines Fadens .....	40
Aufgabe 1.13 Schwerpunkt eines Zweikörpersystems .....	41
Aufgabe 1.14 Schwerpunkt eines Vielkörpersystems .....	43
Aufgabe 1.15 Ballistisches Pendel .....	45
Aufgabe 1.16 Elastischer Stoß (eindimensional) .....	47
Aufgabe 1.17 Rotationsenergie und Präzession .....	49

Aufgabe 2.41 Raumakustik, Direktschall und Diffusschall .....	157
Aufgabe 2.42 Kundt'sches Rohr, eindimensionale Modalanalyse .....	158
Aufgabe 2.43 Dreidimensionale Modalanalyse.....	159
Aufgabe 2.44 Schneiden- und Hiebtöne (bei Kühlventilatoren) .....	161
Aufgabe 2.45 Akustische Interferenzen .....	162
<b>3 Elektrizität und Magnetismus .....</b>	<b>165</b>
Aufgabe 3.1 Coulombfeld einer geladenen Kugel .....	165
Aufgabe 3.2 Geladene Teilchen im elektrischen Feld der Erde.....	166
Aufgabe 3.3 Elektrisches Feld der Erde (als Kugelkondensator).....	167
Aufgabe 3.4 Millikan-Versuch .....	168
Aufgabe 3.5 Elektrisches Feld eines geladenen Drahtes .....	169
Aufgabe 3.6 Elektrisches Feld zweier Punktladungen .....	172
Aufgabe 3.7 Elektrisches Feld eines speziellen Kondensators.....	174
Aufgabe 3.8 Coulombkräfte zwischen mehreren Ladungen .....	177
Aufgabe 3.9 Elektrisches Feld im Plattenkondensator .....	179
Aufgabe 3.10 Elektrometer als statisches Ladungsmessgerät .....	180
Aufgabe 3.11 Energie und Energiedichte des elektrischen Feldes .....	182
Aufgabe 3.12 Elektronenstrahl im elektrischen Feld .....	183
Aufgabe 3.13 Elektrisches Dipolmoment.....	185
Aufgabe 3.14 Potential und Gradient .....	186
Aufgabe 3.15 Vektorfeld, Rotation, Divergenz .....	187
Aufgabe 3.16 Vektorfeld, skalares Potential, Linienintegral .....	189
Aufgabe 3.17 Elektrischer Fluss.....	192
Aufgabe 3.18 Zahlenbeispiel zu Rotation und Divergenz.....	193
Aufgabe 3.19 Kondensator mit Dielektrikum .....	195
Aufgabe 3.20 Driftgeschwindigkeit von Elektronen im Draht.....	197
Aufgabe 3.21 Ladekurve eines Kondensators .....	198
Aufgabe 3.22 Messbereiche bei Strom- und Spannungsmessung .....	201
Aufgabe 3.23 Reale Spannungsquelle mit Innenwiderstand .....	202
Aufgabe 3.24 Widerstandnetzwerk .....	204
Aufgabe 3.25 Netzwerk aus Kondensatoren .....	206
Aufgabe 3.26 Wechselstrom-Impedanznetzwerk .....	207
Aufgabe 3.27 Elektrischer Schwingkreis, harmonische Schwingung .....	210
Aufgabe 3.28 Resonanz im elektrischen Schwingkreis.....	211
Aufgabe 3.29 Scheinwiderstand, Wirkwiderstand, Blindwiderstand .....	215
Aufgabe 3.30 Stromdichte in Hochspannungsleitungen .....	216

---

Aufgabe 3.31 RC-Phasenschieber.....	217
Aufgabe 3.32 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes .....	220
Aufgabe 3.33 Energiespeicherung in Batterie.....	221
Aufgabe 3.34 Lorentz-Kraft: Elektronenstrahl im Magnetfeld.....	224
Aufgabe 3.35 Magnetischer Fluss.....	226
Aufgabe 3.36 Induktion einer Wechselspannung.....	227
Aufgabe 3.37 Magnetfeld einer zylindrischen Spule .....	228
Aufgabe 3.38 Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern .....	229
Aufgabe 3.39 Magnetfeld einer Leiterschleife.....	230
Aufgabe 3.40 Magnetfeldlinien verschiedener Leiteranordnungen .....	232
Aufgabe 3.41 Magnetisches Dipolmoment einer Spule .....	234
Aufgabe 3.42 Biot-Savart: Magnetfeld eines geraden Leiters .....	236
Aufgabe 3.43 Homogene Magnetfelder, Helmholtz-Spulen .....	239
Aufgabe 3.44 Induktivität einer Spule .....	241
Aufgabe 3.45 Hall-Effekt.....	242
Aufgabe 3.46 Poynting-Vektor elektromagnetischer Wellen .....	243
<b>4 Gase und Wärmelehre .....</b>	<b>245</b>
Aufgabe 4.1 Umrechnen zwischen Temperaturskalen .....	245
Aufgabe 4.2 Spezifische Wärmekapazität.....	246
Aufgabe 4.3 Mischungskalorimetrie .....	247
Aufgabe 4.4 Latente Wärme bei Phasenübergängen .....	248
Aufgabe 4.5 Energieeinheiten Kalorie und Joule.....	249
Aufgabe 4.6 Gesetz von Gay-Lussac .....	250
Aufgabe 4.7 Gesetz von Gay-Lussac .....	251
Aufgabe 4.8 Temperaturabhängigkeit der Dichte eines Gases .....	252
Aufgabe 4.9 Teilchendichte im Vakuum .....	253
Aufgabe 4.10 Zustandsdiagramm von Wasser, Gibbs'sche Phasenregel .....	254
Aufgabe 4.11 Maxwell-Verteilung .....	256
Aufgabe 4.12 Maxwell-Geschwindigkeitsverteilung (mikroskopisch).....	260
Aufgabe 4.13 Barometrische Höhenformel .....	262
Aufgabe 4.14 Aufsteigen eines Helium-Ballons .....	263
Aufgabe 4.15 Gleichverteilungssatz, thermodynamische Freiheitsgrade .....	266
Aufgabe 4.16 Adiabatische Kompression eines idealen Gases .....	268
Aufgabe 4.17 Isobare Zustandsänderung eines idealen Gases.....	271
Aufgabe 4.18 Isotherme Expansion eines idealen Gases .....	274
Aufgabe 4.19 Adiabatische Kompression eines idealen Gases .....	276

Aufgabe 4.20 Thermodynamischer Kreisprozess .....	279
Aufgabe 4.21 Carnot-Wirkungsgrad .....	282
Aufgabe 4.22 Carnot-Wirkungsgrad .....	283
Aufgabe 4.23 Wärmepumpe .....	284
Aufgabe 4.24 Dritter Hauptsatz der Thermodynamik .....	285
Aufgabe 4.25 Thermodynamischer Kreisprozess des Ottomotors .....	285
Aufgabe 4.26 Entropie und Mischungskalorimetrie .....	288
Aufgabe 4.27 Entropie beim Vermischen zweier Gase .....	290
Aufgabe 4.28 Zustandsgleichung realer Gase (van der Waals) .....	292
Aufgabe 4.29 Wärmedehnung (bei Festkörpern) .....	297
Aufgabe 4.30 Pressitz aufgrund Wärmedehnung .....	298
Aufgabe 4.31 Wärmeleitung .....	300
Aufgabe 4.32 Wärmetransport mit Konvektion .....	301
Aufgabe 4.33 Wärmestrahlung (Gleichgewicht) .....	303
Aufgabe 4.34 Stefan-Boltzmann-Gesetz .....	304
Aufgabe 4.35 Stefan-Boltzmann-Gesetz, Wien'sches Verschiebungsgesetz .....	305
Aufgabe 4.36 Vakuummantelgefäß (Dewar) .....	307
Aufgabe 4.37 Photometrische Größen bei Wärmestrahlung .....	308
 <b>5 Optik .....</b>	 <b>311</b>
Aufgabe 5.1 Grenzwinkel der Totalreflexion .....	311
Aufgabe 5.2 Lichtbrechung, Gesetz von Snellius .....	311
Aufgabe 5.3 Lichtbrechung, Brechungsindex .....	313
Aufgabe 5.4 Strahlengänge an Sammellinsen .....	315
Aufgabe 5.5 Strahlengänge an Streulinsen .....	317
Aufgabe 5.6 Strahlengang am Konvexspiegel .....	319
Aufgabe 5.7 Strahlengang am Konkavspiegel .....	321
Aufgabe 5.8 Abbildungsgleichung sphärischer Spiegel .....	322
Aufgabe 5.9 Brechkraft und Vergrößerung von Linsen .....	322
Aufgabe 5.10 Kombination zweier Linsen .....	323
Aufgabe 5.11 Linsenmachergleichung .....	326
Aufgabe 5.12 Astronomisches Fernrohr .....	328
Aufgabe 5.13 Dispersion, Prisma .....	328
Aufgabe 5.14 Fotoapparat: Objektivbrennweite, Tiefenschärfe .....	330
Aufgabe 5.15 Polarisation von Licht, Brewster-Winkel .....	332
Aufgabe 5.16 Polarisation: Filter und Analysator .....	333
Aufgabe 5.17 Photoeffekt .....	335

Aufgabe 5.18 Teilchen-Welle-Dualismus .....	336
Aufgabe 5.19 Lichtdruck, Impuls von Photonen .....	338
Aufgabe 5.20 Beugung, Huygens'sche Elementarwellen .....	339
Aufgabe 5.21 Beugung und Interferenz am Einfachspalt .....	340
Aufgabe 5.22 Beugung und Interferenz am Gitter.....	344
Aufgabe 5.23 Kohärentes Licht .....	346
Aufgabe 5.24 Mehrstrahlinterferenz an dünnen Schichten .....	346
Aufgabe 5.25 Photometrische Größen .....	348
<b>6 Festkörperphysik .....</b>	<b>349</b>
Aufgabe 6.1 Röntgenbeugung, Bestimmung der Gitterabstände .....	349
Aufgabe 6.2 Miller'sche Indizes .....	350
Aufgabe 6.3 Reziprokes Gitter.....	352
Aufgabe 6.4 Wigner-Seitz-Zelle .....	353
Aufgabe 6.5 Brillouin-Zone .....	355
Aufgabe 6.6 Gitterfehler, einige Beispiele .....	356
Aufgabe 6.7 Frank-Read-Quelle .....	357
Aufgabe 6.8 Zugversuch, Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....	358
Aufgabe 6.9 Bindungsmechanismus: Ionenbindung.....	360
Aufgabe 6.10 Bindungsmechanismus: Metallische Bindung.....	361
Aufgabe 6.11 Drude-Modell, Driftgeschwindigkeit der Elektronen.....	362
Aufgabe 6.12 Fermi-Niveau, Fermi-Energie, Fermi-Temperatur .....	363
Aufgabe 6.13 Bändermodell – Grundlagen der Entstehung .....	365
Aufgabe 6.14 Leitfähigkeit im Bändermodell.....	366
Aufgabe 6.15 Temperaturabhängigkeit des elektr. Widerstandes .....	367
Aufgabe 6.16 Dotierung von Halbleitern.....	368
Aufgabe 6.17 pn-Übergang (Diode) .....	369
Aufgabe 6.18 Diamagnetismus .....	371
Aufgabe 6.19 Paramagnetismus.....	372
Aufgabe 6.20 Ferromagnetismus, Curie-Temperatur .....	373
Aufgabe 6.21 Weiß'sche Bezirke .....	374
Aufgabe 6.22 Ferromagnetische Hystereseschleife .....	375
Aufgabe 6.23 Ferrimagnetika, Antiferromagnetika .....	377
Aufgabe 6.24 Dielektrische Polarisationsmechanismen .....	377
Aufgabe 6.25 Dielektrizitätszahl, Elektrolyt.....	379
Aufgabe 6.26 Piezoeffekt.....	382
Aufgabe 6.27 Beispiel für praktische Messung der Dielektrizitätszahl .....	382

Aufgabe 6.28 Seebeck-Effekt, Peltier-Effekt .....	383
Aufgabe 6.29 Supraleitung.....	384
Aufgabe 6.30 Tunneleffekt.....	385
<b>7 Spezielle Relativitätstheorie.....</b>	<b>389</b>
Aufgabe 7.1 Strahlungsdruck elektromagnetischer Wellen.....	389
Aufgabe 7.2 Kastenexperiment nach Einstein.....	392
Aufgabe 7.3 Galilei- und Lorentz-Transformation.....	393
Aufgabe 7.4 Energie elektromagnetischer Wellen.....	395
Aufgabe 7.5 Masse-Energie-Äquivalenz.....	395
Aufgabe 7.6 Betazerfall des Neutrons .....	397
Aufgabe 7.7 Michelson-Morley-Experiment.....	398
Aufgabe 7.8 Zeitdilatation und Längenkontraktion .....	400
Aufgabe 7.9 Zeitdilatation in Maßstäben des Alltagslebens.....	402
Aufgabe 7.10 Lebensdauer relativistisch bewegter Teilchen .....	404
Aufgabe 7.11 Relativistische Massenzunahme, Impuls .....	405
Aufgabe 7.12 Addition von Geschwindigkeiten (relativistisch).....	408
Aufgabe 7.13 Lichtausbreitung im bewegten Bezugssystem .....	409
Aufgabe 7.14 Relativistisch bewegte Masse und Impuls .....	411
Aufgabe 7.15 Relativistische Geschwindigkeitsberechnung.....	413
Aufgabe 7.16 Relativistischer Dopplereffekt .....	414
<b>8 Atomphysik, Kernphysik, Elementarteilchen .....</b>	<b>417</b>
Aufgabe 8.1 Bohr'sches Atommodell.....	417
Aufgabe 8.2 Stehwellenbedingung für Elektronenwellen .....	420
Aufgabe 8.3 D'Alembert'sche Wellengleichung & Schrödingergleichung .....	421
Aufgabe 8.4 Eindimensionaler Potentialtopf.....	422
Aufgabe 8.5 Elektron im Potential eines Atomkerns.....	426
Aufgabe 8.6 Quantenzahlen der Elektronen in der Atomhülle.....	428
Aufgabe 8.7 Experimentelle Überprüfung der Quantenzahlen .....	430
Aufgabe 8.8 Notation der Spektroskopie .....	431
Aufgabe 8.9 Feinstrukturaufspaltung, Natrium-Doublett (D-Linien) .....	432
Aufgabe 8.10 Isotopieaufspaltung von Spektrallinien .....	432
Aufgabe 8.11 Wien'sches Verschiebungsgesetz .....	433
Aufgabe 8.12 Aufbau des chemischen Periodensystems.....	434
Aufgabe 8.13 Röntgenstrahlung, Auger-Elektronen .....	436
Aufgabe 8.14 Photoeffekt.....	437

Aufgabe 8.15 DeBroglie-Wellenlänge .....	438
Aufgabe 8.16 Compton-Effekt.....	440
Aufgabe 8.17 Paarbildung (Teilchen + Antiteilchen).....	442
Aufgabe 8.18 Gamma-Emission .....	443
Aufgabe 8.19 Heisenberg'sche Unschärferelation .....	444
Aufgabe 8.20 Kernradius und Ladungsdichte (Abschätzung) .....	446
Aufgabe 8.21 Kernzerfälle ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - Strahlung) .....	448
Aufgabe 8.22 Kernphysikalische Reaktionsgleichungen.....	449
Aufgabe 8.23 Neutronenüberschuss in Atomkernen.....	449
Aufgabe 8.24 Kernspaltung als Kettenreaktion .....	450
Aufgabe 8.25 Masse-Energie-Äquivalenz bei Kernzerfällen.....	451
Aufgabe 8.26 Freie Neutronen bei der Kernspaltung .....	452
Aufgabe 8.27 Halbwertszeiten und Zerfallsraten.....	452
Aufgabe 8.28 Radiokarbonmethode zur Altersdatierung .....	454
Aufgabe 8.29 Natürliche Linienbreite angeregter Zustände .....	455
Aufgabe 8.30 Fundamentale Wechselwirkungen der Natur.....	456
Aufgabe 8.31 Wechselwirkungsquanten .....	457
Aufgabe 8.32 Grundbausteine der Materie .....	458
Aufgabe 8.33 Spinresonanzen.....	459
Aufgabe 8.34 Kernfusion und Kernspaltung .....	461
Aufgabe 8.35 Umrechnung Teilchenenergie - Temperatur .....	463
Aufgabe 8.36 Laser, Funktionsprinzip .....	464
Aufgabe 8.37 Kernfusion: Einschlussmethoden, Lawson-Kriterium .....	465
Aufgabe 8.38 Elektroneneinfang (electron capture) .....	466
Aufgabe 8.39 Betazerfall im Quarkmodell .....	467
Aufgabe 8.40 Teilchenbeschleuniger, Kollisionsmaschinen .....	469
<b>9 Statistische Unsicherheiten .....</b>	<b>471</b>
Aufgabe 9.1 Statistische Mittelwerte .....	471
Aufgabe 9.2 Gauß-Verteilung .....	473
Aufgabe 9.3 Lineare Regression .....	474
Aufgabe 9.4 Gauß'sche Fehlerfortpflanzung .....	477
Aufgabe 9.5 Gauß'sche Fehlerfortpflanzung .....	479
Aufgabe 9.6 Poisson-Verteilung .....	480

<b>10 Musterklausuren (verschiedener Hochschulen) .....</b>	<b>481</b>
Klausur 10.1 Mechanik (1. Semester) .....	481
Klausur 10.2 Wärmelehre (2. Semester).....	483
Klausur 10.3 Schwingungen, Wellen, Optik, Akustik (3. Semester).....	486
Klausur 10.4 Verschiedene Themen (zweisemestrig Vorlesung).....	489
Klausur 10.5 Elektromagn., Optik, Atom- und Kernphysik (3.Semester).....	492
Klausur 10.6 Schwingungen, Wellen, Optik, Elektrik (2. Semester) .....	494
Lösung zur Klausur 10.1. ....	497
Lösung zur Klausur 10.2. ....	500
Lösung zur Klausur 10.3. ....	504
Lösung zur Klausur 10.4. ....	511
Lösung zur Klausur 10.5. ....	516
Lösung zur Klausur 10.6. ....	525
<b>11 Anhang: Formeln und Register .....</b>	<b>535</b>
11.0 Anmerkung zur Liste einiger Naturkonstanten .....	535
11.1 Formeln zu Kapitel 1 .....	536
11.2 Formeln zu Kapitel 2 .....	538
11.3 Formeln zu Kapitel 3 .....	541
11.4 Formeln zu Kapitel 4 .....	544
11.5 Formeln zu Kapitel 5 .....	546
11.6 Formeln zu Kapitel 6 .....	548
11.7 Formeln zu Kapitel 7 .....	548
11.8 Formeln zu Kapitel 8 .....	550
11.9 Formeln zu Kapitel 9 .....	552
11.10 Gebrauch verschiedener Koordinatensysteme.....	553
<b>Sachwortverzeichnis.....</b>	<b>555</b>