

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	1
1.1	Physikalischer Erkenntnisprozess	1
1.2	Bereiche der physikalischen Erkenntnis	3
1.3	Physikalische Größen	6
1.3.1	Definition und Maßeinheit	6
1.3.2	Messgenauigkeit	7
1.3.3	Fehlerfortpflanzung	13
1.3.4	Kurvenanpassung	13
1.3.5	Ausgleichsgeradenkonstruktion	15
1.3.6	Korrelationsanalyse	16
1.3.7	Zur Übung	17
<b>2</b>	<b>Mechanik</b>	19
2.1	Einführung	19
2.2	Kinematik des Punktes	20
2.2.1	Eindimensionale Kinematik	21
2.2.2	Dreidimensionale Kinematik	26
2.2.3	Kreisbewegungen	29
2.2.4	Zur Übung	32
2.3	Grundgesetze der klassischen Mechanik	32
2.3.1	Konzept der klassischen Dynamik	32
2.3.2	Newton'sche Axiome	33
2.3.3	Masse	34
2.3.4	Kraft	34
2.3.5	Zur Übung	38
2.4	Dynamik in bewegten Bezugssystemen	38
2.4.1	Relativ zueinander geradlinig bewegte Bezugssysteme	38
2.4.2	Gleichförmig rotierende Bezugssysteme	40
2.4.3	Zur Übung	44
2.5	Impuls	44
2.5.1	Impuls eines materiellen Punktes	44
2.5.2	Impuls eines Systems materieller Punkte	45
2.5.3	Raketengleichung	47
2.5.4	Zur Übung	49
2.6	Arbeit und Energie	50

2.6.1	Arbeit . . . . .	50
2.6.2	Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	52
2.6.3	Energie . . . . .	54
2.6.4	Energieerhaltungssatz . . . . .	54
2.6.5	Zur Übung . . . . .	55
2.7	Stoßprozesse . . . . .	55
2.7.1	Übersicht und Grundbegriffe . . . . .	55
2.7.2	Gerader, zentraler, elastischer Stoß . . . . .	56
2.7.3	Gerader, zentraler, unelastischer Stoß . . . . .	58
2.7.4	Schiefe, zentrale Stöße . . . . .	60
2.7.5	Zur Übung . . . . .	61
2.8	Drehbewegungen . . . . .	61
2.8.1	Drehmoment . . . . .	61
2.8.2	Newton'sches Aktionsgesetz der Drehbewegung . . . . .	62
2.8.3	Arbeit, Leistung und Energie bei der Drehbewegung . . . . .	63
2.8.4	Drehbewegungen von Systemen materieller Punkte . . . . .	64
2.8.5	Analogie Translation und Rotation . . . . .	65
2.8.6	Zur Übung . . . . .	66
2.9	Mechanik starrer Körper . . . . .	67
2.9.1	Freiheitsgrade und Kinematik . . . . .	67
2.9.2	Kräfte am starren Körper . . . . .	68
2.9.3	Schwerpunkt und potenzielle Energie eines starren Körpers . . . . .	71
2.9.4	Kinetische Energie eines starren Körpers . . . . .	72
2.9.5	Massenträgheitsmomente starrer Körper . . . . .	74
2.9.6	Kreisel . . . . .	80
2.9.7	Zur Übung . . . . .	85
2.10	Gravitation . . . . .	85
2.10.1	Beobachtungen . . . . .	85
2.10.2	Newton'sches Gravitationsgesetz . . . . .	87
2.10.3	Hubarbeit und potenzielle Energie . . . . .	89
2.10.4	Satellitenbahnen . . . . .	91
2.10.5	Zur Übung . . . . .	92
2.11	Mechanik deformierbarer fester Körper – Elastomechanik . . . . .	92
2.11.1	Elastische Verformung . . . . .	93
2.11.2	Plastische Verformung . . . . .	100
2.11.3	Härte fester Körper . . . . .	102
2.11.4	Zur Übung . . . . .	103
2.12	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase-, Hydro- und Aeromechanik . . . . .	105
2.12.1	Ruhende Flüssigkeiten (Hydrostatik) und ruhende Gase (Aerostatik) . . . . .	105
2.12.2	Fluide – strömende Flüssigkeiten (Hydrodynamik) und Gase (Aerodynamik) . . . . .	117
<b>3</b>	<b>Thermodynamik . . . . .</b>	<b>153</b>
3.1	Grundlagen . . . . .	153
3.1.1	Einführung . . . . .	153
3.1.2	Thermodynamische Grundbegriffe . . . . .	155

3.1.3	Temperatur . . . . .	156
3.1.4	Thermische Ausdehnung . . . . .	158
3.1.5	Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase . . . . .	162
3.1.6	Zur Übung . . . . .	164
3.2	Kinetische Gastheorie . . . . .	164
3.2.1	Gasdruck . . . . .	164
3.2.2	Thermische Energie und Temperatur . . . . .	166
3.2.3	Geschwindigkeitsverteilung der Gasmoleküle . . . . .	168
3.2.4	Zur Übung . . . . .	170
3.3	Hauptsätze der Thermodynamik . . . . .	170
3.3.1	Wärme . . . . .	170
3.3.2	Zur Übung . . . . .	172
3.3.3	Erster Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	173
3.3.4	Berechnung der Wärmekapazitäten . . . . .	176
3.3.5	Spezielle Zustandsänderungen idealer Gase . . . . .	179
3.3.6	Kreisprozesse . . . . .	186
3.3.7	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	195
3.3.8	Thermodynamische Potenziale . . . . .	203
3.3.9	Dritter Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	204
3.4	Zustandsänderungen realer Gase . . . . .	205
3.4.1	Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung . . . . .	205
3.4.2	Gasverflüssigung (Joule-Thomson-Effekt) . . . . .	208
3.4.3	Phasenumwandlungen . . . . .	209
3.4.4	Dämpfe und Luftfeuchtigkeit . . . . .	216
3.5	Wärmeübertragung . . . . .	219
3.5.1	Wärmeleitung . . . . .	220
3.5.2	Konvektion . . . . .	225
3.5.3	Wärmestrahlung . . . . .	230
3.5.4	Wärmedurchgang . . . . .	234
3.5.5	Zur Übung . . . . .	236
<b>4</b>	<b>Elektrizität und Magnetismus . . . . .</b>	<b>237</b>
4.1	Physikalische Gesetze und Definitionen . . . . .	238
4.1.1	Ladung . . . . .	239
4.1.2	Stromstärke . . . . .	240
4.1.3	Spannung . . . . .	241
4.1.4	Widerstand und Leitwert . . . . .	242
4.1.5	Ohm'sches Gesetz . . . . .	245
4.1.6	Kirchhoff'sche Regeln im verzweigten Stromkreis . . . . .	246
4.1.7	Schaltung von Widerständen . . . . .	248
4.1.8	Messbereichserweiterung . . . . .	251
4.1.9	Ausgewählte Messanordnungen . . . . .	252
4.1.10	Klemmenspannung und innerer Widerstand . . . . .	254
4.1.11	Schaltung von Spannungsquellen . . . . .	255
4.1.12	Elektrische Leistung und elektrische Arbeit . . . . .	257
4.1.13	Zur Übung . . . . .	259
4.2	Ladungstransport in Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	259
4.2.1	Ladungstransport in Flüssigkeiten . . . . .	259

4.2.2	Ladungstransport im Vakuum und in Gasen . . . . .	274
4.2.3	Plasmaströme . . . . .	281
4.2.4	Zur Übung . . . . .	282
4.3	Elektrisches Feld . . . . .	282
4.3.1	Allgemeiner Feldbegriff . . . . .	282
4.3.2	Beschreibung des elektrischen Feldes . . . . .	282
4.3.3	Elektrische Feldstärke und Kraft . . . . .	283
4.3.4	Elektrische Feldstärke und elektrostatisches Potenzial . . . . .	286
4.3.5	Bewegung geladener Teilchen im elektrischen Feld	290
4.3.6	Leiter im elektrischen Feld . . . . .	295
4.3.7	Nichtleiter im elektrischen Feld, elektrische Polarisation und Permittivitätszahl . . . . .	303
4.3.8	Energieinhalt des elektrischen Feldes . . . . .	312
4.3.9	Zur Übung . . . . .	313
4.4	Magnetisches Feld . . . . .	314
4.4.1	Beschreibung des magnetischen Feldes . . . . .	314
4.4.2	Magnetische Feldstärke und Durchflutungsgesetz .	315
4.4.3	Magnetische Flussdichte und Kraftwirkungen im Magnetfeld . . . . .	320
4.4.4	Materie im Magnetfeld . . . . .	330
4.4.5	Zur Übung . . . . .	343
4.5	Instationäre Felder . . . . .	344
4.5.1	Elektromagnetische Induktion . . . . .	344
4.5.2	Periodische Felder (Wechselstromkreis) . . . . .	350
4.5.3	Ein- und Ausschaltvorgänge in Stromkreisen . . . .	363
4.5.4	Messgeräte . . . . .	367
4.5.5	Zusammenhang elektrischer und magnetischer Größen – Maxwell'sche Gleichungen . . . . .	371
4.5.6	Zur Übung . . . . .	374
<b>5</b>	<b>Schwingungen und Wellen . . . . .</b>	<b>377</b>
5.1	Schwingungen . . . . .	377
5.1.1	Physikalische Grundlagen schwingungsfähiger Systeme . . . . .	377
5.1.2	Freie Schwingung . . . . .	381
5.1.3	Erzwungene Schwingung . . . . .	400
5.1.4	Überlagerung von Schwingungen . . . . .	405
5.1.5	Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden (gekoppeltes Schwingungssystem) . . . . .	414
5.1.6	Nichtlineare Schwinger . . . . .	417
5.1.7	Parametrisch erregte Schwingungen . . . . .	418
5.1.8	Zur Übung . . . . .	418
5.2	Wellen . . . . .	419
5.2.1	Physikalische Grundlagen der Wellenausbreitung .	419
5.2.2	Harmonische Wellen . . . . .	422
5.2.3	Zur Übung . . . . .	426
5.2.4	Doppler-Effekt . . . . .	427
5.2.5	Zur Übung . . . . .	430

---

5.2.6	Interferenz . . . . .	430
5.2.7	Zur Übung . . . . .	439
<b>6</b>	<b>Optik . . . . .</b>	<b>441</b>
6.1	Einführung . . . . .	441
6.2	Geometrische Optik . . . . .	442
6.2.1	Lichtstrahlen . . . . .	442
6.2.2	Reflexion des Lichtes . . . . .	443
6.2.3	Brechung des Lichtes . . . . .	449
6.2.4	Abbildung durch Linsen . . . . .	459
6.2.5	Blenden im Strahlengang . . . . .	471
6.2.6	Zur Übung . . . . .	471
6.2.7	Abbildungsfehler . . . . .	472
6.2.8	Optische Instrumente . . . . .	472
6.3	Radio- und Fotometrie . . . . .	481
6.3.1	Einführung . . . . .	481
6.3.2	Strahlungsphysikalische Größen . . . . .	482
6.3.3	Zur Übung . . . . .	488
6.3.4	Lichttechnische Größen . . . . .	489
6.3.5	Zur Übung . . . . .	491
6.3.6	Farbmetrik . . . . .	491
6.3.7	Zur Übung . . . . .	495
6.4	Wellenoptik . . . . .	495
6.4.1	Interferenz und Beugung . . . . .	495
6.4.2	Polarisation des Lichtes . . . . .	521
6.5	Quantenoptik . . . . .	530
6.5.1	Lichtquanten . . . . .	530
6.5.2	Dualismus Teilchen–Welle . . . . .	534
6.5.3	Wärmestrahlung . . . . .	535
6.5.4	Laser . . . . .	537
6.5.5	Materiewellen . . . . .	541
6.6	Abbildung mikroskopischer Objekte . . . . .	544
6.6.1	Beugungsbegrenzte Abbildung . . . . .	544
6.6.2	Überwindung der Beugungsbegrenzung . . . . .	546
<b>7</b>	<b>Akustik . . . . .</b>	<b>553</b>
7.1	Einführung . . . . .	553
7.2	Schallwellen . . . . .	554
7.2.1	Schallausbreitung . . . . .	554
7.2.2	Schallwandler . . . . .	559
7.2.3	Schallwellen an Grenzflächen . . . . .	563
7.2.4	zur Übung . . . . .	568
7.3	Schallempfindung . . . . .	569
7.3.1	Physiologische Akustik . . . . .	569
7.3.2	Musikalische Akustik . . . . .	572
7.3.3	Zur Übung . . . . .	575
7.4	Technische Akustik . . . . .	576
7.4.1	Raumakustik . . . . .	576
7.4.2	Luftschalldämmung . . . . .	578
7.4.3	Körperschalldämmung . . . . .	579

7.4.4	Strömungsgeräusche . . . . .	582
7.4.5	Ultraschall . . . . .	584
7.4.6	Schalleinsatz . . . . .	584
7.4.7	Zur Übung . . . . .	586
<b>8</b>	<b>Atom- und Kernphysik . . . . .</b>	<b>589</b>
8.1	Bohr'sches Atommodell . . . . .	590
8.1.1	Optisches Spektrum des Wasserstoffatoms . . . . .	590
8.1.2	Bohr'sche Postulate . . . . .	593
8.1.3	Quantenbedingungen nach Bohr/Sommerfeld . . . . .	593
8.2	Quantentheorie . . . . .	595
8.2.1	Hamilton-Operator . . . . .	597
8.2.2	Schrödinger-Gleichung . . . . .	599
8.2.3	Unschärferelation . . . . .	603
8.2.4	Quantenmechanik des Wasserstoffatoms . . . . .	606
8.2.5	Quanten-Hall-Effekt . . . . .	609
8.2.6	Tunneleffekt . . . . .	614
8.3	Bahn- und Spinmagnetismus . . . . .	617
8.3.1	Zeeman- und Stark-Effekt . . . . .	619
8.3.2	Elektronen- und Kernspinresonanz . . . . .	619
8.4	Systematik des Atombaus . . . . .	621
8.4.1	Periodensystem der Elemente . . . . .	621
8.4.2	Aufbau der Elektronenhülle . . . . .	622
8.5	Röntgenstrahlung . . . . .	623
8.5.1	Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung . . . . .	623
8.5.2	Absorption von Röntgenstrahlung, Computertomografie . . . . .	624
8.6	Molekülspektren . . . . .	627
8.6.1	Potenzialkurve . . . . .	627
8.6.2	Rotations-Schwingungs-Spektrum . . . . .	628
8.6.3	Raman-Effekt . . . . .	631
8.7	Aufbau der Atomkerne . . . . .	632
8.7.1	Größe und Ladungsverteilung . . . . .	632
8.7.2	Kernmodelle . . . . .	635
8.8	Kernumwandlung . . . . .	642
8.8.1	Radioaktiver Zerfall . . . . .	642
8.8.2	Kernreaktionen . . . . .	653
8.8.3	Kernspaltung und Kernreaktoren . . . . .	658
8.8.4	Kernfusion . . . . .	663
8.9	Elementarteilchen . . . . .	670
8.9.1	Einteilung . . . . .	671
8.9.2	Erhaltungssätze . . . . .	675
8.9.3	Fundamentale Wechselwirkungen . . . . .	676
8.10	Strahlenschutz . . . . .	678
8.10.1	Wechselwirkung der Strahlung mit Materie . . . . .	679
8.10.2	Dosisgrößen . . . . .	687
8.10.3	Biologische Wirkung der Strahlung . . . . .	689
8.10.4	Dosismessung . . . . .	692

8.10.5	Strahlenschutzmaßnahmen . . . . .	696
8.10.6	Zur Übung . . . . .	700
<b>9</b>	<b>Festkörperphysik . . . . .</b>	<b>703</b>
9.1	Struktur fester Körper . . . . .	703
9.1.1	Kristallbindungsarten . . . . .	703
9.1.2	Kristalline Strukturen . . . . .	706
9.1.3	Gitterfehler . . . . .	709
9.1.4	Amorphe Werkstoffe . . . . .	712
9.1.5	Makromolekulare Festkörper . . . . .	713
9.1.6	Ausgewählte Werkstoffe . . . . .	717
9.1.7	Flüssigkristalle . . . . .	722
9.2	Elektronen in Festkörpern . . . . .	725
9.2.1	Energiebänder-Modell . . . . .	725
9.2.2	Metalle . . . . .	728
9.2.3	Halbleiter . . . . .	734
9.2.4	Supraleitung . . . . .	745
9.2.5	Zur Übung . . . . .	749
9.3	Thermodynamik fester Körper . . . . .	750
9.3.1	Gitterschwingungen . . . . .	750
9.3.2	Effekte im Zusammenhang mit Wärmefluss und elektrischem Strom . . . . .	757
9.3.3	Piezoelektrizität . . . . .	759
9.3.4	Zur Übung . . . . .	761
9.4	Optoelektronische Halbleiter-Bauelemente . . . . .	762
9.4.1	Strahlungsquellen . . . . .	762
9.4.2	Empfänger . . . . .	766
<b>10</b>	<b>Spezielle Relativitätstheorie . . . . .</b>	<b>775</b>
10.1	Relativität des Bezugssystems . . . . .	775
10.2	Lorentz-Transformation . . . . .	777
10.3	Relativistische Effekte . . . . .	780
10.3.1	Längenkontraktion . . . . .	780
10.3.2	Zeitdilatation . . . . .	780
10.3.3	Relativistische Addition der Geschwindigkeiten . . . . .	782
10.4	Relativistische Dynamik . . . . .	783
10.5	Spezielle Relativitätstheorie in der Elektrodynamik . . . . .	786
10.5.1	Elektrodynamische Kraft . . . . .	786
10.5.2	Doppler-Effekt des Lichtes . . . . .	787
10.5.3	Zur Übung . . . . .	788
<b>11</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>789</b>
11.1	Lösungen der Übungsaufgaben . . . . .	789
11.1.1	Einführung . . . . .	789
11.1.2	Mechanik . . . . .	792
11.1.3	Thermodynamik . . . . .	813
11.1.4	Elektrizität und Magnetismus . . . . .	824
11.1.5	Schwingungen und Wellen . . . . .	831
11.1.6	Optik . . . . .	840

---

11.1.7	Akustik . . . . .	864
11.1.8	Atom- und Kernphysik . . . . .	869
11.1.9	Festkörperphysik . . . . .	870
11.1.10	Spezielle Relativitätstheorie . . . . .	875
11.2	Nobelpreisträger der Physik . . . . .	878
	<b>Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>887</b>