

Inhalt

Vorwort — V

Einleitung — 1

Mechanik

1 Raum und Zeit — 5

1.1	Physikalische Größen und Einheiten — 5
1.1.1	Länge als Beispiel — 5
1.1.2	Einheitensysteme — 5
1.1.3	Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems — 6
1.1.4	Längenmessung — 10
1.1.5	Zeitmessung — 12
1.1.6	Winkelmaße — 14
1.2	Bewegungen im Raum — 15
1.2.1	Geschwindigkeit — 15
1.2.2	Beschleunigung — 18
1.2.3	Kreisbewegung — 19
1.2.4	Berechnung des Weges aus Geschwindigkeit und Beschleunigung — 21

2 Masse und Kraft — 23

2.1	Die träge Masse — 23
2.2	Wirkung von Kräften — 24
2.2.1	Newton'sche Axiome — 24
2.2.2	Verschiedene Arten von Kräften — 25
2.2.2.1	Gravitation — 26
2.2.2.2	Trägheitskraft — 27
2.2.2.3	Zentrifugal- und Zentripetalkraft — 28
2.2.3	Statisches und dynamisches Gleichgewicht von Kräften — 28
2.2.4	Schwerelosigkeit — 29
2.2.5	Kraftmessung — 29
2.2.6	Druck (Kraft auf eine Fläche) — 30
2.2.7	Drehmoment — 30
2.2.7.1	Trägheitsmoment — 31
2.2.7.2	Starrer Körper — 32
2.2.7.3	Schwerpunkt — 32
2.2.7.4	Kräftepaar — 33
2.2.7.5	Hebel — 33
2.2.7.6	Die Balkenwaage — 34
2.2.7.7	Stabiles, indifferentes und labiles Gleichgewicht; Standfestigkeit — 36

2.2.8	Impuls und Drehimpuls — 36
2.2.9	Reibungskraft — 38

3 Arbeit, Energie, Leistung — 41

3.1	Arbeit — 41
3.2	Energieformen — 42
3.3	Leistung, Wirkung — 45

4 Erhaltungssätze — 47

4.1	Energieerhaltungssatz — 47
4.2	Impulserhaltungssatz — 48
4.3	Der Stoß als Beispiel für Energie- und Impulserhaltung — 49
4.4	Drehimpulserhaltungssatz — 50

5 Mechanische Eigenschaften von Stoffen — 52

5.1	Wechselwirkungen zwischen Atomen und Molekülen — 53
5.1.1	Bindungsarten — 53
5.1.2	Molekulares Bild der Aggregatzustände — 55
5.2	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Festkörpern — 60
5.2.1	Homogene Körper — 60
5.2.2	Verformung von festen Körpern unter dem Einfluss von Kräften — 60
5.3	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten — 63
5.3.1	Grenzflächen — 63
5.3.2	Hydrostatik — 67
5.3.2.1	Kapillarität — 67
5.3.2.2	Druck in Flüssigkeiten — 69
5.3.3	Hydrodynamik — 74
5.3.3.1	Die Kontinuitätsgleichung — 74
5.3.3.2	Reale Flüssigkeiten — 76
5.4	Nanomaterie — 86

Mechanische Schwingungen und Wellen

6 Schwingungen — 95

6.1	Pendel als mechanisches schwingungsfähiges System — 96
6.2	Differentialgleichung der ungedämpften Schwingung — 97
6.3	Gedämpfte Schwingungen — 99
6.4	Erzwungene Schwingungen — 101
6.5	Anharmonische Schwingungen — 103
6.5.1	Überlagerung von harmonischen Schwingungen — 103
6.5.2	Zerlegung anharmonischer Schwingungen in harmonische Teilschwingungen — 104
6.5.3	Schwebung — 105

6.6	Gekoppelte Pendel — 106
6.6.1	Zwei gekoppelte Pendel — 106
6.6.2	Übergang von der Pendelkette zu Eigenschwingungen ausgedehnter Körper — 107

7 Wellen Teil I: Mechanische und akustische Wellen — 110

7.1	Ausbreitung von Schwingungen in Wellenfeldern — 110
7.2	Beschreibung von Wellenfeldern — 113
7.3	Akustik — 114
7.4	Der Doppler-Effekt — 122
7.5	Gedämpfte Wellen — 124
7.6	Anharmonische Wellen: Schallwellen als Beispiel — 125
7.7	Überlagerung von Wellen; Interferenz — 129
7.8	Das Huygens'sche Prinzip — 130
7.9	Wellen an der Grenzfläche zwischen verschiedenen Medien — 131
7.10	Stehende Wellen — 134
7.11	Schallempfindungen: Akustik der Musik — 138
7.12	Stimme und Gehör des Menschen — 141
7.13	Ultraschall — 143

Wärmelehre**8 Wärme und Temperatur — 151**

8.1	Einleitung — 151
8.2	Wärmeenergie/Wärmemenge — 151
8.3	Wärmekapazität — 152
8.4	Temperaturskalen — 153
8.5	Temperatur-Messgeräte — 154
8.5.1	Ausdehnungsthermometer — 154
8.5.2	Thermoelement — 156
8.5.3	Widerstandsthermometer — 156
8.5.4	Digitalthermometer — 157

9 Ideale Gase — 158

9.1	Zustandsgrößen, Zustandsgleichung — 158
9.2	Zustandsänderungen — 158
9.3	Adiabatische Zustandsgleichungen — 160
9.4	Zustandsgleichung von Gasgemischen — 160

10 Kinetische Gastheorie — 162

10.1	Gasdruck — 162
10.2	Kinetische Energie und Temperatur — 163
10.3	Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz — 163

10.4	Geschwindigkeitsverteilung — 164
10.5	Volumenarbeit — 165
10.6	Wärmekapazität von Gasen — 166
11	Reale Gase, Van der Waals'sche Zustandsgleichung — 168
12	Hauptsätze der Wärmelehre — 170
12.1	Innere Energie — 170
12.2	Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre — 170
12.3	Reversible und irreversible Prozesse — 171
12.4	Entropie — 173
12.5	Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre — 174
12.6	Energiebilanz beim lebenden Organismus — 175
13	Thermodynamische Eigenschaften von Stoffen — 177
13.1	Thermische Ausdehnung — 177
13.2	Wärmeübergang, Wärmetransport — 178
13.3	Stoffgemische — 179
13.3.1	Gehaltsangaben von Lösungen — 179
13.3.2	Echte Lösung, kolloidales System, grobe Dispersion — 180
13.3.3	Henry-Dalton'sches Gesetz — 181
13.3.4	Hydratation, Solvatation — 182
13.3.5	Diffusion — 182
13.3.6	Osmose — 183
13.3.7	Phasenübergänge — 185
13.3.7.1	Umwandlungswärmen — 185
13.3.7.2	Lösungswärmen — 186
13.3.7.3	Reaktionswärmen — 187
13.3.7.4	Dampfdruck — 188
13.3.7.5	Dampfdruckreduzierung, Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktsreduzierung — 189
13.3.7.6	Koexistenz von Phasen, Phasengleichgewichte — 191

Elektrizitätslehre

14	Elektrische und magnetische Größen — 195
14.1	Vorbemerkung — 195
14.2	Ladung — 195
14.2.1	Ladungsmenge — 195
14.2.2	Kraft zwischen elektrischen Ladungen — 197
14.3	Die elektrische Spannung — 197
14.3.1	Elektrische Arbeit und elektrisches Potential — 197
14.3.2	Spannungsquellen — 198

14.4	Der elektrische Strom — 200
14.5	Widerstand, Leitwert — 201
14.5.1	Leiter, Nichtleiter — 201
14.5.2	Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit — 202
14.5.3	Strom-Spannungs-Kennlinie von Leitern — 203
14.6	Netzwerke — 204
14.6.1	Schaltbilder — 204
14.6.2	Innenwiderstand einer Spannungsquelle — 205
14.6.3	Kirchhoff'sche Gesetze des elektrischen Stroms — 206
14.7	Elektrostatisches Feld — 208
14.7.1	Kraftwirkung auf eine Ladung im Feld — 208
14.7.2	Arbeit und Energie im elektrischen Feld — 209
14.7.3	Kondensator und Kapazität — 211
14.7.4	Kräfte auf einen Dipol im Feld — 212
14.7.5	Materie im Feld — 213
14.7.6	Energieinhalt des elektrischen Feldes — 216
14.7.7	Piezo- und Pyroelektrizität — 216
14.8	Magnetfeld — 217
14.8.1	Feldstärke und magnetische Induktion — 218
14.8.2	Kräfte auf einen magnetischen Dipol — 221
14.8.3	Lorentzkraft — 221
14.8.4	Induktionsvorgänge — 223
14.8.5	Selbstinduktion — 225
14.8.6	Energieinhalt des magnetischen Feldes — 225
14.8.7	Lenz'sche Regel — 226
14.8.8	Magnetfelder im menschlichen Körper — 226
14.9	Zeitabhängige Spannungen und Ströme — 228
14.9.1	Ein- und Ausschaltvorgänge — 228
14.9.1.1	Einschalt- und Ausschaltvorgang beim Kondensator — 228
14.9.1.2	Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule — 230
14.9.2	Sinusförmige Wechselspannungen und Wechselströme — 231
14.9.3	Dreiphasen-Spannung, Drehstrom — 233
14.9.4	Nicht sinusförmige Wechselspannungen, Spannungsimpulse — 233
14.9.5	Wechselstromkreise — 234
14.9.5.1	Kapazitiver Widerstand — 235
14.9.5.2	Induktiver Widerstand — 236
14.9.5.3	Wechselstromkreise mit Ohm'schem, kapazitivem und induktivem Widerstand — 236
14.9.6	Resonanz-Schwingkreise — 238
14.9.7	Elektromagnetische Wellen — 239
14.9.7.1	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen — 243
14.9.7.2	Ausbreitungsrichtung elektromagnetischer Wellen — 243

14.9.7.3	Maxwell'sche Gleichungen — 243
14.9.8	Leistung des elektrischen Stroms — 243
15	Mikroskopische elektrische Vorgänge — 247
15.1	Biologische Potentiale — 247
15.1.1	Entstehung von Spannungen an Grenzflächen — 247
15.1.2	Summenpotentiale — 250
15.2	Mechanismen der Stromleitung — 251
15.2.1	Stromleitung im Vakuum — 252
15.2.2	Stromleitung in Gasen — 253
15.2.3	Stromleitung in Elektrolyten — 255
15.2.4	Stromleitung in Festkörpern — 261
15.3	Halbleiterelektronik — 265
15.3.1	Halbleiterdiode — 265
15.3.2	Transistor — 267
15.3.3	Feldeffekt-Transistor — 268
15.3.4	Digitalelektronik — 269
16	Elektrische Geräte — 273
16.1	Messgeräte — 273
16.1.1	Das Drehspul-Messwerk — 273
16.1.2	Das Digital-Messgerät — 275
16.1.3	Messung von Strom und Spannung — 276
16.1.4	Oszilloskop (Oszillograf) — 279
16.1.5	Analoge Ladungsmessung — 280
16.1.6	Messung von Ohm'schen Widerständen — 282
16.1.7	Rauschen — 283
16.2	Technische elektrische Geräte — 283
16.2.1	Dynamo-Maschine — 283
16.2.2	Elektro-Motor — 284
16.2.3	Transformator — 285
16.2.4	Sender und Empfänger — 287
Optik	
17	Optische Strahlung — 293
17.1	Einleitung — 293
17.2	Licht-Messgrößen — 295
17.3	Strahlungsquellen — 297
17.4	Bohr'sches Atommodell — 300
17.5	Emission von Licht aus Atomen — 303
17.6	Kohärenz, spontane und induzierte Emission — 306
17.7	Das Emissionsspektrum der Atome — 308

17.8	Absorption von Licht in Atomen und Molekülen — 310
17.9	Emission und Absorption glühender Stoffe — 312
17.10	Temperaturstrahlung und Temperaturlgleichgewicht — 313
17.10.1	Thermische Emission und Absorption — 314
17.10.2	Strahlungsgesetze — 316
17.11	Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Lumineszenz — 319
17.12	LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) — 321
17.12.1	Funktionsweise und Eigenschaften — 321
17.12.2	Laser in der Medizin — 328
18	Wellen Teil II: Wellenoptik — 333
18.1	Interferenz von Wellen — 333
18.1.1	Interferenzfähigkeit — 333
18.1.2	Anwendung der Interferenz: die Interferometrie — 336
18.1.3	Holografie — 338
18.2	Beugung elektromagnetischer Wellen — 340
18.2.1	Beugung an Spalten — 340
18.2.2	Das Beugungsgitter — 343
18.2.3	Beugung an kreisförmigen Blenden (Beugungsunschärfe) — 345
18.2.4	Beugung von Röntgenstrahlen und energiereichen freien Elektronen — 347
18.3	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie — 349
18.3.1	Der Brechungsindex und das Brechungsgesetz — 349
18.3.2	Das Absorptionsgesetz — 351
18.3.3	Der Zusammenhang zwischen Absorption und Dispersion — 354
18.3.4	Dichroismus und Doppelbrechung — 355
18.3.5	Spannungsdoppelbrechung — 356
18.4	Spektralanalyse — 356
18.4.1	Lambert-Beer'sches Gesetz — 358
18.4.2	Optische Eigenschaften nanoskaliger Partikel — 360
18.5	Polarisation elektromagnetischer Wellen — 361
18.5.1	Polarisationszustand — 361
18.5.2	Erzeugung und Untersuchung von linear polarisiertem Licht — 363
18.5.3	Optische Aktivität und Faraday-Effekt — 367
18.6	Materiewellen — 367
19	Geometrische Optik — 371
19.1	Lichtausbreitung — 371
19.2	Optische Symbole, Strahlengänge und Bilder — 373
19.3	Reflexion und Brechung in der Geometrischen Optik — 374
19.3.1	Reflexion — 374
19.3.2	Abbildung durch Spiegel — 375
19.3.3	Brechung — 376
19.3.4	Intensitäten von gebrochenem und reflektiertem Strahl — 377

19.3.5	Zerlegung von Licht in seine Spektralfarben mithilfe des Prismas — 378
19.3.6	Totalreflexion — 379
19.3.7	Optoelektronik — 382
19.4	Abbildung mit Linsen — 383
19.4.1	Abbildung mittels brechender Flächen — 383
19.4.2	Die Abbildungsgleichung für eine brechende Fläche — 385
19.4.3	Spezialfälle der Abbildungsgleichung — 386
19.4.4	Die Abbildungsgleichung für eine Linse — 387
19.4.5	Klassifizierung von Linsen — 388
19.4.6	Die Abbildungsgleichung für ein System aus zwei Linsen — 389
19.4.7	Objektive — 390
19.4.8	Kardinalelemente von dicken Linsen und Linsensystemen — 391
19.4.9	Konstruktion von Strahlengängen — 392
19.4.10	Optische Vergrößerung — 395
19.4.11	Die Schärfentiefe — 396
19.4.12	Abbildungfehler — 397
19.5	Das Auge und der visuelle physikalische Bildbearbeitungsapparat — 399
19.5.1	Optische Abbildung im Auge — 404
19.5.2	Fehlsichtigkeit — 406
19.5.3	Empfindlichkeit des Sehapparates — 408
19.5.4	Bildwahrnehmung — 409
19.5.5	Vergrößerung bei Betrachtung mit dem Auge — 411
19.5.6	Farbsehen — 412

20 Einige abbildende und spektroskopische Instrumente — 419

20.1	Glas — 419
20.2	Lupe — 421
20.2	Projektionsapparate — 422
20.3	Lichtmikroskop — 423
20.4	Elektronenmikroskop — 430
20.5	Raster-Sonden-Mikroskopie (SPM) — 435
20.6	Fernrohr — 437
20.6.1	Adaptive Optik — 438
20.7	Spektral-Photometer — 439
20.8	Strahlungsmessgeräte — 441
20.9	Kamera — 444

21 Atomkerne, Ionisierende Strahlung — 448

21.1	Atomkerne — 448
21.1.1	Elementarteilchen — 448
21.1.2	Aufbau der Atomkerne — 449
21.1.3	Kernmagnetische Resonanz, Magnetresonanztomografie (MRT) — 452
21.2	Radioaktivität — 455

21.2.1	Kernumwandlungen — 455
21.2.2	Natürliche Radionuklide — 460
21.2.3	Zerfallsgesetz — 463
21.2.4	Radioaktives Gleichgewicht — 464
21.2.5	Wechselwirkung energiereicher geladener Teilchen mit Materie — 466
21.2.6	Wechselwirkung von Neutronen mit Materie — 467
21.2.7	Strahlungsdetektoren — 468
21.2.8	Medizinische Anwendung von Radionukliden, Bestrahlungstechniken — 472
21.2.9	Kernspaltung und Kernfusion — 477
21.2.10	Künstliche Kernumwandlung, Aktivierung — 479
21.3	Röntgenstrahlen — 480
21.3.1	Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung — 480
21.3.2	Erzeugung ultraharter Röntgenstrahlung durch Teilchenbeschleuniger — 483
21.3.3	Wechselwirkung von Röntgen- und γ -Strahlung mit Materie — 484
21.3.4	Röntgenbildaufnahmen — 487
21.4	Dosimetrie — 490
21.5	Bemerkungen zum Strahlenschutz — 492

Regelung, Steuerung, Informationsübertragung

22	Regelung und Steuerung — 497
23	Computergestützte Informationsübertragung in der Medizin (Medizinische Informatik) — 500

Aufgaben und Lösungen

24	Aufgaben — 507
1.1	Relativitätstheorie — 507
1.2	Raumwinkel — 507
1.3	Beschleunigung, Bremsung — 507
2.1	Kraft — 507
2.2	Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung — 507
2.3	Druck — 507
2.4	Reibung — 508
3.1	Abmagerungskur — 508
3.2	Energie, Leistung — 508
3.3	Masse-Energie-Äquivalenz — 508
4.1	Impulserhaltung — 508
4.2	Drehimpulserhaltung — 508
5.1	Elastische Verformung — 508
5.2	Bruchfestigkeit — 509
5.3	Hagen-Poiseuille'sches Gesetz — 509

5.4	Sedimentation — 509
5.5	Turbulente Strömung — 509
6.1	Pendel — 509
6.2	Eigenschwingung eines elastischen Festkörpers — 509
6.3	Gedämpfte Schwingungen — 510
6.4	Erzwungene Schwingungen — 510
6.5	Mittelwerte periodisch sich ändernder Größen — 510
7.1	Wellenlänge und Phase — 511
7.2	Schallausbreitung — 511
7.3	Überschallflugzeug — 511
7.4	Empfindlichkeitsbereich des Ohres — 511
7.5	Akkorde — 512
7.6	Frequenz einer gespannten Saite — 512
8.1	Wärmekapazität eines Kalorimeters — 512
8.2	Erwärmung eines Körpers — 512
8.3	Widerstandsthermometer — 513
9.1	Ausdehnung von Gasen — 513
9.2	Adiabatische Kompression — 513
9.3	Sauerstoffverbrauch des Menschen — 513
10.1	Innere Energie eines Gases — 513
10.2	Translationsenergie von Gasen — 513
10.3	Arbeit, Wärmemenge, innere Energie eines Gases — 513
12.1	Energieumwandlung — 513
12.2	Carnot'scher Kreisprozess — 514
12.3	Wärmepumpe — 514
13.1	Energieabgabe des menschlichen Körpers — 514
13.2	Hämolyse bei osmotischer Druckdifferenz — 514
13.3	Osmotischer Druck — 514
14.1	Vergleich von Coulomb- und Gravitationskraft — 514
14.2	Elektrischer Widerstand — 515
14.3	Kompensatorische Spannungsmessung — 515
14.4	Magnetfeld, Lorentz-Kraft — 515
14.5	Wechselstrom — 516
15.1	Elektrolyt — 516
15.2	Elektroschock — 516
15.3	Driftgeschwindigkeit und Beweglichkeit von Elektronen in Metallen — 516
16.1	Messung biologischer Spannungen — 516
16.2	Messbereichserweiterung von Ampere- und Voltmeter — 517
16.3	Überlegungen zur Aufnahme eines EKG — 517
16.4	EEG-Aufnahme — 517
16.5	Wheatstone'sche Brückenschaltung — 517
16.6	Spannungsversorgung von Röntgengeräten — 517
17.1	Lichtquellen — 518

17.2	Farben — 518
17.3	Thermische Strahlung des menschlichen Körpers — 518
17.4	Chemische Wirkung des Lichts — 518
17.5	Arbeitsplatzbeleuchtung — 518
18.1	Interferenzfarben — 519
18.2	Brechung — 519
18.3	Absorption — 519
18.4	Streuung und Absorption von Licht — 519
18.5	Polarimeter — 519
18.6	Materiewellen und elektromagnetische Wellen — 520
19.1	Doppler-Effekt beim Licht — 520
19.2	Reflexion — 520
19.3	Brechung — 521
19.4	Linsengesetze — 521
19.5	Brillen — 521
19.6	Auge — 521
19.7	Auflösungsvermögen des Auges — 521
20.1	Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops — 522
20.2	Zweistrahlphotometer — 522
20.3	Wechseloptiken — 522
21.1	Umwandlung von Masse in Strahlungsenergie — 522
21.2	Kernbindungs Kräfte — 523
21.3	Altersbestimmung durch Messung des Gehalts an radioaktivem Kohlenstoff — 523
21.4	Bestimmung des Kaliumgehalts — 523
21.5	Anzahl der Kernumwandlungen bei einem radioaktiven Präparat — 523
21.6	Radioaktives Gleichgewicht — 523
21.7	Radioaktive Markierung, Blutvolumenbestimmung — 523
21.8	Energiegewinnung durch Fusion — 523
21.9	Strahlendosis — 524
21.10	Beschleunigung von Teilchen — 524
25	Lösungen — 525

Anhang

A.1	Mathematische Beschreibung physikalischer Zusammenhänge — 551
A.2	Fehlerabschätzung — 553
A.3	Rechnen mit Vektoren — 563

- A.4 Das Exponentialgesetz — 567**
 - A.5 Weitere mathematische Beziehungen — 569**
 - A.6 Einige Naturkonstanten — 575**
 - A.7 Angelsächsisches Einheitensystem — 577**
- Register — 579**