

Inhalt

Einleitung	1
Mechanik	
1. Raum und Zeit	3
1.1 Physikalische Größen und Einheiten	3
1.1.1 Länge als Beispiel	3
1.1.2 Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems	6
1.1.3 Längenmessung	7
1.1.4 Zeitmessung	10
1.1.5 Winkelmaße	11
1.2 Bewegungen im Raum	12
1.2.1 Geschwindigkeit	12
1.2.2 Beschleunigung	16
1.2.3 Kreisbewegung	17
1.2.4 Berechnung des Weges aus Geschwindigkeit und Beschleunigung	19
2. Masse und Kraft	22
2.1 Die träge Masse	22
2.2 Wirkung von Kräften	24
2.2.1 Newtonsche Axiome	24
2.2.2 Verschiedene Arten von Kräften	26
2.2.2.1 Gravitation	26
2.2.2.2 Trägheitskraft	28
2.2.2.3 Zentrifugal- und Zentripetalkraft	29
2.2.3 Statisches und dynamisches Gleichgewicht von Kräften	31
2.2.4 Schwerelosigkeit	31
2.2.5 Dynamometer (Kraft einer gespannten Feder)	32
2.2.6 Druck (Kraft auf eine Fläche)	32
2.2.7 Drehmoment	33
2.2.7.1 Trägheitsmoment	33
2.2.7.2 Kräftepaar	34
2.2.7.3 Anwendung auf den Hebel	35
2.2.7.4 Schwerpunkt	36
2.2.7.5 Die Hebelwaage	38
2.2.7.6 Indifferentes, stabiles und labiles Gleichgewicht	39
2.2.8 Impuls und Drehimpuls	40
2.2.9 Reibung	42
3. Arbeit, Energie, Leistung	45
3.1 Ein Beispiel für den Begriff „Arbeit“	45
3.2 Energieformen	46
3.3 Leistung, Wirkung	49
4. Erhaltungssätze	51
4.1 Energieerhaltungssatz	51

VIII		Inhalt
4.2	Impulserhaltungssatz	53
4.3	Stoß als Beispiel für Energie- und Impulserhaltung	54
4.4	Drehimpulserhaltungssatz	55
5.	Mechanische Eigenschaften von Stoffen	57
5.1	Wechselwirkungen zwischen Atomen und Molekülen	58
	5.1.1 Bindungsarten	58
	5.1.2 Molekulares Bild der Aggregatzustände	62
	5.1.2.1 Gase	62
	5.1.2.2 Festkörper	62
	5.1.2.3 Thermische Bewegung und Schmelzvorgang	65
	5.1.2.4 Flüssigkeiten	65
	5.1.3 Grenzflächen	65
5.2	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Festkörpern	68
	5.2.1 Homogene Körper	68
	5.2.2 Verformung von festen Körpern unter dem Einfluß von Kräften	69
5.3	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten	72
	5.3.1 Hydrostatik	72
	5.3.1.1 Spezifische Oberflächenenergie (Oberflächenspannung)	72
	5.3.1.2 Druck in Flüssigkeiten	76
	5.3.2 Hydrodynamik	83
	5.3.2.1 Die Kontinuitätsgleichung	83
	5.3.2.2 Zähle Flüssigkeiten (Viskosität, Laminare Strömung, Turbulente Strömung, Strömungsgesetze und Blutkreislauf)	85

Mechanische Schwingungen und Wellen, Akustik

6.	Schwingungen	96
6.1	Pendel als mechanisches schwingungsfähiges System	97
6.2	Differentialgleichung der ungedämpften Schwingung	98
6.3	Gedämpfte Schwingungen	101
6.4	Erzwungene Schwingungen	102
6.5	Anharmonische Schwingungen	104
	6.5.1 Überlagerung von harmonischen Schwingungen	104
	6.5.2 Zerlegung anharmonischer Schwingungen in harmonische Teilschwingungen	106
	6.5.3 Schwebung	106
6.6	Gekoppelte Pendel	107
	6.6.1 Zwei gekoppelte Pendel	107
	6.6.2 Übergang von der Pendelkette zu einfachen Eigenschwingungen ausgedehnter Körper	109
7.	Wellen	112
7.1	Ausbreitung von Schwingungen	112
7.2	Doppler-Effekt	118
7.3	Gedämpfte Wellen	120
7.4	Anharmonische Wellen	121
7.5	Verhalten von Wellen an der Grenzfläche zwischen verschiedenen Medien	124
7.6	Überlagerung von Wellen	127
7.7	Stehende Wellen	128

Inhalt	IX
7.8 Schallwellen (Akustik)	131
7.9 Schallfeldgrößen	134
7.10 Schallempfindungen	137
7.11 Stimme und Gehör beim Menschen	139
7.12 Ultraschall	141
7.12.1 Ultraschalldiagnostik	142

Wärmelehre

8. Wärme und Temperatur	146
8.1 Einleitung	146
8.2 Wärmeenergie	146
8.3 Wärmekapazität, spezifische Wärme	147
8.4 Temperaturskalen	148
8.5 Temperatur-Meßgeräte	149
8.5.1 Ausdehnungsthermometer	149
8.5.2 Thermoelement	151
8.5.3 Widerstandsthermometer	152
9. Ideale Gase	153
9.1 Zustandsgrößen, Zustandsgleichung	153
9.2 Zustandsänderungen	153
9.3 Adiabatische Zustandsgleichungen	154
9.4 Zustandsgleichung von Gasgemischen	155
10. Kinetische Gastheorie	156
10.1 Gasdruck	156
10.2 Kinetische Energie und Temperatur	157
10.3 Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz	157
10.4 Geschwindigkeitsverteilung	158
10.5 Volumenarbeit	159
10.6 Wärmekapazität von Gasen	160
11. Reale Gase, Van der Waals'sche Zustandsgleichung	162
12. Hauptsätze der Wärmelehre	164
12.1 Innere Energie	164
12.2 Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre	165
12.3 Reversible und irreversible Prozesse	165
12.4 Entropie	167
12.5 Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre	169
12.6 Energiebilanz beim lebenden Organismus	169
13. Thermodynamische Eigenschaften von Stoffen	171
13.1 Thermische Ausdehnung	171
13.2 Wärmeübergang, Wärmetransport	172
13.3 Stoffgemische	173
13.3.1 Gehaltsangaben von Lösungen	174
13.3.2 Echte Lösung, kolloidales System, grobe Dispersion	175
13.3.3 Henry-Dalton'sches Gesetz	175
13.3.4 Hydratation, Solvatation	176

13.3.5	Diffusion	176
13.3.6	Osmose	177
13.3.7	Phasenübergänge	179
13.3.7.1	Umwandlungswärmen	179
13.3.7.2	Lösungswärmen	181
13.3.7.3	Reaktionswärmen	181
13.3.7.4	Dampfdruck	182
13.3.7.5	Dampfdruckerniedrigung, Siedepunktserhöhung und Gefrierpunkts- erniedrigung	183
13.3.7.6	Koexistenz von Phasen, Phasengleichgewichte	185

Elektrizitätslehre

14.	Elektrische und magnetische Größen	187
14.1	Vorbemerkung	187
14.2	Ladung	187
14.2.1	Ladungsmenge	187
14.2.2	Kraft zwischen elektrischen Ladungen	188
14.3	Spannung	189
14.3.1	Definition der Spannung	189
14.3.2	Spannungsquellen	190
14.4	Strom	192
14.5	Widerstand, Leitwert	193
14.5.1	Leiter, Nichtleiter	193
14.5.2	Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit	194
14.5.3	Strom-Spannungs-Kennlinie von Leitern	195
14.6	Netzwerke	196
14.6.1	Schaltbilder	196
14.6.2	Innenwiderstand einer Spannungsquelle	197
14.6.3	Kirchhoffsche Gesetze des elektrischen Stromes	199
14.7	Elektrostatisches Feld	202
14.7.1	Kraftwirkung auf eine Ladung im Feld	202
14.7.2	Arbeit und Energie im elektrischen Feld	204
14.7.3	Kondensator und Kapazität	206
14.7.4	Kräfte auf einen Dipol im Feld	208
14.7.5	Materie im Feld	209
14.7.6	Energieinhalt des elektrischen Feldes	213
14.7.7	Piezo- und Pyroelektrizität	213
14.8	Magnetfeld	214
14.8.1	Feldstärke und magnetische Induktion	214
14.8.2	Kräfte auf einen magnetischen Dipol	218
14.8.3	Induktionsvorgänge	218
14.8.4	Maxwellsche Gleichungen	220
14.8.5	Lorentz-Kraft	221
14.8.6	Selbstinduktion	223
14.8.7	Energieinhalt des magnetischen Feldes	223
14.8.8	Lenzsche Regel	224
14.8.9	Magnetfelder des menschlichen Körpers	224
14.9	Zeitabhängige Spannungen und Ströme	225
14.9.1	Ein- und Ausschaltvorgänge	225

14.9.1.1	Einschalt- und Ausschaltvorgang beim Kondensator	225
14.9.1.2	Einschalt- und Ausschaltvorgang bei der Spule	228
14.9.2	Sinusförmige Wechselspannungen und Wechselströme	229
14.9.3	Dreiphasen-Spannung, Drehstrom	231
14.9.4	Nicht-sinusförmige Wechselspannungen, Spannungsimpulse	232
14.9.5	Wechselstrom-Kreise	233
14.9.5.1	Kapazitiver Widerstand	233
14.9.5.2	Induktiver Widerstand	234
14.9.5.3	Wechselstromkreise mit Ohmschem, kapazitivem und induktivem Widerstand	235
14.9.6	Resonanz-Schwingkreise	237
14.9.7	Elektromagnetische Wellen	239
14.9.7.1	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	242
14.9.7.2	Ausbreitungsrichtung elektromagnetischer Wellen	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
15.4.3	Digitalelektronik	269
16.	Elektrische Geräte	274
16.1	Meßgeräte	274
16.1.1	Das Drehspul-Meßwerk	275
16.1.2	Das Digital-Meßgerät	277
16.1.3	Messung von Strom und Spannung	278
16.1.4	Elektronenstrahl-Oszilloskop (Oszillograph) und Bildschirm	281
16.1.5	Ladungsmessung	286
16.1.6	Messung von Ohmschen Widerständen	286
16.1.7	Rauschen	288
16.2	Technische elektrische Geräte	288
16.2.1	Dynamo-Maschine	288
16.2.2	Elektro-Motor	289
16.2.3	Transformator	289
16.2.4	Sender und Empfänger	292

Optik

17.	Optische Strahlung	296
17.1	Einleitung	296

17.2	Lichtmeßgrößen	297
17.3	Strahlungsquellen	299
17.4	Bohrsches Atommodell	299
17.5	Emission von Licht aus Atomen	302
17.6	Das Emissions-Spektrum des Atoms	304
17.7	Absorption von Licht in Atomen	306
17.8	Emission und Absorption glühender Körper	306
17.9	Wärmestrahlung und Temperaturgleichgewicht	307
	17.9.1 Thermische Emission und Absorption von festen Körpern	308
	17.9.2 Strahlungsgesetze	310
17.10	Der Laser	312
	17.10.1 Laser in der Medizin	314
17.11	Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Lumineszenz	314
18.	Wellenoptik	316
18.1	Kohärenz von Wellen	316
18.2	Interferenz von Wellen	316
	18.2.1 Interferenzfähigkeit	316
	18.2.2 Interferometrie	319
	18.2.3 Holographie	322
18.3	Beugung elektromagnetischer Wellen	324
	18.3.1 Das Huygens'sche Prinzip	324
	18.3.2 Beugung an Spalten	325
	18.3.3 Beugung am Draht	328
	18.3.4 Das Beugungsgitter	328
	18.3.5 Beugung an kreisförmigen Blenden (Beugungsunschärfe)	330
	18.3.6 Beugung von Röntgenstrahlen	332
18.4	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie	333
	18.4.1 Der Brechungsindex	333
	18.4.2 Das Absorptionsgesetz	334
	18.4.3 Der Zusammenhang zwischen Absorption und Dispersion	337
	18.4.4 Dichroismus und Doppelbrechung	337
	18.4.5 Spannungsdoppelbrechung	339
18.5	Spektralanalyse	339
	18.5.1 Lambert-Beersches Gesetz	340
	18.5.2 Extinktion kolloidaler Systeme	342
18.6	Polarisation elektromagnetischer Wellen	343
	18.6.1 Polarisationszustand	343
	18.6.2 Erzeugung und Untersuchung von linear polarisiertem Licht	344
	18.6.3 Optische Aktivität und Faraday-Effekt	348
18.7	Materiewellen	349
19.	Geometrische Optik	353
19.1	Lichtausbreitung	353
19.2	Optische Symbole	354
19.3	Gesetze der Geometrischen Optik	355
	19.3.1 Reflexion	355
	19.3.2 Abbildung durch Spiegel	356
	19.3.3 Brechung	359
	19.3.4 Intensitäten von gebrochenem und reflektiertem Strahl	361

19.3.5	Zerlegung von Licht in seine Spektralfarben mit Hilfe des Prismas	361
19.3.6	Totalreflexion	362
19.3.7	Optoelektronik	364
19.4	Abbildung mit Linsen	365
19.4.1	Abbildung durch brechende Flächen	365
19.4.2	Die Abbildungsgleichung für eine brechende Fläche	367
19.4.3	Spezialfälle der Abbildungsgleichung	368
19.4.4	Die Abbildungsgleichung für eine Linse	369
19.4.5	Klassifizierung von Linsen	370
19.4.6	Konstruktion von Strahlengängen	371
19.4.7	Abbildungsfehler	374
19.4.8	Die Abbildungsgleichung für ein System aus zwei Linsen	377
19.4.9	Kardinalelemente von dicken Linsen und Linsensystemen	378
19.4.10	Die Schärfentiefe (Tiefenschärfe)	379
19.4.11	Das Auge	380
19.4.12	Optische Vergrößerung	387
19.4.13	Vergrößerung bei Betrachtung mit dem Auge	387
20.	Einige optische Instrumente	390
20.1	Lupe	390
20.2	Projektions-Apparate	391
20.3	Lichtmikroskop	391
20.4	Elektronenmikroskop	397
20.5	Das Fernrohr	400
20.6	Photometer	401
20.7	Strahlungsmeßgeräte	403
20.8	Die Kamera	405

Atomkerne, Ionisierende Strahlung

21.1	Atomkerne	406
21.1.1	Elementarteilchen	406
21.1.2	Aufbau der Atomkerne	407
21.1.3	Kernresonanz	409
21.2	Radioaktivität	410
21.2.1	Kernumwandlungen	410
21.2.2	Natürliche Radionuklide	413
21.2.3	Zerfallsgesetz	415
21.2.4	Radioaktives Gleichgewicht	416
21.2.5	Wechselwirkung energiereicher geladener Teilchen mit Materie	417
21.2.6	Wechselwirkung von Neutronen mit Materie	419
21.2.7	Strahlungsdetektoren	420
21.2.8	Medizinische Anwendung von Radionukliden	423
21.2.9	Kernspaltung und Kernfusion	428
21.2.10	Künstliche Kernumwandlung	431
21.3	Röntgenstrahlen	432
21.3.1	Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung	432
21.3.2	Erzeugung ultraharter Röntgenstrahlung durch Teilchenbeschleuniger	435
21.3.3	Wechselwirkung von Röntgen- und Gamma-Strahlung mit Materie	438
21.3.4	Röntgenbildaufnahmen	441
21.4	Dosimetrie	443

Regelung, Steuerung, Informationsübertragung

22.	Regelung und Steuerung	447
23.	Informationsübertragung	450

Anhang

A.1	Mathematische Beschreibung physikalischer Zusammenhänge	452
A.2	Fehlerabschätzung	453
2.1	Größenordnungsmäßige Angabe von Meßfehlern	454
2.2	Ursachen von Fehlern	455
2.2.1	Fehler durch die Meßapparatur	455
2.2.2	Fehler durch das Meßobjekt	455
2.3	Methoden der Fehlerabschätzung	455
2.3.1	Meßfehler der Einzelgröße	456
2.3.2	Fehlerfortpflanzung	459
2.3.3	Fehler einer Funktion	460
2.4	Signifikanz-Tests	461
A.3	Rechnen mit Vektoren	462
A.4	Das Exponentialgesetz	465
A.5	Weitere mathematische Beziehungen	466
A.6	Einige Naturkonstanten	471
A.7	Aufgaben	472
A.8	Lösungen	484
	Register	502