

Inhalt

Einleitung

1

Mechanik

3

1. Raum und Zeit	3	2.2.7.6	Stabiles, indifferentes und labiles Gleichgewicht; Standfestigkeit 28
1.1 Physikalische Größen und Einheiten	3	2.2.8	Impuls und Drehimpuls 29
1.1.1 Länge als Beispiel	3	2.2.9	Reibung 30
1.1.2 Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems	4	3. Arbeit, Energie, Leistung	32
1.1.3 Längenmessung	7	3.1	Ein Beispiel für den Begriff <i>Arbeit</i> 32
1.1.4 Zeitmessung	9	3.2	Energieformen 33
1.1.5 Winkelmaße	10	3.3	Leistung, Wirkung 36
1.2 Bewegungen im Raum	11	4. Erhaltungssätze	37
1.2.1 Geschwindigkeit	11	4.1	Energieerhaltungssatz 37
1.2.2 Beschleunigung	13	4.2	Impulserhaltungssatz 38
1.2.3 Kreisbewegung	14	4.3	Der Stoß als Beispiel für Energie- und Impulserhaltung 39
1.2.4 Berechnung des Weges aus Geschwindigkeit und Beschleunigung	16	4.4	Drehimpulserhaltungssatz 40
2. Masse und Kraft	18	5. Mechanische Eigenschaften von Stoffen	41
2.1 Die träge Masse	18	5.1	Wechselwirkungen zwischen Atomen und Molekülen 42
2.2 Wirkung von Kräften	19	5.1.1	Bindungsarten 42
2.2.1 Newtonsche Axiome	19	5.1.2	Molekulares Bild der Aggregatzustände 44
2.2.2 Verschiedene Arten von Kräften	20	5.2	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Festkörpern 47
2.2.2.1 Gravitation	20	5.2.1	Homogene Körper 47
2.2.2.2 Trägheitskraft	22	5.2.2	Verformung von festen Körpern unter dem Einfluß von Kräften 47
2.2.2.3 Zentrifugal- und Zentripetalkraft	22	5.3	Makroskopische mechanische Eigenschaften von Flüssigkeiten 50
2.2.3 Statisches und dynamisches Gleichgewicht von Kräften	23	5.3.1	Grenzflächen 50
2.2.4 Schwerelosigkeit	23	5.3.2	Hydrostatik 53
2.2.5 Dynamometer (Kraft einer gespannten Feder)	24	5.3.2.1	Kapillarität 53
2.2.6 Druck (Kraft auf eine Fläche)	24	5.3.2.2	Druck in Flüssigkeiten 55
2.2.7 Drehmoment	24	5.3.3	Hydrodynamik 60
2.2.7.1 Trägheitsmoment	25	5.3.3.1	Die Kontinuitätsgleichung 60
2.2.7.2 Kräftepaar	25		
2.2.7.3 Hebel	26		
2.2.7.4 Schwerpunkt	27		
2.2.7.5 Die Hebelwaage	28		

5.3.3.2.2	Zähe Flüssigkeiten	62	5.3.3.2.3	Turbulente Strömung	67
5.3.3.2.1	Viskosität	62	5.3.3.2.4	Strömungsgesetze und Blutkreislauf	68
5.3.3.2.2	Laminare Strömung	64			

Mechanische Schwingungen und Wellen

71

6.	Schwingungen	71	7.	Wellen Teil I: Mechanische und Akustische Wellen	84
6.1	Pendel als mechanisches schwingungsfähiges System	72	7.1	Ausbreitung von Schwingungen in Wellenfeldern	85
6.2	Differentialgleichung der ungedämpften Schwingung	73	7.2	Beschreibung von Wellenfeldern	87
6.3	Gedämpfte Schwingungen	75	7.3	Der Doppler-Effekt	95
6.4	Erzwungene Schwingungen	77	7.4	Gedämpfte Wellen	97
6.5	Anharmonische Schwingungen	78	7.5	Anharmonische Wellen: Schallwellen als Beispiel	98
6.5.1	Überlagerung von harmonischen Schwingungen	79	7.6	Überlagerung von Wellen, Interferenz	100
6.5.2	Zerlegung anharmonischer Schwingungen in harmonische Teilschwingungen	80	7.7	Das Huygens'sche Prinzip	101
6.5.3	Schwebung	80	7.8	Wellen an der Grenzfläche zwischen verschiedenen Medien	102
6.6	Gekoppelte Pendel	81	7.9	Stehende Wellen	104
6.6.1	Zwei gekoppelte Pendel	81	7.10	Schallempfindungen: Akustik der Musik	107
6.6.2	Übergang von der Pendelkette zu Eigenschwingungen ausgedehnter Körper	82	7.11	Stimme und Gehör beim Menschen	109
			7.12	Ultraschall	111

Wärmelehre

117

8.	Wärme und Temperatur	117	9.2	Zustandsänderungen	123
8.1	Einleitung	117	9.3	Adiabatische Zustands- gleichungen	124
8.2	Wärmeenergie	117	9.4	Zustandsgleichung von Gas- gemischen	124
8.3	Wärmekapazität	118			
8.4	Temperaturskalen	119			
8.5	Temperatur-Meßgeräte	120	10.	Kinetische Gastheorie	125
8.5.1	Ausdehnungsthermometer	120	10.1	Gasdruck	125
8.5.2	Thermoelement	121	10.2	Kinetische Energie und Temperatur	126
8.5.3	Widerstandsthermometer	122	10.3	Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz	126
8.5.4	Digitalthermometer	122	10.4	Geschwindigkeitsverteilung	127
9.	Ideale Gase	123	10.5	Volumenarbeit	129
9.1	Zustandsgrößen, Zustands- gleichung	123	10.6	Wärmekapazität von Gasen	129

11.	Reale Gase, Van der Waals'sche Zustandsgleichung	130	13.3	Stoffgemische 140
			13.3.1	Gehaltsangaben von Lösungen 140
			13.3.2	Echte Lösung, kolloidales System, grobe Dispersion 141
12.	Hauptsätze der Wärmelehre	132	13.3.3	Henry-Daltonsches Gesetz 142
12.1	Innere Energie	132	13.3.4	Hydratation, Solvatation 142
12.2	Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre	133	13.3.5	Diffusion 143
12.3	Reversible und irreversible Prozesse	133	13.3.6	Osmose 143
12.4	Entropie	135	13.3.7	Phasenübergänge 145
12.5	Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre	136	13.3.7.1	Umwandlungswärmen 145
12.6	Energiebilanz beim lebenden Organismus	136	13.3.7.2	Lösungswärmen 146
13.	Thermodynamische Eigenschaften von Stoffen	138	13.3.7.3	Reaktionswärmen 147
13.1	Thermische Ausdehnung	138	13.3.7.4	Dampfdruck 147
13.2	Wärmeübergang, Wärmetransport	138	13.3.7.5	Dampfdruckerniedrigung, Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktterniedrigung 149
			13.3.7.6	Koexistenz von Phasen, Phasengleichgewichte 150

Elektrizitätslehre

153

14.	Elektrische und magnetische Größen	153	14.7	Elektrostatisches Feld 164
14.1	Vorbemerkung	153	14.7.1	Kraftwirkung auf eine Ladung im Feld 164
14.2	Ladung	153	14.7.2	Arbeit und Energie im elektrischen Feld 166
14.2.1	Ladungsmenge	153	14.7.3	Kondensator und Kapazität 167
14.2.2	Kraft zwischen elektrischen Ladungen	154	14.7.4	Kräfte auf einen Dipol im Feld 168
14.3	Spannung	155	14.7.5	Materie im Feld 169
14.3.1	Definition der Spannung	155	14.7.6	Energieinhalt des elektrischen Feldes 172
14.3.2	Spannungsquellen	156	14.7.7	Piezo- und Pyroelektrizität 172
14.4	Strom	157	14.8	Magnetfeld 172
14.5	Widerstand, Leitwert	159	14.8.1	Feldstärke und magnetische Induktion 173
14.5.1	Leiter, Nichtleiter	159	14.8.2	Kräfte auf einen magnetischen Dipol 176
14.5.2	Spezifischer Widerstand, spezifische Leitfähigkeit	159	14.8.3	Lorentz-Kraft 176
14.5.3	Strom-Spannungs-Kennlinie von Leitern	160	14.8.4	Induktionsvorgänge 178
14.6	Netzwerke	161	14.8.5	Selbstinduktion 179
14.6.1	Schaltbilder	161	14.8.6	Energiegehalt des magnetischen Feldes 180
14.6.2	Innenwiderstand einer Spannungsquelle	162	14.8.7	Lenzsche Regel 180
14.6.3	Kirchhoff'sche Gesetze des elektrischen Stromes	163	14.8.8	Magnetfelder des menschlichen Körpers 181

14.9	Zeitabhängige Spannungen und Ströme 181	15.1.1	Entstehung von Spannungen an Grenzflächen 198
14.9.1	Ein- und Ausschaltvorgänge 181	15.1.2	Summenpotentiale 201
14.9.1.1	Einschalt- und Ausschaltvorgang beim Kondensator 181	15.2	Mechanismen der Stromleitung 202
14.9.1.2	Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule 183	15.2.1	Stromleitung im Vakuum 202
14.9.2	Sinusförmige Wechselspannungen und Wechselströme 184	15.2.2	Stromleitung in Gasen 204
14.9.3	Dreiphasen-Spannung, Drehstrom 186	15.2.3	Stromleitung in Elektrolyten 205
14.9.4	Nicht-sinusförmige Wechselspannungen, Spannungs-impulse 186	15.2.4	Stromleitung in Festkörpern 211
14.9.5	Wechselstrom-Kreise 187	15.3	Halbleiterelektronik 215
14.9.5.1	Kapazitiver Widerstand 187	15.3.1	Halbleiterdiode 215
14.9.5.2	Induktiver Widerstand 188	15.3.2	Transistor 216
14.9.5.3	Wechselstromkreise mit Ohmschem, kapazitivem und induktivem Widerstand 189	15.3.3	Feldeffekt-Transistor 217
14.9.6	Resonanz-Schwingkreise 190	15.3.4	Digitalelektronik 217
14.9.7	Elektromagnetische Wellen 191	16.	Elektrische Geräte 220
14.9.7.1	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen 195	16.1	Meßgeräte 220
14.9.7.2	Ausbreitungsrichtung elektromagnetischer Wellen 195	16.1.1	Das Drehspul-Meßwerk 221
14.9.7.3	Maxwellsche Gleichungen 195	16.1.2	Das Digital-Meßgerät 222
14.9.8	Leistung des elektrischen Stroms 196	16.1.3	Messung von Strom und Spannung 223
15.	Mikroskopische elektrische Vorgänge 198	16.1.4	Elektronenstrahl-Oszilloskop (Oszillograph) und Bildschirm 226
15.1	Biologische Potentiale 198	16.1.5	Analoge Ladungsmessung 230
		16.1.6	Messung von Ohmschen Widerständen 230
		16.1.7	Rauschen 231
		16.2	Technische elektrische Geräte 231
		16.2.1	Dynamo-Maschine 231
		16.2.2	Elektro-Motor 232
		16.2.3	Transformator 233
		16.2.4	Sender und Empfänger 234

17.	Optische Strahlung 239	17.8	Absorption von Licht in Atomen 251
17.1	Einleitung 239	17.9	Emission und Absorption glühender Stoffe 251
17.2	Licht-Meßgrößen 240	17.10	Temperaturstrahlung und Temperaturgleichgewicht 252
17.3	Strahlungsquellen 242	17.10.1	Thermische Emission und Absorption 253
17.4	Bohrsches Atommodell 242	17.10.2	Strahlungsgesetze 255
17.5	Emission von Licht aus Atomen 245	17.11	Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Lumineszenz 257
17.6	Kohärenz, spontane und induzierte Emission 247		
17.7	Das Emissionsspektrum der Atome 249		

17.12	LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 258	19.3.2	Abbildung durch Spiegel 298
17.12.1	Funktionsweise und Eigenschaften 258	19.3.3	Brechung 299
17.12.2	Laser in der Medizin 261	19.3.4	Intensitäten von gebrochenem und reflektiertem Strahl 300
18.	Wellen Teil II: Wellenoptik 264	19.3.5	Zerlegung von Licht in seine Spektralfarben mit Hilfe des Prismas 301
18.1	Interferenz von Wellen 264	19.3.6	Totalreflexion 301
18.1.1	Interferenzfähigkeit 264	19.3.7	Optoelektronik 303
18.1.2	Anwendung der Interferenz: Die Interferometrie 266	19.4	Abbildung mit Linsen 304
18.1.3	Holografie 268	19.4.1	Abbildung durch brechende Flächen 304
18.2	Beugung elektromagnetischer Wellen 270	19.4.2	Die Abbildungsgleichung für eine brechende Fläche 306
18.2.1	Beugung an Spalten 270	19.4.3	Spezialfälle der Abbildungsgleichung 307
18.2.2	Das Beugungsgitter 273	19.4.4	Die Abbildungsgleichung für eine Linse 307
18.2.3	Beugung an kreisförmigen Blenden (Beugungunschärfe) 274	19.4.5	Klassifizierung von Linsen 308
18.2.4	Beugung von Röntgenstrahlen 276	19.4.6	Die Abbildungsgleichung für ein System aus zwei Linsen 309
18.3	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie 277	19.4.7	Kardinalelemente von dicken Linsen und Linsensystemen 310
18.3.1	Der Brechungsindex und das Brechungsgesetz 277	19.4.8	Konstruktion von Strahlengängen 311
18.3.2	Das Absorptionsgesetz 278	19.4.9	Optische Vergrößerung 313
18.3.3	Der Zusammenhang zwischen Absorption und Dispersion 281	19.4.10	Die Schärfentiefe (Tiefenschärfe) 313
18.3.4	Dichroismus und Doppelbrechung 281	19.4.11	Abbildungsfehler 314
18.3.5	Spannungsdoppelbrechung 283	19.5	Das Auge 316
18.4	Spektralanalyse 283	19.5.1	Optische Abbildung im Auge 317
18.4.1	Lambert-Beersches Gesetz 284	19.5.2	Fehlsichtigkeit 318
18.4.2	Extinktion kolloidaler Systeme 285	19.5.3	Empfindlichkeit 319
18.5	Polarisation elektromagnetischer Wellen 286	19.5.4	Bildverarbeitung 319
18.5.1	Polarisationszustand 286	19.5.5	Farbsehen 321
18.5.2	Erzeugung und Untersuchung von linear polarisiertem Licht 288	19.5.6	Vergrößerung bei Betrachtung mit dem Auge 323
18.5.3	Optische Aktivität und Faraday-Effekt 291	20.	Einige abbildende und spektroskopische Instrumente 324
18.6	Materiewellen 292	20.1	Lupe 324
19.	Geometrische Optik 294	20.2	Projektions-Apparate 324
19.1	Lichtausbreitung 295	20.3	Lichtmikroskop 325
19.2	Optische Symbole, Strahlengänge und Bilder 296	20.4	Elektronenmikroskop 330
19.3	Gesetze der Geometrischen Optik 297	20.5	Raster-Sonden-Mikroskopie 333
19.3.1	Reflexion 297	20.6	Fernrohr 334
		20.7	Photometer 335
		20.8	Strahlungsmeßgeräte 337
		20.9	Kamera 340

Atomkerne, Ionisierende Strahlung

341

21.1	Atomkerne	341	21.2.9	Kernspaltung und Kernfusion	363
21.1.1	Elementarteilchen	341	21.2.10	Künstliche Kernumwandlung, Aktivierung	364
21.1.2	Aufbau der Atomkerne	342	21.3	Röntgenstrahlen	365
21.1.3	Kernmagnetische Resonanz	344	21.3.1	Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung	365
21.2	Radioaktivität	346	21.3.2	Erzeugung ultraharter Röntgen- strahlung durch Teilchen- beschleuniger	368
21.2.1	Kernumwandlungen	346	21.3.3	Wechselwirkung von Röntgen- und Gammastrahlung mit Materie	369
21.2.2	Natürliche Radionuklide	350	21.3.4	Röntgenbildaufnahmen	372
21.2.3	Zerfallsgesetz	351	21.4	Dosimetrie	374
21.2.4	Radioaktives Gleichgewicht	353	21.5	Bemerkungen zum Strahlens- chutz	376
21.2.5	Wechselwirkung energiereicher gela- dener Teilchen mit Materie	354			
21.2.6	Wechselwirkung von Neutronen mit Materie	356			
21.2.7	Strahlungsdetektoren	356			
21.2.8	Medizinische Anwendung von Radionukliden	359			

Regelung, Steuerung, Informationsübertragung

379

22.	Regelung und Steuerung	379	23.	Informationsübertragung	381
-----	-------------------------------	-----	-----	--------------------------------	-----

Anhang

383

A.1	Mathematische Beschreibung physi- kalischer Zusammenhänge	383	2.3.1	Meßfehler der Einzelgröße	387
			2.3.2	Fehlerfortpflanzung	389
			2.3.3	Fehler einer Funktion	390
A.2	Fehlerabschätzung	384	2.4	Signifikanz-Tests	391
2.1	Größenordnungsmäßige Angabe von Meßfehlern	385	A.3	Rechnen mit Vektoren	392
2.2	Ursachen von Fehlern	386	A.4	Das Exponentialgesetz	394
2.2.1	Fehler durch die Meß- apparatur	386	A.5	Weitere mathematische Beziehungen	396
2.2.2	Fehler durch das Meßobjekt	386	A.6	Einige Naturkonstanten	399
2.3	Methoden der Fehler- abschätzung	386	A.7	Aufgaben	400
			A.8	Lösungen	410

Register

427