

Inhalt

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

5.3.3.2	Zähe Flüssigkeiten	62
5.3.3.2.1	Viskosität	62
5.3.3.2.2	Laminare Strömung	64

5.3.3.2.3	Turbulente Strömung	67
5.3.3.2.4	Strömungsgesetze und Blutkreislauf	68

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 Zustandsgleichungen	124
8.2	Wärmeenergie	117	9.4	Zustandsgleichung von Gasgemischen	124
8.3	Wärmekapazität	118	10.	Kinetische Gastheorie	125
8.4	Temperaturskalen	119	10.1	Gasdruck	125
8.5	Temperatur-Meßgeräte	120	10.2	Kinetische Energie und Temperatur	126
8.5.1	Ausdehnungsthermometer	120	10.3	Freiheitsgrade und Gleichverteilungssatz	126
8.5.2	Thermoelement	121	10.4	Geschwindigkeitsverteilung	127
8.5.3	Widerstandsthermometer	122	10.5	Volumenarbeit	129
8.5.4	Digitalthermometer	122	10.6	Wärmekapazität von Gasen	129
9.	Ideale Gase	123			
9.1	Zustandsgrößen, Zustandsgleichung	123			

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

Optik

239

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 (Beugungsunschärfe) 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 Röntgenstrahlung durch Teilchenbeschleuniger | 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 Strahlenschutz | 376 |
| 21.2.5 | Wechselwirkung energiereicher geladener 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 physikalischer Zusammenhänge | _____ 383 | 2.3.1 | Meßfehler der Einzelgröße | 387 |
| A.2 | Fehlerabschätzung | _____ 384 | 2.3.2 | Fehlerfortpflanzung | 389 |
| 2.1 | Größenordnungsmäßige Angabe von Meßfehlern | 385 | 2.3.3 | Fehler einer Funktion | 390 |
| 2.2 | Ursachen von Fehlern | 386 | 2.4 | Signifikanz-Tests | 391 |
| 2.2.1 | Fehler durch die Meßapparatur | 386 | A.3 | Rechnen mit Vektoren | _____ 392 |
| 2.2.2 | Fehler durch das Meßobjekt | 386 | A.4 | Das Exponentialgesetz | _____ 394 |
| 2.3 | Methoden der Fehlerabschätzung | 386 | A.5 | Weitere mathematische Beziehungen | _____ 396 |
| | | | A.6 | Einige Naturkonstanten | _____ 399 |
| | | | A.7 | Aufgaben | _____ 400 |
| | | | A.8 | Lösungen | _____ 410 |

Register

427