

# Inhaltsverzeichnis

## A. Mechanik

<b>I.</b>	<b>Einführung, Längen- und Zeitmessung</b> . . . . .	1
§ 1	Einführung . . . . .	1
§ 2	Messung von Längen. Echte Längenmessung . . . . .	2
§ 3	Die Längeneinheit Meter . . . . .	3
§ 4	Unechte Längenmessung bei sehr großen Längen . . . . .	4
§ 5	Winkelmessung . . . . .	5
§ 6	Zeitmessung. Echte Zeitmessung . . . . .	6
§ 7	Uhren, graphische Aufzeichnung . . . . .	6
§ 8	Messung periodischer Folgen gleicher Zeiten und Längen . . . . .	8
§ 9	Unechte Zeitmessung . . . . .	9
<b>II.</b>	<b>Darstellung von Bewegungen, Kinematik</b> . . . . .	11
§ 10	Definition von Bewegung. Bezugssystem . . . . .	11
§ 11	Definition der Geschwindigkeit. Beispiel einer Geschwindigkeitsmessung . . . . .	11
§ 12	Definition der Beschleunigung. Die beiden Grenzfälle . . . . .	13
§ 13	Bahnbeschleunigung, gerade Bahn . . . . .	15
§ 14	Konstante Radialbeschleunigung, Kreisbahn . . . . .	17
§ 15	Die Unterscheidung physikalischer Größen und ihrer Zahlenwerte . . . . .	19
§ 16	Grundgrößen und abgeleitete Größen . . . . .	19
<b>III.</b>	<b>Grundlagen der Dynamik</b> . . . . .	21
§ 17	Kraft und Masse . . . . .	21
§ 18	Messverfahren für Kraft und Masse. Die Grundgleichung der Mechanik . . . . .	23
§ 19	Einheiten von Kraft und Masse. Größengleichungen . . . . .	26
§ 20	Dichte und spezifisches Volumen . . . . .	26
<b>IV.</b>	<b>Anwendungen der Grundgleichung</b> . . . . .	27
§ 21	Anwendung der Grundgleichung auf konstante Beschleunigungen in gerader Bahn . . . . .	27
§ 22	Anwendung der Grundgleichung auf die Kreisbahn. Radialkraft . . . . .	29
§ 23	Sinusförmige Schwingungen. Schwerependel als Sonderfall . . . . .	33
§ 24	Zentralbewegungen . . . . .	37
§ 25	Ellipsenbahnen, elliptisch polarisierte Schwingungen . . . . .	38
§ 26	LISSAJOUS-Bahnen . . . . .	39
§ 27	Die KEPLER-Ellipse und das Gravitationsgesetz . . . . .	40
§ 28	Die Konstante des Gravitationsgesetzes . . . . .	41
§ 29	Gravitationsgesetz und Himmelsmechanik . . . . .	43

<b>V.</b>	<b>Drei nützliche Begriffe: Arbeit, Energie, Impuls</b> .....	46
	§ 30 Vorbemerkung .....	46
	§ 31 Arbeit und Leistung .....	46
	§ 32 Energie und Energiesatz .....	49
	§ 33 Erste Anwendungen des mechanischen Energiesatzes .....	50
	§ 34 Kraftstoß und Impuls .....	51
	§ 35 Der Impulssatz .....	52
	§ 36 Erste Anwendungen des Impulssatzes .....	53
	§ 37 Impuls- und Energiesatz beim elastischen Zusammenstoß von Körpern .....	54
	§ 38 Der Impulssatz beim unelastischen Zusammenstoß zweier Körper und das Stoßpendel .....	55
	§ 39 Nichtzentraler Stoß .....	57
	§ 40 Bewegungen gegen energieverzehrende Widerstände .....	57
	§ 41 Erzeugung von Kräften ohne und mit Leistungsaufwand .....	60
	§ 42 Schlussbemerkung .....	61
<b>VI.</b>	<b>Drehbewegungen fester Körper</b> .....	62
	§ 43 Vorbemerkung .....	62
	§ 44 Definition des Drehmomentes .....	62
	§ 45 Herstellung bekannter Drehmomente. Die Winkelrichtgröße $D^*$ . Die Winkelgeschwindigkeit $\omega$ als Vektor .....	64
	§ 46 Trägheitsmoment, Grundgleichung für Drehbewegungen, Drehschwingungen .....	66
	§ 47 Das physikalische Pendel und die Balkenwaage .....	70
	§ 48 Der Drehimpuls .....	71
	§ 49 Freie Achsen .....	74
	§ 50 Freie Achsen bei Mensch und Tier .....	76
	§ 51 Definition des Kreisels und seiner drei Achsen .....	77
	§ 52 Die Nutation des kräftefreien Kreisels und sein raumfester Drehimpuls .....	79
	§ 53 Kreisel unter Einwirkung von Drehmomenten; die Präzession der Drehimpulsachse .....	80
	§ 54 Präzessionskegel mit Nutationen .....	84
	§ 55 Kreisel mit nur zwei Freiheitsgraden .....	85
<b>VII.</b>	<b>Beschleunigte Bezugssysteme</b> .....	88
	§ 56 Vorbemerkung. Trägheitskräfte .....	88
	§ 57 Bezugssystem mit reiner Bahnbeschleunigung .....	89
	§ 58 Bezugssystem mit reiner Radialbeschleunigung. Zentrifugal- und Corioliskraft .....	91
	§ 59 Fahrzeuge als beschleunigte Bezugssysteme .....	97
	§ 60 Das Schwerependel als Lot in beschleunigten Fahrzeugen .....	99
	§ 61 Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Zentrifugalbeschleunigung ruhender Körper .....	100
	§ 62 Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Coriolisbeschleunigung bewegter Körper .....	101

<b>VIII. Einige Eigenschaften fester Körper</b> .....	105
§ 63 Vorbemerkung .....	105
§ 64 Elastische Verformung, Fließen und Verfestigung .....	105
§ 65 HOOKE'sches Gesetz und POISSON'sche Beziehung .....	106
§ 66 Scherung .....	107
§ 67 Normal-, Schub- und Hauptspannung .....	108
§ 68 Biegung und Verdrehung (Torsion) .....	110
§ 69 Zeitabhängigkeit der Verformung. Elastische Nachwirkung und Hysterese .....	114
§ 70 Zerreißfestigkeit und spezifische Oberflächenarbeit fester Körper .....	116
§ 71 Haft- und Gleitreibung .....	118
§ 72 Rollreibung .....	120
<b>IX. Ruhende Flüssigkeiten und Gase</b> .....	121
§ 73 Die freie Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsmoleküle .....	121
§ 74 Druck in Flüssigkeiten, Manometer .....	123
§ 75 Allseitigkeit des Druckes und Anwendungen .....	124
§ 76 Druckverteilung im Schwerfeld und Auftrieb .....	127
§ 77 Der Zusammenhalt der Flüssigkeiten, ihre Zerreißfestigkeit, spezifische Oberflächenarbeit und Oberflächenspannung .....	129
§ 78 Gase als Flüssigkeiten geringer Dichte ohne Oberfläche. BOYLE-MARIOTTE'sches Gesetz .....	135
§ 79 Modell eines Gases. Der Gasdruck als Folge der ungeordneten Bewegung („Wärmebewegung“) .....	137
§ 80 Grundgleichung der kinetischen Gastheorie. Geschwindigkeit der Gasmoleküle .....	138
§ 81 Die Lufthülle der Erde. Der Luftdruck in Schauversuchen .....	139
§ 82 Druckverteilung der Gase im Schwerfeld. Barometrische Höhenformel .....	142
§ 83 Der statische Auftrieb in Gasen .....	144
§ 84 Gase und Flüssigkeiten in beschleunigten Bezugssystemen .....	146
<b>X. Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen</b> .....	148
§ 85 Drei Vorbemerkungen .....	148
§ 86 Innere Reibung und Grenzschicht .....	148
§ 87 Laminare, unter entscheidender Mitwirkung der Reibung entstehende Flüssigkeitsbewegung .....	150
§ 88 Die REYNOLDS'sche Zahl .....	153
§ 89 Reibungsfreie Flüssigkeitsbewegung, BERNOULLI'sche Gleichung .....	154
§ 90 Ausweichströmung. Quellen und Senken, drehungsfreie oder Potentialströmung .....	159
§ 91 Drehungen von Flüssigkeiten und ihre Messung. Das drehungsfreie Wirbelfeld .....	161
§ 92 Wirbel und Trennungsflächen in praktisch reibungsfreien Flüssigkeiten .....	164
§ 93 Widerstand und Stromlinienprofil .....	166
§ 94 Die dynamische Querkraft .....	167
§ 95 Anwendungen der Querkraft .....	171

## B. Akustik

<b>XI. Schwingungslehre</b> .....	174
§ 96 Vorbemerkung .....	174
§ 97 Erzeugung ungedämpfter Schwingungen .....	174
§ 98 Darstellung nichtsinusförmiger periodischer Vorgänge und Strukturen mithilfe von Sinuskurven .....	177
§ 99 Spektraldarstellung komplizierter Schwingungsvorgänge .....	181
§ 100 Elastische Transversalschwingungen gespannter linearer fester Körper ..	182
§ 101 Elastische Longitudinal- und Torsionsschwingungen gespannter linearer fester Körper .....	186
§ 102 Elastische Schwingungen in Säulen von Flüssigkeiten und Gasen .....	188
§ 103 Eigenschwingungen starrer linearer Körper .....	191
§ 104 Eigenschwingungen flächenhaft und räumlich ausgedehnter Gebilde. Wärmeschwingungen .....	192
§ 105 Erzwungene Schwingungen .....	194
§ 106 Durch Resonanz stimulierte Energieabgabe .....	198
§ 107 Die Resonanz in ihrer Bedeutung für den Nachweis einzelner Sinusschwingungen. Spektralapparate .....	198
§ 108 Die Bedeutung erzwungener Schwingungen für die verzerrungsfreie Aufzeichnung nichtsinusförmiger Schwingungen .....	200
§ 109 Verstärkung von Schwingungen .....	201
§ 110 Zwei gekoppelte Pendel und ihre erzwungenen Schwingungen .....	201
§ 111 Gedämpfte und ungedämpfte Wackelschwingungen .....	204
§ 112 Relaxations- oder Kippschwingungen .....	205
<b>XII. Fortschreitende Wellen und Strahlung</b> .....	207
§ 113 Fortschreitende Wellen .....	207
§ 114 Dopplereffekt .....	209
§ 115 Interferenz .....	210
§ 116 Interferenz bei zwei etwas verschiedenen Senderfrequenzen .....	210
§ 117 Stehende Wellen .....	211
§ 118 Ausbreitung fortschreitender Wellen .....	212
§ 119 Reflexion und Brechung .....	214
§ 120 Abbildung .....	215
§ 121 Totalreflexion .....	216
§ 122 Keilwellen beim Überschreiten der Wellengeschwindigkeit .....	218
§ 123 Das HUYGHENS'sche Prinzip .....	219
§ 124 Modellversuche zur Wellenausbreitung .....	220
§ 125 Quantitatives zur Beugung an einem Spalt .....	222
§ 126 FRESNEL'sche Zonenkonstruktion .....	224
§ 127 Verschärfung der Interferenzstreifen durch gitterförmige Anordnung der Wellenzentren .....	226
§ 128 Interferenz von Wellenzügen begrenzter Länge .....	228
§ 129 Entstehung von Longitudinalwellen. Ihre Geschwindigkeit .....	228
§ 130 Hochfrequente Longitudinalwellen in Luft. Schallabdruckverfahren ..	230
§ 131 Strahlungsdruck des Schalles. Schallradiometer .....	233

§ 132	Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz von räumlichen Wellen	234
§ 133	Die Entstehung von Wellen auf der Oberfläche von Flüssigkeiten	240
§ 134	Dispersion und Gruppengeschwindigkeit	244
§ 135	Die Umwandlung unperiodischer Vorgänge in Wellen	247
§ 136	Energie des Schallfeldes. Schallwellenwiderstand	249
§ 137	Schallsender	252
§ 138	Unperiodische Schallsender und Überschallgeschwindigkeit	254
§ 139	Schallempfänger	255
§ 140	Vom Hören	256
§ 141	Phonometrie	259
§ 142	Das Ohr	260

### C. Wärmelehre

<b>XIII.</b>	<b>Grundbegriffe</b>	263
§ 143	Vorbemerkungen. Definition des Begriffs Stoffmenge	263
§ 144	Definition und Messung der Temperatur	264
§ 145	Definition der Begriffe Wärme und Wärmekapazität	266
§ 146	Latente Wärme	268
<b>XIV.</b>	<b>Erster Hauptsatz und Zustandsgleichung idealer Gase</b>	271
§ 147	Ausdehnungsarbeit und technische Arbeit	271
§ 148	Thermische Zustandsgrößen	273
§ 149	Innere Energie $U$ und erster Hauptsatz	273
§ 150	Die Zustandsgröße Enthalpie $H$	274
§ 151	Die beiden spezifischen Wärmekapazitäten $c_p$ und $c_v$	276
§ 152	Thermische Zustandsgleichung idealer Gase. Die absolute Temperatur	278
§ 153	Addition der Partialdrücke	280
§ 154	Kalorische Zustandsgleichungen idealer Gase. GAY-LUSSAC'scher Drosselversuch	281
§ 155	Zustandsänderungen idealer Gase	283
§ 156	Anwendungsbeispiele für polytrope und adiabatische Zustandsänderungen. Messungen von $\kappa = c_p/c_v$	288
§ 157	Druckluftmotor und Gaskompressor	290
<b>XV.</b>	<b>Reale Gase</b>	292
§ 158	Zustandsänderungen realer Gase	292
§ 159	Unterscheidung von Gas und Flüssigkeit	294
§ 160	Die VAN DER WAALS'sche Zustandsgleichung realer Gase	296
§ 161	Der JOULE-THOMSON'sche Drosselversuch	297
§ 162	Herstellung tiefer Temperaturen und Gasverflüssigung	299
§ 163	Technische Verflüssigung und Entmischung von Gasen	300
§ 164	Dampfdruck und Siedetemperatur. Tripelpunkt	302
§ 165	Behinderung des Phasenüberganges flüssig $\rightarrow$ fest. Unterkühlte Flüssigkeiten	304
§ 166	Behinderung des Phasenüberganges flüssig $\leftrightarrow$ gasförmig. Zerreißfestigkeit der Flüssigkeiten	304

<b>XVI. Wärme als ungeordnete Bewegung</b> .....	306
§ 167 Die Temperatur im molekularen Bild .....	306
§ 168 Rückstoß der Gasmoleküle bei der Reflexion. Radiometerkraft .....	309
§ 169 Geschwindigkeitsverteilung und mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle .....	310
§ 170 Molare Wärmekapazitäten im molekularen Bild. Das Gleichverteilungsprinzip .....	312
§ 171 Osmose und osmotischer Druck .....	314
§ 172 Experimentelle Bestimmung der BOLTZMANN-Konstante $k$ aus der barometrischen Höhenformel .....	318
§ 173 Statistische Schwankungen und Individuenzahl .....	320
§ 174 Die BOLTZMANN-Verteilung .....	321
<b>XVII. Transportvorgänge: Diffusion und Wärmeleitung</b> .....	324
§ 175 Vorbemerkung .....	324
§ 176 Diffusion und Durchmischung .....	324
§ 177 Erstes FICK'sches Gesetz und Diffusionskonstante .....	324
§ 178 Quasistationäre Diffusion .....	327
§ 179 Nichtstationäre Diffusion .....	328
§ 180 Allgemeines über Wärmeleitung und Wärmetransport .....	329
§ 181 Stationäre Wärmeleitung .....	331
§ 182 Nichtstationäre Wärmeleitung .....	331
§ 183 Transportvorgänge in Gasen und ihre Unabhängigkeit vom Druck .....	332
§ 184 Bestimmung der mittleren freien Weglänge .....	334
§ 185 Wechselseitige Verknüpfung der Transportvorgänge in Gasen .....	336
<b>XVIII. Die Zustandsgröße Entropie</b> .....	339
§ 186 Reversible Vorgänge .....	339
§ 187 Irreversible Vorgänge .....	340
§ 188 Messung der Irreversibilität mithilfe der Zustandsgröße Entropie $S$ ...	342
§ 189 Die Entropie im molekularen Bild .....	344
§ 190 Beispiele für die Berechnung von Entropien .....	345
§ 191 Anwendung der Entropie auf reversible Zustandsänderungen in abgeschlossenen Systemen .....	348
§ 192 Das $HS$ - oder MOLLIER-Diagramm mit Anwendungen. Gasströmung mit Überschallgeschwindigkeit .....	349
<b>XIX. Umwandlung von Wärme in Arbeit, zweiter Hauptsatz</b> .....	354
§ 193 Wärmekraftmaschinen und zweiter Hauptsatz .....	354
§ 194 CARNOT'scher Kreisprozess .....	355
§ 195 Der STIRLING-Motor .....	356
§ 196 Technische Wärmekraftmaschinen .....	357
§ 197 Wärmepumpe (Kältemaschine) .....	358
§ 198 Die thermodynamische Definition der Temperatur .....	361
§ 199 Druckluftmotor. Freie und gebundene Energie .....	361

§ 200 Beispiele für die Anwendung der freien Energie .....	362
§ 201 Der Mensch als isotherme Kraftmaschine .....	364
<b>Aufgaben</b> .....	366
<b>Lösungen der Aufgaben</b> .....	375
<b>Sachverzeichnis</b> .....	380