

# TASCHENBUCH DER PHYSIK

von  
Horst Kuchling, Oberstudienrat i. R.

18., neu bearbeitete Auflage

Mit zahlreichen Bildern und Tabellen

**FACHBUCHVERLAG LEIPZIG**

**-LJI** im Carl Hanser Verlag

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>G</b>	<b>GROSSEN UND EINHEITEN</b>	<b>.26</b>
<b>1</b>	<b>Physikalische Größen</b>	<b>.26</b>
1.1	Basisgrößenarten	26
1.2	Abgeleitete Größenarten	26
1.3	Formelzeichen	27
1.4	Dimension	28
1.5	Skalare Größen	28
1.6	Vektorielle Größen	29
1.7	Rechnen mit vektoriellen Größen	30
1.7.1	Summe vektorieller Größen	30
1.7.2	Differenz vektorieller Größen	30
1.7.3	Produkt einer vektoriellen mit einer skalaren Größe	31
1.7.4	Skalarprodukt zweier vektorieller Größen	31
1.7.5	Vektorprodukt zweier vektorieller Größen	32
1.7.6	Komponentendarstellung vektorieller Größen	33
<b>2</b>	<b>Gleichungen physikalischer Größen</b>	<b>.34</b>
2.1	Größengleichungen	34
2.2	Zugeschnittene Größengleichungen	34
2.2.1	Tabellenköpfe	35
2.2.2	Koordinatenachsen	36
2.3	Zahlenwertgleichungen	36
<b>3</b>	<b>Internationales Einheitensystem (SI)</b>	<b>.37</b>
3.1	Basiseinheiten des SI	37
3.2	Abgeleitete SI-Einheiten	37
3.3	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten	38
3.4	Einheiten außerhalb des SI (SI-fremde Einheiten)	38
3.5	Gesetzliche Einheiten	39
3.6	Physikalische Größenarten und ihre Einheiten	39
<b>M</b>	<b>MECHANIK</b>	<b>.50</b>
<b>4</b>	<b>Basiseinheiten der Mechanik</b>	<b>.50</b>
4.1	Einheit der Länge	50
4.1.1	Fläche	51
4.1.2	Volumen	52
4.1.3	Winkel	52
4.2	Zeiteinheit	53
4.3	Masseneinheit	54

<b>Statik des starren Körpers.</b>	<b>.55</b>
5.1 Zusammensetzen von Kräften.	55
5.1.1 Kräfte mit gleicher Wirkungslinie.	55
5.1.2 Kräfte mit gleichem Angriffspunkt.	56
5.1.3 Kräfte mit verschiedenen Angriffspunkten.	57
5.1.4 Parallele Kräfte.	57
5.2 Zerlegen von Kräften.	58
5.3 Drehmoment.	59
5.4 Gleichgewichtsbedingungen.	60
5.5 Einfache Maschinen.	61
5.5.1 Hebel.	61
5.5.2 Feste Rolle.	62
5.5.3 Lose Rolle.	62
5.5.4 Flaschenzug.	62
5.5.5 Differenzialflaschenzug.	63
5.5.6 Geneigte Ebene.	63
5.5.7 Keil.	64
5.5.8 Schraube.	64
5.6 Gleichgewicht.	65
5.6.1 Schwerpunkt (Massenmittelpunkt).	65
5.6.2 Gleichgewichtsarten.	67
5.6.3 Standfestigkeit.	67
<b>Kinematik.</b>	<b>.68</b>
6.1 Translation.	68
6.1.1 Gleichförmige Translation.	69
6.1.2 Gleichmäßig beschleunigte Translation.	70
6.1.3 Ungleichmäßig beschleunigte Translation.	74
6.2 Fall und Wurf.	77
6.2.1 Freier Fall.	77
6.2.2 Senkrechter Wurf.	78
6.2.3 Zusammengesetzte Bewegung.	79
6.2.4 Waagerechter Wurf.	80
6.2.5 Schräger Wurf.	82
6.3 Rotation.	84
6.3.1 Gleichförmige Rotation.	87
6.3.2 Gleichmäßig beschleunigte Rotation.	87
6.3.3 Ungleichmäßig beschleunigte Rotation.	91
6.3.4 Bewegung auf der Kreisbahn (Umfangsbewegung)...	94
6.3.5 Größen der Rotation als Vektoren.	95
6.4 Krummlinige Bewegung.	95
<b>Dynamik.</b>	<b>.98</b>
7.1 Kräfte bei der Translation.	98
7.1.1 Masse und Kraft.	98
7.1.2 Dichte.	101
7.1.3 Federkraft.	103

7.1.4	Reibungskraft	104
7.1.5	Trägheitskräfte bei der Translation	105
7.2	Arbeit, Energie und Leistung	106
7.2.1	Arbeit	106
7.2.2	Energie	111
7.2.3	Gesetz von der Erhaltung der Energie	113
7.2.4	Leistung	114
7.2.5	Wirkungsgrad	116
7.3	Impuls und Stoß	117
7.3.1	Impuls	117
7.3.2	Kraftstoß	117
7.3.3	Impulssatz	119
7.3.4	Elastischer Stoß	119
7.3.5	Unelastischer Stoß	121
7.3.6	Teilelastischer Stoß	122
7.4	Dynamik der Drehbewegung (Dynamik starrer Körper)	124
7.4.1	Zentripetalkraft	124
7.4.2	Trägheitskräfte bei der Rotation	125
7.4.3	Dynamisches Grundgesetz der Rotation	126
7.4.4	Trägheitsmoment	128
7.4.5	Arbeit bei der Rotation	135
7.4.6	Leistung bei der Rotation	136
7.4.7	Rotationsenergie	137
7.4.8	Drehimpuls (Drall)	138
7.5	Gravitation	140
7.5.1	Gravitationsgesetz	141
7.5.2	Fallbeschleunigung	142
7.5.3	Gravitationsfeld	143
7.5.4	Arbeit im Gravitationsfeld	144
7.5.5	Astronautische Geschwindigkeiten	144
7.5.6	Kepler'sche Gesetze	147
7.5.7	Daten des Sonnensystems	148
	<b>Ruhende Flüssigkeiten</b>	<b>150</b>
8.1	Druck in Flüssigkeiten	151
8.1.1	Kolbendruck	151
8.1.2	Schweredruck	152
8.2	Kompressibilität	153
8.3	Auftrieb	153
8.3.1	Bestimmung der Dichte fester Körper	154
8.3.2	Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten	155
	<b>Ruhende Gase</b>	<b>156</b>
9.1	Druck und Volumen eines Gases	156
9.1.1	Überdruck	157
9.1.2	Messung des Gasdrucks	157

9.2	Luftdruck	157
9.2.1	Luftdruckmessung	159
9.2.2	Wirkung des Luftdrucks	160
9.2.3	Auftrieb in Gasen	160
<b>10</b>	<b>Strömungen</b>	<b>161</b>
10.1	Reibungsfreie Strömung	161
10.1.1	Ausfluss aus Gefäßen	161
10.1.2	Durchfluss durch Röhren	162
10.1.3	Druck in Strömungen	163
10.1.4	Druckmessung in Strömungen	165
10.2	Laminare Strömung	167
10.2.1	Dynamische Viskosität (Zähigkeit)	168
10.2.2	Laminare Strömung durch ein Rohr	169
10.2.3	Laminare Strömung um eine Kugel	172
10.3	Turbulente Strömung	173
10.3.1	Strömungswiderstand	173
10.3.2	Strömungsleistung	174
10.3.3	Reynold'sches Ähnlichkeitsgesetz	174
<b>11</b>	<b>Moleküle</b>	<b>176</b>
11.1	Molekularkräfte	176
11.1.1	Kohäsion und Adhäsion	176
11.1.2	Oberflächenspannung	177
11.1.3	Kapillarität	179
11.2	Molekularbewegung	180
11.2.1	Diffusion	181
11.2.2	Osmose	181
11.3	Lösungen	181
11.3.1	Molekulardisperse Systeme (echte Lösungen)	181
11.3.2	Kolloiddisperse Systeme (kolloide Lösungen)	182
11.3.3	Korpuskulardisperse Systeme	182
<b>12</b>	<b>Elastizität fester Körper</b>	<b>184</b>
12.1	Dehnung	184
12.2	Kompression	187
12.3	Scherung	188
12.4	Torsion (Drillung)	189
12.5	Härte	190
<b>13</b>	<b>Mechanische harmonische Schwingungen</b>	<b>192</b>
13.1	Ungedämpfte harmonische Schwingung	193
13.1.1	Phasenwinkel	193
13.1.2	Elongation	194
13.1.3	Geschwindigkeit	195
13.1.4	Beschleunigung	195
13.1.5	Rückstellkraft	196

13.2	Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung	197
13.2.1	Schwingungsgleichung	197
13.2.2	Lineare Federschwingung	198
13.2.3	Drehschwingung	199
13.2.4	Pendelschwingungen	200
13.2.5	Flüssigkeitsschwingungen	203
13.2.6	Schwingungsenergie	203
13.3	Freie gedämpfte Schwingung	205
13.3.1	Schwingungsgleichung	206
13.3.2	Elongation	207
13.3.3	Eigenfrequenz	209
13.3.4	Aperiodische Bewegung	210
13.4	Erzwungene Schwingung	213
13.4.1	Schwingungsgleichung	213
13.4.2	Elongation	214
13.4.3	Resonanz	215
13.5	Überlagerung von Schwingungen	218
13.5.1	Schwingungen gleicher Richtung und Frequenz	218
13.5.2	Schwingungen gleicher Richtung und ungleicher Frequenz	220
13.5.3	Schwingungen ungleicher Richtung	222
13.6	Gekoppelte Schwingungen	226
<b>14</b>	<b>Mechanische Wellen</b>	<b>229</b>
14.1	Wellenausbreitung	229
14.1.1	Huygens'sches Prinzip	229
14.1.2	Wellenarten	229
14.2	Lineare Sinuswelle	231
14.2.1	Wellengleichung	231
14.2.2	Elongation	231
14.2.3	Phasengeschwindigkeit	232
14.2.4	Phasensprung	233
14.2.5	Stehende Wellen	233
14.3	Wellen in ausgedehnten Medien	235
14.3.1	Überlagerung	235
14.3.2	Reflexion	236
14.3.3	Brechung	236
14.3.4	Beugung	237
14.4	Größen des Wellenfeldes	238
14.4.1	Energiedichte	238
14.4.2	Energiestrom	238
14.4.3	Leistung	239
14.4.4	Intensität	239
14.4.5	Wellenwiderstand	240

<b>W</b>	<b>WÄRMELEHRE</b>	<b>2</b>
<b>15</b>	<b>Temperatur</b>	<b>2</b>
15.1	Temperaturmessung	2
15.1.1	Temperaturskalen	2
15.1.2	Thermometer	2
15.2	Ausdehnung fester Körper	2
15.2.1	Längenänderung	2
15.2.2	Flächenänderung	2
15.2.3	Volumenänderung	2
15.3	Ausdehnung von Flüssigkeiten	2
15.3.1	Volumenänderung	2
15.3.2	Dichteänderung	2
15.4	Ausdehnung der Gase	2
15.4.1	Volumenänderung	2
15.4.2	Druckänderung	2
15.5	Gasgesetze	2
15.5.1	Zustandsgleichung des idealen Gases	2
15.5.2	Gasdichte	2
15.5.3	Normvolumen	2
15.5.4	Gasgemische	2
15.5.5	Molare Größen	2
<b>16</b>	<b>Wärmeenergie</b>	<b>2</b>
16.1	Wärmemenge	2
16.1.1	Wärmeinhalt	2
16.1.2	Wärmekapazität	2
16.1.3	Wasserwert	2
16.2	Spezifische Wärmekapazität	2
16.3	Wärmemischung	2
16.4	Wärmequellen	2
16.4.1	Sonnenenergie	2
16.4.2	Verbrennungsenergie	2
16.4.3	Elektrische Energie	2
16.4.4	Mechanische Energie	2
<b>17</b>	<b>Aggregatzustände</b>	<b>2</b>
17.1	Schmelzen und Erstarren	2
17.1.1	Schmelzpunkt	2
17.1.2	Erstarrungspunkt von Lösungen	2
17.1.3	Volumenänderung	2
17.1.4	Schmelzwärme	2
17.1.5	Lösungswärme	2
17.2	Verdampfen und Kondensieren	2
17.2.1	Siedepunkt	2
17.2.2	Siedepunkt von Lösungen	2
17.2.3	Volumenänderung	2

17.2.4	Verdampfungswärme. . . . .	274
17.2.5	Verdunsten. . . . .	275
17.2.6	Sublimieren. . . . .	275
17.3	Dämpfe. . . . .	275
17.3.1	Gesättigter Dampf. . . . .	275
17.3.2	Ungesättigter Dampf. . . . .	276
17.3.3	Dampfbildung im gaserfüllten Raum. . . . .	276
17.3.4	Tripelpunkt. . . . .	277
17.3.5	Luftfeuchtigkeit. . . . .	278
17.4	Reale Gase. . . . .	280
17.4.1	Zustandsgleichung realer Gase. . . . .	280
17.4.2	Kritische Temperatur. . . . .	281
17.4.3	Verflüssigung der Gase. . . . .	282
<b>18</b>	<b>Zustandsänderung des idealen Gases. . . . .</b>	<b>284</b>
18.1	Erster Hauptsatz. . . . .	284
18.1.1	Volumenänderungsarbeit. . . . .	285
18.1.2	Innere Energie. . . . .	286
18.1.3	Enthalpie. . . . .	287
18.2	Isochore Zustandsänderung. . . . .	287
18.3	Isobare Zustandsänderung. . . . .	288
18.4	Isotherme Zustandsänderung. . . . .	289
18.5	Isentrope Zustandsänderung. . . . .	291
18.6	Polytrope Zustandsänderung. . . . .	294
18.7	Kreisprozesse. . . . .	298
18.7.1	Carnot'scher Kreisprozess. . . . .	299
18.7.2	Thermischer Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses. . . . .	300
18.7.3	Thermische Maschinen. . . . .	301
18.8	Zweiter Hauptsatz. . . . .	303
18.8.1	Reversible und irreversible Prozesse. . . . .	303
18.8.2	Entropie. . . . .	304
<b>19</b>	<b>Kinetische Wärmetheorie. . . . .</b>	<b>309</b>
19.1	Anzahl und Masse der Moleküle. . . . .	309
19.1.1	Loschmidt-Konstante. . . . .	309
19.1.2	Avogadro-Konstante. . . . .	309
19.1.3	Boltzmann-Konstante. . . . .	310
19.1.4	Masse eines Moleküls. . . . .	310
19.2	Druck in einem Gas. . . . .	310
19.3	Geschwindigkeit der Moleküle. . . . .	312
19.3.1	Maxwell-Verteilung der Geschwindigkeit. . . . .	312
19.3.2	Wahrscheinlichste Geschwindigkeit. . . . .	313
19.3.3	Mittlere quadratische Geschwindigkeit. . . . .	314
19.3.4	Mittelwert der Geschwindigkeit. . . . .	314
19.4	Energie der Moleküle. . . . .	315
19.4.1	Kinetische Energie eines Moleküls. . . . .	315



	19.4.2 Gleichverteilungssatz. . . . .	316
	19.4.3 Innere Energie und spezifische Wärmekapazität . . . .	316
19.5	Stoßzahl und freie Weglänge. . . . .	318
	19.5.1 Mittlere Stoßzahl. . . . .	318
	19.5.2 Mittlere freie Weglänge. . . . .	319
<b>20</b>	<b>Wärmetransport. . . . .</b>	<b>321</b>
	20.1 Wärmeströmung (Konvektion). . . . .	321
	20.2 Wärmeleitung. . . . .	321
	20.3 Wärmeübergang. . . . .	324
	20.4 Wärmedurchgang. . . . .	325
	20.5 Temperaturstrahlung. . . . .	328
	20.5.1 Absorption. . . . .	328
	20.5.2 Emission. . . . .	329
	20.5.3 Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann. . . . .	330
	20.5.4 Strahlungsgesetz von Planck. . . . .	331
	20.5.5 Verschiebungsgesetz von Wien. . . . .	332
<b>A</b>	<b>AKUSTIK. . . . .</b>	<b>333</b>
<b>21</b>	<b>Schallerzeugung. . . . .</b>	<b>333</b>
	21.1 Wesen des Schalls. . . . .	333
	21.2 Schallquellen. . . . .	334
	21.2.1 Schwingende Saiten. . . . .	334
	21.2.2 Schwingende Luftsäulen. . . . .	335
	21.3 Tonleiter. . . . .	335
	21.3.1 Harmonische (diatonische) Tonleiter. . . . .	336
	21.3.2 Chromatische Tonleiter. . . . .	336
	21.3.3 Gleichmäßig temperierte chromatische Tonleiter . . . .	337
	21.3.4 Normstimmton. . . . .	337
	21.3.5 Intervalle. . . . .	338
<b>22</b>	<b>Schallausbreitung. . . . .</b>	<b>340</b>
	22.1 Schallgeschwindigkeit . . . . .	340
	22.1.1 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern. . . . .	340
	22.1.2 Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten. . . . .	340
	22.1.3 Schallgeschwindigkeit in Gasen. . . . .	341
	22.1.4 Schallgeschwindigkeit in Luft. . . . .	341
	22.2 Doppler-Effekt. . . . .	342
	22.3 Überlagerung von Schallwellen. . . . .	346
	22.3.1 Auslöschung. . . . .	346
	22.3.2 Verstärkung. . . . .	346
	22.3.3 Schwebung. . . . .	346
<b>23</b>	<b>Schallmessung. . . . .</b>	<b>348</b>
	23.1 Schallfeldgrößen. . . . .	348
	23.1.1 Schallschnelle. . . . .	348
	23.1.2 Schalldruck. . . . .	349
	23.1.3 Schallintensität. . . . .	350

23.1.4	Schallpegel. . . . .	351
23.1.5	Relativer Schallpegel. . . . .	354
23.2	Hören. . . . .	354
23.2.1	Hörfäche. . . . .	354
23.2.2	Lautstärkepegel. . . . .	355
23.2.3	Bewerteter Schallpegel. . . . .	357
<b>24</b>	<b>Ultraschall. . . . .</b>	<b>358</b>
24.1	Eigenschaften. . . . .	358
24.1.1	Schallstärke. . . . .	358
24.1.2	Ausbreitung. . . . .	358
24.2	Erzeugung von Ultraschall. . . . .	359
<b>O</b>	<b>OPTIK. . . . .</b>	<b>360</b>
<b>25</b>	<b>Strahlenoptik. . . . .</b>	<b>360</b>
25.1	Lichtausbreitung. . . . .	360
25.1.1	Geradlinigkeit der Ausbreitung. . . . .	360
25.1.2	Lichtgeschwindigkeit. . . . .	360
25.2	Reflexion. . . . .	361
25.2.1	Reflexionsgesetz. . . . .	361
25.2.2	Ebener Spiegel. . . . .	362
25.2.3	Hohlspiegel (Konkavspiegel). . . . .	362
25.2.4	Wölbspiegel (Konvexspiegel). . . . .	364
25.3	Brechung. . . . .	365
25.3.1	Brechungsgesetz. . . . .	365
25.3.2	Totalreflexion. . . . .	366
25.3.3	Planparallele Platte. . . . .	367
25.3.4	Prisma. . . . .	368
25.4	Linsen. . . . .	369
25.4.1	Linsenarten. . . . .	369
25.4.2	Bestimmung der Brennweite. . . . .	371
25.4.3	Konstruktion des Linsenbildes. . . . .	372
25.4.4	Abbildungsgesetze. . . . .	373
25.4.5	Dicke Linsen. . . . .	374
25.4.6	Abbildungsfehler. . . . .	375
25.5	Optische Geräte. . . . .	376
25.5.1	Projektor. . . . .	376
25.5.2	Kamera (Fotoapparat). . . . .	378
25.5.3	Auge. . . . .	379
25.5.4	Lupe. . . . .	381
25.5.5	Mikroskop. . . . .	382
25.5.6	Fernrohre. . . . .	383
25.6	Zerlegung des Lichts. . . . .	385
25.6.1	Lichtquellen. . . . .	385
25.6.2	Lichtzerlegung. . . . .	386
25.6.3	Komplementärfarben. . . . .	387

	25.6.4 Farbmischung . . . . .	387
	25.6.5 Spektren . . . . .	388
	25.6.6 Dispersion . . . . .	389
<b>26</b>	<b>Wellenoptik . . . . .</b>	<b>391</b>
	26.1 Interferenz . . . . .	391
	26.1.1 Farben dünner Schichten . . . . .	391
	26.1.2 Newton'sche Ringe . . . . .	392
	26.2 Beugung . . . . .	393
	26.2.1 Beugung am engen Spalt . . . . .	394
	26.2.2 Beugung am Doppelspalt . . . . .	395
	26.2.3 Beugungsgitter . . . . .	395
	26.2.4 Beugungsspektrum . . . . .	396
	26.2.5 Beugung an kreisförmiger Öffnung . . . . .	396
	26.2.6 Auflösungsvermögen optischer Geräte . . . . .	397
	26.3 Polarisation . . . . .	398
	26.3.1 Polarisation durch Reflexion . . . . .	399
	26.3.2 Polarisation durch Doppelbrechung . . . . .	400
	26.3.3 Spannungsdoppelbrechung . . . . .	401
	26.3.4 Kerr-Effekt . . . . .	402
	26.3.5 Optische Aktivität . . . . .	402
	26.3.6 Faraday-Effekt . . . . .	403
<b>27</b>	<b>Lichtstrahlung . . . . .</b>	<b>404</b>
	27.1 Strahlungsphysikalische Größen . . . . .	404
	27.2 Lichttechnische Größen (Fotometrie) . . . . .	406
	27.2.1 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad . . . . .	406
	27.2.2 Lichtstärke . . . . .	407
	27.2.3 Leuchtdichte . . . . .	409
	27.2.4 Lichtstrom . . . . .	410
	27.2.5 Spezifische Lichtausstrahlung . . . . .	411
	27.2.6 Lichtmenge . . . . .	411
	27.2.7 Beleuchtungsstärke . . . . .	412
	27.2.8 Belichtung . . . . .	413
	27.3 Fotometer . . . . .	414
	27.3.1 Messung der Lichtstärke . . . . .	414
	27.3.2 Messung des Gesamtlichtstroms . . . . .	415
	27.3.3 Messung der Beleuchtungsstärke . . . . .	415
<b>E</b>	<b>ELEKTRIK . . . . .</b>	<b>416</b>
<b>28</b>	<b>Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>416</b>
	28.1 Elektrischer Strom . . . . .	416
	28.1.1 Elektrische Stromstärke . . . . .	416
	28.1.2 Elektrische Ladung . . . . .	416
	28.2 Elektrische Spannung . . . . .	417
	28.2.1 Quellenspannung $U_q$ (Urspannung) . . . . .	417
	28.2.2 Spannungsabfall $U$ . . . . .	418

28.3	Elektrischer Widerstand. . . . .	418
28.3.1	Spezifischer elektrischer Widerstand. . . . .	420
28.3.2	Widerstand und Temperatur. . . . .	420
28.4	Elektrischer Stromkreis. . . . .	421
28.5	Stromverzweigung. . . . .	424
28.6	Schaltung von Widerständen. . . . .	424
28.6.1	Reihenschaltung. . . . .	424
28.6.2	Parallelschaltung. . . . .	425
28.6.3	Spannungsteiler. . . . .	426
28.6.4	Wheatstone'sche Messbrücke. . . . .	426
28.7	Messung von Stromstärke und Spannung. . . . .	427
28.7.1	Strommesser. . . . .	427
28.7.2	Spannungsmesser. . . . .	428
28.8	Elektrische Arbeit und Leistung. . . . .	429
28.8.1	Elektrische Arbeit. . . . .	429
28.8.2	Elektrische Leistung. . . . .	430
<b>29</b>	<b>Elektrisches Feld. . . . .</b>	<b>431</b>
29.1	Elektrische Ladung. . . . .	431
29.2	Elektrische Feldstärke. . . . .	432
29.2.1	Elektrisches Potenzial. . . . .	433
29.2.2	Elektrische Flussdichte. . . . .	435
29.2.3	Dielektrikum. . . . .	436
29.2.4	Feldstärke an Kugeloberflächen. . . . .	437
29.3	Kapazität. . . . .	438
29.3.1	Kondensator. . . . .	439
29.3.2	Parallelschaltung von Kondensatoren. . . . .	442
29.3.3	Reihenschaltung von Kondensatoren. . . . .	442
29.4	Kraft und Energie im elektrischen Feld. . . . .	443
29.4.1	Kraftwirkung im Feld. . . . .	443
29.4.2	Energie des Feldes. . . . .	444
29.4.3	Energiedichte. . . . .	445
29.4.4	Auf- und Entladung eines Kondensators. . . . .	445
<b>30</b>	<b>Magnetisches Feld. . . . .</b>	<b>448</b>
30.1	Dauermagnetismus (permanenter Magnetismus). . . . .	448
30.1.1	Stabmagnet. . . . .	448
30.1.2	Magnetfeld der Erde. . . . .	448
30.2	Elektromagnetismus. . . . .	449
30.2.1	Magnetische Feldstärke. . . . .	449
30.2.2	Durchflutungsgesetz. . . . .	451
30.2.3	Magnetische Spannung. . . . .	452
30.2.4	Magnetische Flussdichte. . . . .	454
30.2.5	Magnetischer Fluss. . . . .	455
30.2.6	Stoff im magnetischen Feld. . . . .	456
30.2.7	Ferromagnetische Stoffe. . . . .	458

30.3	Elektromagnetische Induktion. . . . .	461
30.3.1	Induktionsgesetz. . . . .	461
30.3.2	Induktion im bewegten Leiter. . . . .	462
30.3.3	Selbstinduktion. . . . .	463
30.3.4	Schaltung von Induktivitäten. . . . .	465
30.3.5	Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Induktivität	465
30.4	Kraft und Energie im magnetischen Feld. . . . .	466
30.4.1	Kraftwirkungen im Feld. . . . .	466
30.4.2	Energie des Feldes. . . . .	472
30.4.3	Energiedichte. . . . .	473
30.4.4	Elektrische und magnetische Feldgrößen. . . . .	474
<b>31</b>	<b>Elektrische Maschinen. . . . .</b>	<b>475</b>
31.1	Generatoren. . . . .	475
31.1.1	Wechselstromgenerator. . . . .	475
31.1.2	Gleichstromgenerator. . . . .	477
31.1.3	Drehstromgenerator. . . . .	478
31.2	Motoren. . . . .	479
31.2.1	Wechselstrommotoren. . . . .	480
31.2.2	Gleichstrommotoren. . . . .	480
31.2.3	Drehstrommotoren. . . . .	481
<b>32</b>	<b>Wechselstromkreis. . . . .</b>	<b>482</b>
32.1	Effektivwerte von Strom und Spannung. . . . .	482
32.2	Wechselstromwiderstand. . . . .	483
32.2.1	Induktiverwiderstand. . . . .	483
32.2.2	Kapazitiverwiderstand. . . . .	485
32.2.3	Blindwiderstand. . . . .	486
32.2.4	Scheinwiderstand. . . . .	487
32.2.5	Phasenverschiebung. . . . .	488
32.2.6	Resonanz. . . . .	489
32.3	Wechselstromleistung. . . . .	490
32.3.1	Wirkleistung. . . . .	490
32.3.2	Blindleistung. . . . .	491
32.3.3	Scheinleistung. . . . .	492
32.4	Transformator. . . . .	493
<b>33</b>	<b>Elektrische Leitung. . . . .</b>	<b>495</b>
33.1	Stromleitung durch Festkörper. . . . .	497
33.1.1	Energiebändermodell. . . . .	497
33.1.2	Metallische Leiter. . . . .	498
33.1.3	Thermoelektrizität. . . . .	499
33.1.4	Halbleiter. . . . .	501
33.1.5	Eigenleitung. . . . .	501
33.1.6	n-Leitung. . . . .	503
33.1.7	p-Leitung. . . . .	504
33.1.8	pn-Übergang. . . . .	504

33.1.9	Bipolarer Transistor. . . . .	506
33.1.10	Unipolarer Transistor. . . . .	509
33.2	Stromleitung in Flüssigkeiten. . . . .	510
33.2.1	Elektrolyse. . . . .	510
33.2.2	Galvanische Elemente. . . . .	512
33.2.3	Akkumulatoren. . . . .	512
33.3	Stromleitung in Gasen. . . . .	514
33.3.1	Unselbstständige Entladung. . . . .	514
33.3.2	Selbstständige Entladung. . . . .	515
33.3.3	Glimmentladung. . . . .	515
33.3.4	Kathodenstrahlen. . . . .	516
33.3.5	Kanalstrahlen. . . . .	517
33.3.6	Röntgenstrahlung. . . . .	517
33.4	Stromleitung im Vakuum. . . . .	517
33.4.1	Energie und Geschwindigkeit freier Elektronen. . . . .	517
33.4.2	Elektronenbewegung im elektrischen Querfeld. . . . .	520
33.4.3	Elektronenemission aus Metallen. . . . .	521
33.4.4	Elektronenröhren. . . . .	524
<b>34</b>	<b>Elektrische Schwingungen und Wellen. . . . .</b>	<b>527</b>
34.1	Elektromagnetische Schwingungen. . . . .	527
34.1.1	Schwingkreis. . . . .	527
34.1.2	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingung. . . . .	527
34.1.3	Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen. . . . .	529
34.1.4	Offener Schwingkreis. . . . .	529
34.1.5	Gedämpfte elektromagnetische Schwingung. . . . .	530
34.2	Elektromagnetische Wellen. . . . .	531
34.2.1	Elektromagnetische Welle auf einer Leitung. . . . .	531
34.2.2	Freie elektromagnetische Wellen. . . . .	533
34.2.3	Spektrum elektromagnetischer Wellen. . . . .	535
<b>K</b>	<b>ATOM- UND KERNPHYSIK . . . . .</b>	<b>537</b>
<b>35</b>	<b>Quanten. . . . .</b>	<b>537</b>
35.1	Energie-Masse-Relation. . . . .	537
35.2	Photon. . . . .	538
35.2.1	Masse des Photons. . . . .	538
35.2.2	Impuls des Photons. . . . .	538
35.2.3	Compton-Effekt. . . . .	539
35.3	Materiewellen. . . . .	541
35.4	Unschärferelation. . . . .	543
<b>36</b>	<b>Atome. . . . .</b>	<b>545</b>
36.1	Aufbau und Kennzeichnung. . . . .	545
36.1.1	Isotope Nuklide. . . . .	546
36.1.2	Isobare Nuklide. . . . .	546
36.1.3	Isotone Nuklide. . . . .	547

36.2	Masse. . . . .	547
36.2.1	Atommasse. . . . .	547
36.2.2	Anzahl der Atome. . . . .	549
36.2.3	Massendefekt . . . . .	549
36.3	Kernbindungsenergie. . . . .	550
36.4	Größe. . . . .	551
36.4.1	Elektronenradius. . . . .	551
36.4.2	Kernradius. . . . .	552
36.4.3	Atomradius. . . . .	552
<b>37</b>	<b>Atomhülle. . . . .</b>	<b>553</b>
37.1	Bohr'sche Postulate. . . . .	553
37.1.1	1. Postulat . . . . .	553
37.1.2	2. Postulat . . . . .	554
37.2	Wasserstoffatom. . . . .	554
37.2.1	Bahngeschwindigkeit . . . . .	554
37.2.2	Umlauffrequenz. . . . .	555
37.2.3	Bahnradius. . . . .	556
37.2.4	Energieniveau. . . . .	557
37.2.5	Frequenzen der Strahlung. . . . .	559
37.2.6	Wasserstoffspektrum. . . . .	560
37.3	Quantenzahlen. . . . .	561
37.3.1	Hauptquantenzahl $n$ . . . . .	561
37.3.2	Nebenquantenzahl / (Drehimpulsquantenzahl). . . . .	561
37.3.3	Magnetische Quantenzahl $m$ . . . . .	562
37.3.4	Spinquantenzahl $s$ . . . . .	563
37.3.5	Besetzung der Schalen. . . . .	564
37.4	Strahlungsemission. . . . .	565
37.4.1	Termschema. . . . .	565
37.4.2	Anregung. . . . .	565
37.4.3	Metastabile Zustände. . . . .	566
37.4.4	Röntgenstrahlung. . . . .	567
37.5	Wellenmechanisches Atommodell. . . . .	568
<b>38</b>	<b>Radioaktivität. . . . .</b>	<b>570</b>
38.1	Radioaktive Umwandlung (radioaktiver Zerfall). . . . .	570
38.1.1	Stabilität des Kerns. . . . .	570
38.1.2	$\alpha$ -Zerfall. . . . .	571
38.1.3	$\beta$ -Zerfall. . . . .	571
38.1.4	$\beta^+$ -Zerfall. . . . .	572
38.1.5	$\gamma$ -Emission. . . . .	573
38.2	Statistik des Zerfalls. . . . .	573
38.2.1	Zerfallskonstante. . . . .	573
38.2.2	Zerfallsgesetz . . . . .	573
38.2.3	Halbwertszeit . . . . .	574
38.2.4	Aktivität . . . . .	574

38.3	Zerfallsreihen. . . . .	576
38.4	Schwächung der Kernstrahlung. . . . .	577
38.4.1	$\gamma$ -Strahlung. . . . .	577
38.4.2	$\beta$ -Strahlung. . . . .	579
38.4.3	$\alpha$ -Strahlung. . . . .	580
38.5	Dosimetrie. . . . .	581
38.5.1	Energiedosis. . . . .	581
38.5.2	Energiedosisleistung. . . . .	581
38.5.3	Ionendosis. . . . .	582
38.5.4	Äquivalentdosis. . . . .	583
38.6	Strahlenschutz. . . . .	584
38.7	Strahlennachweis. . . . .	585
<b>39</b>	<b>Künstliche Kernumwandlungen. . . . .</b>	<b>586</b>
39.1	Teilchenbeschleuniger. . . . .	586
39.2	Kernreaktionen. . . . .	586
39.3	Uranspaltung. . . . .	587
39.3.1	Kettenreaktion. . . . .	588
39.3.2	Energiebilanz. . . . .	589
39.4	Kernfusion. . . . .	589
39.5	Anwendung radioaktiver Nuklide. . . . .	590
<b>40</b>	<b>Elementarteilchen. . . . .</b>	<b>591</b>
40.1	Elementare Teilchen. . . . .	592
40.1.1	Leptonen. . . . .	592
40.1.2	Quarks. . . . .	592
40.2	Zusammengesetzte Elementarteilchen (Hadronen). . . . .	593
40.2.1	Mesonen. . . . .	593
40.2.2	Baryonen. . . . .	594
<b>R</b>	<b>RELATIVISTISCHE MECHANIK. . . . .</b>	<b>595</b>
<b>41</b>	<b>Relativistische Mechanik. . . . .</b>	<b>595</b>
41.1	Galilei-Transformation. . . . .	595
41.1.1	Zeitkoordinaten. . . . .	596
41.1.2	Ortskoordinaten. . . . .	596
41.1.3	Geschwindigkeit. . . . .	596
41.1.4	Beschleunigung. . . . .	597
41.2	Lorentz-Transformation. . . . .	597
41.2.1	Ortskoordinaten. . . . .	598
41.2.2	Zeitkoordinaten. . . . .	598
41.3	Relativistische Kinematik. . . . .	598
41.3.1	Zeitdilatation. . . . .	598
41.3.2	Längenkontraktion. . . . .	599
41.3.3	Addition von Geschwindigkeiten. . . . .	600
41.4	Relativistische Dynamik. . . . .	601
41.4.1	Masse. . . . .	601
41.4.2	Impuls. . . . .	602



41.4.3	Kraft	603
41.4.4	Energie	603

## **F FEHLERRECHNUNG . . . . . 605**

### **42 Fehlerrechnung bei physikalischen Messungen. . . . . 605**

42.1	Fehlerbegriff	605
42.2	Systematische Fehler	605
42.3	Zufällige Fehler	606
42.3.1	Mittelwert der Messreihe	606
42.3.2	Standardabweichung (mittlerer Fehler) der Einzelmessung	607
42.3.3	Standardabweichung (mittlerer Fehler) des Mittelwertes	608
42.4	Fehlerfortpflanzung	609
42.4.1	Mittelwert des Funktionswertes	609
42.4.2	Mittlerer Fehler des Funktionswertes	610
42.4.3	Größtfehler des Funktionswertes	611
42.4.4	Fehlerschätzung	612
42.5	Darstellung des Endergebnisses	612

## **T TABELLEN . . . . . 614**

Tabelle 1a	Dichte fester Stoffe	614
Tabelle 1b	Dichte von Flüssigkeiten	616
Tabelle 1c	Normdichte gasförmiger Stoffe	616
Tabelle 2	Reibungszahlen	617
Tabelle 3	Stoßzahl	619
Tabelle 4	Kompressibilität von Flüssigkeiten	619
Tabelle 5	Luftdruck in Abhängigkeit von der Höhe	620
Tabelle 6	Dynamische Viskosität und kinematische Viskosität	621
Tabelle 7	Widerstandsbeiwert	622
Tabelle 8	Oberflächenspannung	623
Tabelle 9	Elastizitätsmodul, Schubmodul, Kompressionsmodul	624
Tabelle 10	Längenausdehnungskoeffizient fester Stoffe	625
Tabellen	Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten	627
Tabelle 12	Volumenausdehnungskoeffizient gasförmiger Stoffe	627
Tabelle 13	Luftdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur	628
Tabelle 14	Spezielle Gaskonstante	628
Tabelle 15	Dichtedes Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	629
Tabelle 16	Spezifische Wärmekapazität fester Stoffe	629
Tabelle 17	Spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten	631
Tabelle 18	Spezifische Wärmekapazität von Gasen	632
Tabelle 19	Spezifischer Heizwert fester Brennstoffe	633
Tabelle 20	Spezifischer Heizwert flüssiger Brennstoffe	633
Tabelle 21	Spezifischer Heizwert gasförmiger Brennstoffe	633
Tabelle 22	Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme	634
Tabelle 23	Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme	637



Tabelle 24	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Druck . . .	640
Tabelle 25	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Luftdruck.	640
Tabelle 26	Sättigungsdruck. . . . .	641
Tabelle 27	Sättigungsdruck und Sättigungsmenge für Wasserdampf. . . .	641
Tabelle 28	Kryoskopische und ebullioskopische Konstante. . . . .	642
Tabelle 29	Van-der-Waals-Konstanten. . . . .	642
Tabelle 30	Kritische Temperatur und kritischer Druck . . . . .	643
Tabelle 31	Wärmeleitfähigkeit. . . . .	644
Tabelle 32	Wärmeübergangskoeffizient . . . . .	646
Tabelle 33	Wärmedurchgangskoeffizient. . . . .	647
Tabelle 34	Emissionsgrad. . . . .	648
Tabelle 35	Schallgeschwindigkeit. . . . .	650
Tabelle 36	Schalldämmmaß. . . . .	651
Tabelle 37	Lautstärkepegel. . . . .	652
Tabelle 38	Lichtgeschwindigkeit . . . . .	652
Tabelle 39	Brechzahl. . . . .	653
Tabelle 40	Grenzwinkel. . . . .	654
Tabelle 41	Polarisationswinkel. . . . .	654
Tabelle 42	Wellenlängen wichtiger Spektrallinien. . . . .	655
Tabelle 43	Mittlere Dispersion und Abbe'sche Zahl. . . . .	655
Tabelle 44	Gesamtlichtstrom und Lichtausbeute von Lampen. . . . .	656
Tabelle 45	Spezifischer elektrischer Widerstand. . . . .	658
Tabelle 46	Temperaturkoeffizient. . . . .	659
Tabelle 47	Permittivitätszahl. . . . .	660
Tabelle 48	Permeabilitätszahl. . . . .	661
Tabelle 49	Curie-Temperaturferromagnetischer Stoffe. . . . .	663
Tabelle 50	Beweglichkeit von Ladungsträgern. . . . .	664
Tabelle 51	Sprungtemperatur bei Supraleitern. . . . .	665
Tabelle 52	Elektrochemisches Äquivalent. . . . .	666
Tabelle 53	Elektrochemische Spannungsreihe. . . . .	666
Tabelle 54	Ablösearbeit. . . . .	667
Tabelle 55	Elektronenanordnung bei den Elementen. . . . .	668
<b>Tabelle 56</b>	Chemische Elemente und ihre Isotope. . . . .	671
Tabelle 57	Halbwertszeit und Zerfallsenergie radioaktiver Isotope. . . . .	686
Tabelle 58	Schwächungskoeffizient für Y-Strahlung. . . . .	688
Tabelle 59	Schwächungskoeffizient für Y-Strahlung des Co-60. . . . .	689
Tabelle 60	Halbwertsschichtdicke für Y-Strahlung. . . . .	689
<b>Tabelle 61</b>	Maximale Reichweite und Halbwertsschichtdicke für $\beta$ -Strahlung in Aluminium. . . . .	689
<b>! Tabelle 62</b>	Dosisleistungskonstante . . . . .	690
<b>  Tabelle 63</b>	Griechische Buchstaben . . . . .	690

<b>SACHWORTVERZEICHNIS. . . . .</b>	<b>691</b>
-------------------------------------	------------