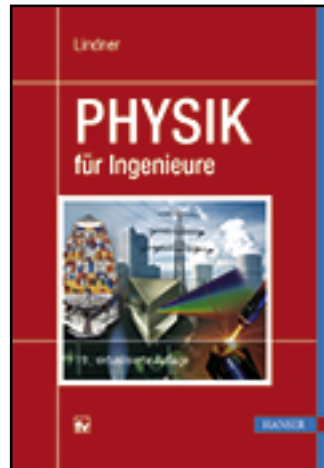


HANSER



Leseprobe

Helmut Lindner

Physik für Ingenieure

ISBN (Buch): 978-3-446-44252-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44252-8>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

1	Physikalische Größen und Gleichungen	21
1.1	Physikalische Größen	21
1.2	Vektorielle und skalare Größen	22
1.3	Physikalische Gleichungen	22
1.3.1	Größengleichungen	22
1.3.2	Zugeschnittene Größengleichungen	23
1.3.3	Einheitengleichungen	24
1.3.4	Dimensionen	24
1.4	Internationales Einheitensystem	24
1.4.1	Längeneinheit Meter	26
1.4.2	Masseinheit Kilogramm	27
1.4.3	Zeiteinheit Sekunde	28
1.5	Meßgrößen und Meßwerte	28
1.5.1	Grundbegriffe	28
1.5.2	Meßunsicherheiten	29
1.5.3	Meßreihen	29
1.5.4	Fehlerfortpflanzung	33
1.5.5	Regression	34

Mechanik des Massenpunkts und des starren Körpers

2	Kinematik	37
2.1	Einführung	37
2.2	Bezugssysteme, Ortsvektor	38
2.3	Geschwindigkeit	41
2.4	Beschleunigung	46
2.5	Bewegung im Schwerfeld der Erde	50
2.5.1	Freier Fall	50
2.5.2	Senkrechter Wurf	52
2.5.3	Waagerechter und schräger Wurf	53
2.6	Kreisbewegung	55
2.6.1	Polarkoordinaten	55
2.6.2	Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung	56
2.6.3	Radialbeschleunigung bei der Kreisbewegung	59
3	Kräfte am Massenpunkt	61
3.1	Das Trägheitsgesetz	61
3.2	Das Grundgesetz der Dynamik	62
3.3	Überlagerung von Kräften	65
3.4	Das Reaktionsprinzip	67

3.5	Messung von Kräften	68
3.6	Trägheitskräfte	69
3.7	Reibung	73
4	Gravitation	77
4.1	Schwerkraft	77
4.2	Das Gravitationsgesetz	78
4.3	Kraftfelder	82
5	Arbeit und Leistung	84
5.1	Arbeit als physikalische Größe	84
5.2	Formen mechanischer Arbeit	86
5.2.1	Beschleunigungsarbeit	87
5.2.2	Verschiebungsarbeit	88
5.3	Leistung	91
6	Energie	93
6.1	Kinetische und potentielle Energie	93
6.2	Die Erhaltung der Energie	96
6.3	Rotationsenergie	99
7	Impuls	103
7.1	Impulserhaltung	103
7.2	Stoßvorgänge	106
7.3	Der Massenmittelpunkt	111
8	Kräfte am starren Körper	113
8.1	Statik	114
8.1.1	Innere und äußere Kräfte	114
8.1.2	Kräfte mit unterschiedlichen Angriffspunkten	114
8.1.3	Drehmomente	116
8.1.4	Das Drehmoment als Vektor	120
8.1.5	Der Schwerpunkt	122
8.2	Kinetik starrer Körper	125
8.2.1	Drehbeschleunigung	125
8.2.2	Kreisel, Drehimpuls	129
8.2.3	Rotation und Translation	136

Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

9	Ruhende Flüssigkeiten und Gase	142
9.1	Kennzeichen des flüssigen Zustandes	142
9.2	Oberflächenspannung	143
9.3	Druck und Druckausbreitung	146
9.3.1	Druck	146
9.3.2	Druck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck)	149
9.3.3	Druck und Volumen der Gase	152
9.3.4	Schweredruck in Gasen	154
9.4	Auftrieb	157

10	Strömende inkompressible Flüssigkeiten	160
10.1	Reibungsfreie Strömungen	160
10.1.1	Grundbegriffe des Strömungsfeldes	160
10.1.2	Gesetz von BERNOULLI	163
10.1.3	Ausfluß aus Gefäßen	165
10.1.4	Weitere Anwendungen der BERNOULLISchen Gleichung	166
10.2	Strömungen mit Reibung	169
10.2.1	Innere Reibung	169
10.2.2	Anwendungen des Reibungsgesetzes	171
10.2.3	Grenzschicht und Wirbelbildung	174
10.2.4	Strömungswiderstand von Körpern	175
10.2.5	Ähnlichkeitsgesetz der Strömungen	178

Schwingungen und Wellen

11	Kinematik schwingender Körper	182
11.1	Die harmonische Schwingung	183
11.2	Zusammengesetzte Schwingungen	187
11.2.1	Schwebungen	187
11.2.2	Allgemeine periodische Schwingungen	189
11.2.3	Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden	192
11.2.4	Drehschwingungen	194
12	Dynamik schwingender Körper	195
12.1	Der freie harmonische Oszillator	195
12.1.1	Lineare Federschwingung	195
12.1.2	Drehschwinger	197
12.1.3	Energiebilanz	200
12.2	Dämpfung	200
12.3	Erzwungene Schwingungen	203
12.4	Gekoppelte Oszillatoren	209
12.4.1	Systeme aus einzelnen Oszillatoren	209
12.4.2	Schwingungen ausgedehnter Körper	213
13	Wellen	217
13.1	Grundbegriffe	217
13.2	Harmonische Wellen	220
13.3	Energietransport	223
13.4	Wellengruppen	225
14	Überlagerung von Wellen	228
14.1	Interferenzen	229
14.2	Stehende Wellen	230
15	Reflexion, Brechung und Beugung	232
15.1	Elementarwellen	232
15.2	Reflexion	234
15.3	Brechung	234

15.4	Beugung	236
16	Schallwellen	237
16.1	Schallausschlag, Schallschnelle	237
16.2	Schallgeschwindigkeit	238
16.3	Schalldruck	241
16.4	Schallenergie	242
16.5	Strahlungsdruck	244
16.6	Schallpegel	245
16.7	Reflexion und Transmission	246
16.8	Lautstärke	248
16.9	DOPPLER-Effekt	250
16.10	Ultraschall	253
Wärmelehre		
17	Temperatur und thermische Ausdehnung	255
17.1	Temperaturmessung	255
17.2	Ausdehnung fester und flüssiger Körper	257
17.2.1	Längenausdehnung	257
17.2.2	Volumenausdehnung	259
17.3	Verhalten der Gase bei Temperaturänderung	261
17.3.1	Gesetz von GAY-LUSSAC bei konstantem Druck	262
17.3.2	Gesetz von GAY-LUSSAC bei konstantem Volumen	263
17.3.3	Experimentelle Bestimmung des Volumenausdehnungskoeffizienten	264
17.4	Zustandsgleichung idealer Gase	265
17.4.1	Stoffmenge, das Mol	266
17.4.2	Allgemeine und spezielle Gaskonstante	267
18	Wärme und erster Hauptsatz der Wärmelehre	269
18.1	Wärme und Wärmekapazität	269
18.2	Erster Hauptsatz der Wärmelehre	274
19	Zustandsänderungen idealer Gase	276
19.1	Isochore Zustandsänderung	276
19.2	Isobare Zustandsänderung	277
19.3	Isotherme Zustandsänderung	279
19.4	Adiabatische Zustandsänderung	282
19.5	Polytrophe Zustandsänderung	285
19.6	Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmekapazitäten	286
20	Kinetische Theorie der Wärme	287
20.1	Masse der Atome und Moleküle, AVOGADRO-Konstante	288
20.2	Geschwindigkeit der Gasteilchen	290
20.2.1	Grundgleichung der kinetischen Gastheorie, Druck	291
20.2.2	Kinetische Energie der Gasteilchen, Temperatur	293
20.2.3	MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung	295
20.3	Theorie der Wärmekapazität	298

20.4	Stoßzahl und mittlere freie Weglänge	301
21	Kreisprozesse und zweiter Hauptsatz der Wärmelehre	302
21.1	Wirkungsweise einer Wärmekraftmaschine	303
21.2	Kältemaschine und Wärmepumpe	306
21.3	Reversible und irreversible Vorgänge	308
21.4	CARNOTScher Kreisprozeß	310
21.5	Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre	314
21.5.1	Entropie beim CARNOTSchen Kreisprozeß	314
21.5.2	Berechnung der Entropie	315
21.5.3	Entropieänderung beim Temperatúrausgleich	316
21.5.4	Entropie und Wahrscheinlichkeit	317
22	Reale Gase	319
22.1	Isothermen eines realen Gases	319
22.2	Kritischer Zustand	320
22.3	Verflüssigung der Gase	320
23	Änderungen des Aggregatzustandes	322
23.1	Schmelzen – Erstarren und deren Besonderheiten	322
23.2	Verdampfen – Kondensieren und deren Besonderheiten	324
23.3	Dämpfe	326
23.3.1	Dampf- und Gaszustand	326
23.3.2	Dampfdruck und Temperatur	329
23.3.3	Luftfeuchtigkeit	331
24	Ausbreitung der Wärme	334
24.1	Wärmeleitung	334
24.2	Wärmeübergang	337
24.3	Wärmedurchgang	337
Optik		
25	Wesen und Ausbreitung des Lichtes	339
25.1	Wesen des Lichtes	339
25.2	Ausbreitung des Lichtes	341
26	Reflexion des Lichtes	343
26.1	Ebener Spiegel	343
26.2	Gekrümmter Spiegel	346
26.2.1	Sphärischer Hohlspiegel	346
26.2.2	Abbildung im sphärischen Hohlspiegel	347
26.3	Sphärischer Wölbspiegel (Konvexspiegel oder erhabener Spiegel)	351
27	Brechung (Refraktion) des Lichtes	352
27.1	Brechungsgesetz	352
27.2	Planparallele Platte	354
27.3	Prisma	356
27.4	Totalreflexion	357

28	Zerlegung des Lichtes (Dispersion)	360
28.1	Dispersion	360
28.2	Spektren	362
29	Sphärische Linsen	365
29.1	Dünne Linsen	365
29.1.1	Brennweite und Vorzeichenregeln	366
29.1.2	Abbildungsgesetze	368
29.2	Dicke Linsen	371
29.3	Linsensysteme	372
29.4	Linsenfehler	375
29.4.1	Chromatischer Fehler	375
29.4.2	Sphärische Fehler	376
29.4.3	Astigmatismus und weitere Fehler	376
30	Optische Instrumente	378
30.1	Auge	378
30.1.1	Sehweite und Sehwinkel	378
30.1.2	Sehschärfe	379
30.2	Kamera und Projektor	380
30.3	Lupe	380
30.4	Fernrohre	381
30.4.1	Astronomisches Fernrohr	381
30.4.2	GALILEISches Fernrohr	382
30.5	Mikroskop	383
31	Interferenz des Lichtes	384
31.1	Voraussetzungen für Interferenzerscheinungen	384
31.2	Interferenzen gleicher Neigung	387
31.3	Farben dünner Blättchen	389
31.4	Interferenzen gleicher Dicke	391
32	Beugung des Lichtes	393
32.1	Beugung am Spalt	394
32.2	Beugungsgitter	396
32.3	Auflösungsvermögen optischer Instrumente	398
32.4	Holografie	400
33	Polarisation des Lichtes	403
33.1	Polarisation durch Reflexion und Brechung	404
33.2	Polarisation durch Doppelbrechung und andere Polarisationseffekte	405
34	Strahlungsgesetze	408
34.1	Strahlungsphysikalische Größen	408
34.1.1	Strahlungsfluß, Strahlungsflußdichte und spezifische Ausstrahlung	408
34.1.2	Strahlstärke	409
34.1.3	Strahldichte	410
34.1.4	Bestrahlungsstärke und Bestrahlung	411

34.1.5	Strahlungsenergiegedichte und Strahlungsdruck	412
34.2	Temperaturstrahlung	412
34.2.1	Transmission, Reflexion und Absorption der Temperaturstrahlung .	413
34.2.2	KIRCHHOFFSches Strahlungsgesetz	415
34.2.3	STEFAN-BOLTZMANNsches Strahlungsgesetz	418
34.2.4	Spektrale Verteilung der Temperaturstrahlung	419
34.2.5	Temperaturmessung durch Strahlung	422
35	Physiologische Wirkungen des Lichtes	423
35.1	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad	423
35.2	Lichttechnische Größen	424
35.2.1	Lichtstärke	424
35.2.2	Lichtstrom, Lichtmenge, spezifische Ausstrahlung und Lichtaus- beute	426
35.2.3	Leuchtdichte	428
35.2.4	Beleuchtungsstärke und Belichtung	429
35.3	Extinktion	431
35.4	Fotometrische Meßgeräte	433
36	Farbenlehre	434
36.1	Spektral- und Komplementärfarben	434
36.2	Additive und subtraktive Farbmischungen, Körperfarben	435
36.3	Farbmetrik	436
Elektrizitätslehre		
37	Wichtige elektrische Größen	440
37.1	Vorbemerkungen	440
37.2	Elektrische Stromstärke und elektrische Ladung	441
37.3	Elektrische Spannung	443
37.4	Elektrischer Widerstand und elektrischer Leitwert	445
37.5	Elektrischer Widerstand und Temperatur	447
38	Gleichstromkreis	448
38.1	OHMSches Gesetz	448
38.2	KIRCHHOFFSche Gesetze	449
38.3	Verzweigter Stromkreis	450
38.4	Unverzweigter Stromkreis	452
38.5	Innerer Widerstand von Spannungsquellen, Klemmenspannung	455
38.6	Meßbereichserweiterungen von Strom- und Spannungsmessern	457
38.7	Spannungsteiler	458
38.8	Messung elektrischer Widerstände	460
38.9	Elektrische Energie und elektrische Leistung	462
39	Elektrisches Feld	463
39.1	Grunderscheinungen elektrischer Ladungen	463
39.1.1	Elektrische Feldlinien	465
39.1.2	Influenz	468

39.2	Elektrische Feldgrößen	469
39.2.1	Elektrische Feldstärke	469
39.2.2	Elektrische Flächenladungsdichte (Ladungsbedeckung)	471
39.2.3	Elektrische Flußdichte und elektrischer Fluß	472
39.3	Kraftwirkungen im elektrischen Feld	474
39.3.1	Kraft zwischen zwei Punktladungen (COULOMB-Kraft)	474
39.3.2	Kraft auf einen Dipol im elektrischen Feld	476
39.3.3	Potential und Spannung	477
39.4	Elektrisches Feld mehrerer Ladungen	482
39.5	Kapazität	484
39.6	Schaltung von Kondensatoren	487
39.7	Energie und Energiedichte des elektrischen Feldes	489
39.8	Lade- und Entladevorgänge in einem Stromkreis mit Kondensator	491
39.9	Elektrisches Feld und Stoff	492
39.9.1	Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl)	492
39.9.2	Vorgänge im Dielektrikum	494
39.9.3	Piezoelektrischer Effekt	496
39.9.4	Bildung elektrischer Doppelschichten	497
40	Magnetisches Feld	499
40.1	Grunderscheinungen des Magnetismus	499
40.2	Elektrischer Strom und Magnetfeld	500
40.3	Magnetische Feldgrößen	502
40.3.1	Magnetische Feldstärke (magnetische Erregung)	502
40.3.2	Durchflutungsgesetz	504
40.3.3	BIOT-SAVARTSches Gesetz	506
40.3.4	Magnetischer Fluß und magnetische Flußdichte	509
40.3.5	Magnetisches Moment	512
40.4	Magnetisches Feld und Stoff	513
40.4.1	Permeabilitätszahl	513
40.4.2	Ferromagnetismus, Magnetisierungskurve und Hysterese	516
40.4.3	Para- und diamagnetische Stoffe	519
40.4.4	Magnetischer Kreis	520
40.5	Elektromagnetische Induktion	523
40.5.1	Induktionsgesetz	523
40.5.2	Induktionsvorgänge in bewegten Leitern	527
40.5.3	Gleichstromgenerator	529
40.5.4	Selbstinduktion	531
40.6	Kraft und Energie im Magnetfeld	533
40.6.1	Kraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld (LORENTZ-Kraft)	533
40.6.2	Kraft auf einen geraden stromführenden Leiter	534
40.6.3	Drehmoment auf einen magnetischen Dipol	536
40.6.4	Kraft zwischen parallelen stromführenden Leitern	540
40.6.5	Energie und Energiedichte des magnetischen Feldes	541
40.6.6	Zugkraft eines Magnets	543

40.7	Schaltvorgänge in einem Stromkreis mit Induktivität	544
40.8	Gegenüberstellung elektrischer und magnetischer Größen	545
41	Wechselstromkreis	547
41.1	Eigenschaften des Einphasenwechselstromes	547
41.1.1	Entstehung einer sinusförmigen Wechselspannung	547
41.1.2	Wechselstromgenerator	548
41.1.3	Gleichricht- und Effektivwerte von Wechselspannung und Wechselstrom	549
41.2	Widerstände im Wechselstromkreis	551
41.2.1	Wirkwiderstand (Ohmscher Widerstand, Resistanz)	551
41.2.2	Induktiver Blindwiderstand (Induktive Reaktanz)	552
41.2.3	Kapazitiver Blindwiderstand (Kapazitive Reaktanz)	554
41.2.4	Addition phasenverschobener Spannungen und Stromstärken	555
41.2.5	Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen	556
41.2.6	Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen	559
41.2.7	Resonanz im Wechselstromkreis	562
41.3	Leistung im Wechselstromkreis	565
41.3.1	Wirkleistung	565
41.3.2	Blindleistung	565
41.3.3	Scheinleistung und Leistungsfaktor	567
41.4	Bedeutung und Kompensation der Blindleistung	569
41.5	Transformator	571
41.6	Berechnungen von Wechselstromkreisen mit komplexen Zahlen	573
41.7	Dreiphasenwechselstrom	575
41.7.1	Entstehung des Dreiphasenwechselstromes	575
41.7.2	Dreieckschaltung	576
41.7.3	Sternschaltung	577
41.7.4	Leistung im Drehstromkreis	578
42	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	579
42.1	Schwingkreis	579
42.2	Erzeugung elektrischer Schwingungen	581
42.3	Dipol als Schwingkreis	582
42.4	Freie elektromagnetische Wellen	583
42.5	MAXWELLSche Gleichungen	586
43	Leitung des elektrischen Stromes in festen Körpern	591
43.1	Geschwindigkeit freier Elektronen	591
43.2	Driftgeschwindigkeit und Beweglichkeit von Ladungsträgern	592
43.3	Metallische Leiter	593
43.4	Supraleitung	594
43.5	HALL-Effekt	597
43.6	Elektronengas	598
43.7	Thermoelektrische Erscheinungen	600
43.8	Halbleiter	602

- 43.8.1 Eigenleitung 603
- 43.8.2 Störleitung (Störstellenleitung) 606
- 43.8.3 pn-Übergang, Dioden 607
- 43.8.4 Bipolartransistor 612
- 43.8.5 Thyristor 616
- 43.8.6 Unipolar- oder Feldeffekt-Transistor 617
- 44 Elektrische Leitung in Elektrolyten 620
 - 44.1 Ionenleitung und Ionenbeweglichkeit 620
 - 44.2 FARADAYSche Gesetze 622
 - 44.3 Galvanische Elemente 624
- 45 Elektrische Leitung in Gasen 629
 - 45.1 Unselbständige und selbständige Entladung 629
 - 45.2 Glimmentladung 631
- 46 Elektrische Leitung im Vakuum 633
 - 46.1 Elektronenemission aus Metallen 633
 - 46.2 Ablenkung von Elektronen im elektrischen Feld 634
 - 46.3 Ablenkung von Elektronen im magnetischen Feld 636
 - 46.4 Elektronenröhren 637

Quanten und Relativität

- 47 Quanteneigenschaften des Lichtes 641
 - 47.1 Lichtquanten (Photonen) 641
 - 47.2 Äußerer Fotoeffekt (Lichtelektrischer Effekt) 643
 - 47.3 Innerer Fotoeffekt 645
- 48 Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie 649
 - 48.1 MICHELSON-Versuch 649
 - 48.2 LORENTZ-Transformation 650
 - 48.3 Masse-Energie-Beziehung 654
 - 48.4 Relativistische Massenzunahme 656
- 49 Dualismus Welle–Teilchen 659
 - 49.1 Masse und Impuls von Lichtquanten 659
 - 49.2 Welleneigenschaften der Teilchen – Materiewellen 659
- 50 HEISENBERGsche Unbestimmtheitsrelation (Unschärfebeziehung) 663

Atomphysik

- 51 Atomhülle 668
 - 51.1 Bestandteile des Atoms und ihre wichtigsten Eigenschaften 668
 - 51.2 Ordnungszahl und Massenzahl 672
 - 51.3 Wasserstoffatom 674
 - 51.3.1 BOHRsche Postulate 675
 - 51.3.2 Spektrallinien des Wasserstoffs 676
 - 51.3.3 Quantenzahlen 679
 - 51.3.4 Wellenmechanisches Atommodell 682

51.4	Aufbau der Atomhüllen der Elemente	687
51.5	Röntgenstrahlung	693
51.5.1	Röntgenbremsstrahlung	694
51.5.2	Charakteristische Röntgenstrahlung	696
51.6	Energiebändermodell	699
51.6.1	Bändermodell der metallischen Leiter und der Nichtleiter	701
51.6.2	Bändermodell der Halbleiter	702
51.7	Fluoreszenz und Phosphoreszenz	704
51.8	Laser	705
52	Atomkern	710
52.1	Natürliche Radioaktivität	710
52.2	Gesetze der radioaktiven Umwandlung	711
52.2.1	Allgemeine Merkmale	711
52.2.2	Wichtigste Arten der radioaktiven Umwandlungen	712
52.2.3	Statistischer Charakter der Kernumwandlungen	716
52.2.4	Zerfallsgesetz	717
52.2.5	Aktivität und spezifische Aktivität	719
52.3	Umwandlungsreihen (Zerfallsreihen)	720
52.4	Massen der Atomkerne	723
52.4.1	Kernarten	723
52.4.2	Massendefekt und Bindungsenergie, Reaktionsenergie	724
52.5	Kernmodelle	728
52.5.1	Kernkräfte	728
52.5.2	Tröpfchenmodell	729
52.5.3	Schalenmodell	730
52.5.4	Energietopfmodell	730
52.6	Künstliche Kernumwandlungen	732
52.6.1	Kernreaktionen	732
52.6.2	Teilchenbeschleuniger	735
52.6.3	Künstliche Radionuklide	736
53	Wechselwirkung zwischen Kernstrahlung und Materie	737
53.1	Schwächung von α -Strahlung	737
53.2	Schwächung von β -Strahlung	738
53.3	Schwächung von γ -Strahlung	741
53.4	Nachweis der Kernstrahlung	745
54	Grundlagen der Dosimetrie	749
54.1	Energieflußdichte (Strahlungsflußdichte)	749
54.2	Kerma, Kermaleistung, Energiedosis und Energiedosisleistung	750
54.3	Ionendosis und Ionendosisleistung	751
54.4	Äquivalentdosis (Bewertete Dosis)	751
54.5	Strahlenschutzmaßnahmen	753
54.6	Ionendosisleistung, Äquivalentdosisleistung, punktförmige γ -Strahlenquelle	755
55	Gewinnung von Kernenergie	757

55.1	Vorgang der Kernspaltung	757
55.2	Kernspaltungsenergie	759
55.3	Wechselwirkung von Neutronen mit Atomkernen	760
55.4	Kernreaktor	762
55.5	Anwendung von Radionukliden	765
55.6	Thermonukleare Reaktion (Kernfusion)	766
56	Elementarteilchen	769
56.1	Kosmische Strahlung (Höhenstrahlung)	770
56.2	Standardmodell der Elementarteilchen	770
56.3	Ladungsartige Quantenzahlen und Erhaltungssätze	777
56.4	Wechselwirkungen	778
	Sachwortverzeichnis	781

Vorwort

Die Physik ist traditioneller Bestandteil der Ausbildung in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen sowohl an Universitäten als auch an Fachhochschulen. Dies hat gute Gründe. Zum einen liegen die Wurzeln aller technischen Disziplinen in der Physik. Sich mit Physik zu beschäftigen, bedeutet zugleich, die Grundlagen des eigenen Faches besser verstehen zu lernen. Zum anderen liefert die Physik ein methodisches Gerüst, mit dem sich auch technisch komplexe Fragestellungen bearbeiten lassen. Dabei kommt es zunächst gar nicht so sehr darauf an, die gesamte Breite der in der Physik behandelten Gegenstände im Detail zu kennen. Vielmehr genügt für den Einsteiger ein Grundstock an Fakten und Theorie, wie er sich seit vielen Jahrzehnten bewährt hat. Der LINDNER, Physik für Ingenieure, ist ein seit vielen Jahren eingeführtes Lehrbuch, das auf Grund seiner weiten Verbreitung bereits zu den Klassikern unter den einführenden Lehrbüchern gezählt werden kann. Trotz zahlreicher Verbesserungen in den früheren Auflagen schien aber nicht zuletzt auf Grund der gestiegenen Anforderungen in den Studiengängen eine gründliche Überarbeitung des Lehrbuches unumgänglich: In der 15. Auflage wurde der gesamte Stoff einer kritischen Sichtung unterzogen. Viele Kapitel und Abschnitte wurden dabei neu verfaßt und angepaßt. Zielsetzung war dabei nicht so sehr, den aktuellen Stand der Technik in der Physik darzustellen, sondern die Grundlagen in eine ansprechende Form zu bringen. Die Neubearbeitung betraf auch das gesamte Bildmaterial. Entbehrliches wurde entfernt, Bewährtes beibehalten und viel Neues hinzugefügt, so daß auch die grafische Gestaltung den veränderten Ansprüchen entspricht.

In der nun vorliegenden 19. Auflage wurde aktualisiert und bekannt gewordene Fehler konnten beseitigt werden. Die Umsetzung von sinnvollen Vorschlägen und Anregungen aus dem Leserkreis erfolgte wie gewohnt, soweit dies möglich war. Für gute Anmerkungen sind Bearbeiter und Verlag weiterhin dankbar.

Der LINDNER, Physik für Ingenieure, wendet sich in erster Linie an die Ingenieur-Studenten der Fachhochschulen, ist aber auch für das Grundstudium an Universitäten geeignet. Fortgeschrittene Schüler an Gymnasien sowie Lehrer werden das Buch ebenfalls nutzbringend einsetzen können.

Die Bearbeiter bedanken sich herzlich bei Frau Dipl.-Min. Ute Eckardt vom Fachbuchverlag für ihre geduldige Koordinationsarbeit beim Entstehen dieser Auflage. Sie danken auch herzlich den beiden Zeichnern Georg und Manfred Siebke, die mit großer Einsatzbereitschaft und Kreativität die weit über 700 Abbildungen erstellt haben.

Bearbeiter und Fachbuchverlag hoffen, daß die vorliegende Auflage des LINDNER, Physik für Ingenieure, wie die bisher erschienenen gern genutzt wird.

11 Kinematik schwingender Körper

Form und Verlauf von Schwingungen können außerordentlich vielfältig sein. Wie bei jeder Bewegung ist auch hier eine erste Klassifizierung nach dem *Raum-Zeit-Verhalten* möglich. Dabei ist zunächst festzulegen, wie viele unabhängige *Koordinaten* zur Beschreibung der Bewegung erforderlich sind. Bei nur einem Massenpunkt sind dies höchstens drei Koordinaten, für jede Raumrichtung eine. Bei einem System aus N Massenpunkten sind dies entsprechend maximal $3N$ Koordinaten oder, wie man auch sagt, **Freiheitsgrade**. Im folgenden wird zunächst nur das Verhalten eines einzelnen Massenpunkts betrachtet.

Die Festlegung des Bezugssystems zur kinematischen Beschreibung eines Schwingungsvorgangs erfolgt üblicherweise so, daß der Ursprung des Bezugssystems mit der mittleren Lage, die gewissermaßen der Ruhelage des Körpers entspricht, übereinstimmt. Die entsprechenden Koordinaten sind die **Auslenkungen** oder **Elongationen** des Massenpunkts oder Körpers.

Hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs lassen sich zunächst **zeitlich begrenzte** und **unbegrenzte** Schwingungen unterscheiden. Ist speziell die Zeitdauer einer begrenzten Schwingung klein gegenüber der Beobachtungsdauer, so spricht man auch von einer *impulsförmigen* Schwingung oder kurz einem **Impuls** (Bild 11.1).

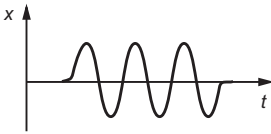


Bild 11.1: Impulsschwingung

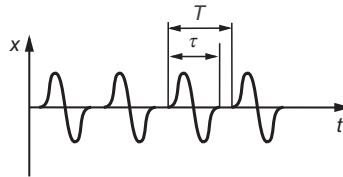


Bild 11.2: Pulsschwingung: die Schwingungsdauer τ ist kleiner als die Periodendauer T

Bei **periodisch** ablaufenden Schwingungen gilt für jede **Auslenkungsordinate**:

$$\boxed{x(t) = x(t + T)} \quad \text{Periodizität der Auslenkungsfunktion} \quad (11.1)$$

$x(t)$ ist der Momentanwert der Auslenkung in x -Richtung zum Zeitpunkt t . T ist die **Periodendauer** der Schwingung. Den Kehrwert von T nennt man auch die (Perioden-) **Frequenz** der Schwingung:

$$\boxed{f = \frac{1}{T}} \quad \text{Frequenz einer Schwingung} \quad (11.2)$$

Eine periodische Schwingung, bei der die Auslenkung nur innerhalb eines Zeitabschnitts $\tau < T$ von null verschiedene Werte annimmt, nennt man auch **Pulsschwingung** oder **Puls** (Bild 11.2).

11.1 Die harmonische Schwingung

Einen Sonderfall unter den periodischen Schwingungen stellt die **harmonische** oder **Sinus-schwingung** dar, bei der die Auslenkung eine sinusförmige Zeitabhängigkeit aufweist. Betrachten wir zunächst nur Schwingungen mit einem Freiheitsgrad, d. h., der Massenpunkt bewegt sich auf einer geraden Bahn. Wählt man das Bezugssystem so, daß diese Gerade z. B. mit der y -Achse zusammenfällt, so gilt für die Auslenkung y des Massenpunkts:

$$y(t) = \hat{y} \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi_0\right) \quad \text{Auslenkungsfunktion bei der linearen harmonischen Schwingung} \quad (11.3)$$

Der Faktor \hat{y} entspricht der Maximalauslenkung und wird **Amplitude** (der Auslenkung) genannt. φ_0 ist der **Nullphasenwinkel**. Er bestimmt zum Zeitpunkt $t = 0$ s die Auslenkung. Das Argument der Sinus-Funktion ist der **Phasenwinkel** φ :

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T} + \varphi_0 \quad \text{Phasenwinkel bei der harmonischen Schwingung} \quad (11.4)$$

Sein Wert legt die Auslenkung zu einem beliebigen Zeitpunkt t fest. Die Periodizität der Schwingung ergibt sich aus dem Verhalten des Phasenwinkels. Ersetzt man t in (11.4) durch $t + T$, so erhält man $\varphi(t + T) = \varphi(t) + 2\pi$ und wegen $\sin(\varphi + 2\pi) = \sin \varphi$ schließlich $y(t + T) = y(t)$.

Schwingungszustände, deren Phasenwinkel sich um Vielfache von $\pm 2\pi$ unterscheiden, werden als **gleichphasig** bezeichnet.

An Stelle der Periodendauer läßt sich der Phasenwinkel auch durch die Frequenz f ausdrücken: $\varphi = 2\pi f t + \varphi_0$. Das Produkt aus der Zahl 2π und der Frequenz f ist die **Kreisfrequenz** ω und dient der Vereinfachung der Schreibweise.

$$\omega = 2\pi f \quad \text{Kreisfrequenz} \quad (11.5)$$

Damit lautet (11.3)

$$y(t) = \hat{y} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{Auslenkungsfunktion} \quad (11.6)$$

Der Name Kreisfrequenz deutet auf eine Beziehung zwischen der harmonischen Schwingung eines Massenpunkts und einer gleichförmigen Kreisbewegung hin. Tatsächlich entspricht (11.6), bis auf den Nullphasenwinkel, der y -Koordinate des Radiusvektors in der Polarkoordinatendarstellung von Gleichung (2.36). Dies geht auch anschaulich aus Bild 11.3 hervor, in dem der Radiusvektor als rotierender Zeiger und die y -Koordinate als Projektion der Zeigerspitze auf den senkrechten Durchmesser dargestellt ist. Die Länge des Zeigers, d. h. der Betrag von \vec{r} , ist zugleich die Amplitude der Auslenkung. Um nun die Abhängigkeit der momentanen Auslenkung y von der Zeit t aufzuzeigen, wird die Zeitachse in die Richtung des waagerechten Durchmessers gelegt, und es werden die den einzelnen

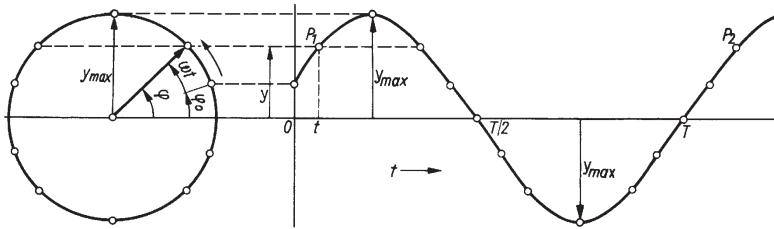


Bild 11.3: Ort-Zeit-Funktion der harmonischen Schwingung

Zeitpunkten entsprechenden Auslenkungen als Ordinaten aufgetragen. Die Verbindungslinie aller erhaltenen Punkte ergibt eine Sinuskurve.

Die Kreisfrequenz ω der Schwingung entspricht der Winkelgeschwindigkeit, die Periodenfrequenz f der Umdrehungsfrequenz bzw. der Drehzahl. Die sich entsprechenden Größen sind in der folgenden Tabelle gegenübergestellt:

Gegenüberstellung der kinematischen Größen der Kreisbewegung und der harmonischen Schwingung

Kreisbewegung	Symbol	Sinusschwingung	Symbol
Radius	r	Amplitude	\hat{y}
Koordinate	y	Auslenkung	y
Drehwinkel	φ	Phasenwinkel	φ
Umdrehungsfrequenz, Drehzahl	n	Periodenfrequenz	f
Winkelgeschwindigkeit	ω	Kreisfrequenz	ω
Umdrehungsdauer	T	Periodendauer	T

Die Verwandtschaft zwischen der Kreisbewegung und der harmonischen Schwingung ermöglicht es auch, sofort die entsprechenden Zeitfunktionen für die *Momentangeschwindigkeit* v und die *Momentanbeschleunigung* a anzugeben. Sie sind identisch mit den Gleichungen für die y -Koordinaten der Vektoren \vec{v} und \vec{a} bei der gleichförmigen Kreisbewegung:

$$v = \hat{y}\omega \cos(\omega t + \varphi_0) = \hat{v} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Geschwindigkeit bei der harmonischen Schwingung (11.7)

$$a = -\hat{y}\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -\hat{a} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Beschleunigung bei der harmonischen Schwingung (11.8)

Strenggenommen müßten v und a jeweils mit dem Index y versehen werden, da es sich um Koordinaten handelt und nicht um Beträge. Soweit keine Verwechslung auftreten kann, wird im folgenden auf diese Kennzeichnung verzichtet.

\hat{v} und \hat{a} sind die Amplituden der Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung, d. h. genauso wie bei der Auslenkung deren positive Maximalwerte. \hat{v} ist bei gegebener Amplitude \hat{y} linear, \hat{a} dagegen quadratisch von der Kreisfrequenz ω abhängig.

$$\boxed{\hat{v} = \omega \hat{y}} \quad \text{Geschwindigkeitsamplitude} \quad (11.9)$$

$$\boxed{\hat{a} = \omega^2 \hat{y}} \quad \text{Beschleunigungsamplitude} \quad (11.10)$$

Durch eine einfache Umformung wird der zeitliche Bezug zwischen den Momentanwerten der Auslenkung und denen der Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung sichtbar gemacht:

$$v = \hat{v} \cos(\omega t + \varphi_0) = \hat{v} \sin\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a = -\hat{a} \sin(\omega t + \varphi_0) = \hat{a} \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi)$$

Der Phasenwinkel der Geschwindigkeit ist demnach um $\frac{\pi}{2}$ größer als derjenige der entsprechenden Auslenkung. Man sagt dafür:

Die Geschwindigkeit eilt der Auslenkung um eine viertel Schwingung voraus.

Bei der Beschleunigung beträgt der Phasenwinkelunterschied π :

Die Beschleunigung eilt der Auslenkung um eine halbe Schwingung voraus.

Eine gemeinsame Darstellung des Zeitverlaufs aller drei Bewegungsgrößen verdeutlicht die mathematischen Zusammenhänge (Bild 11.4):

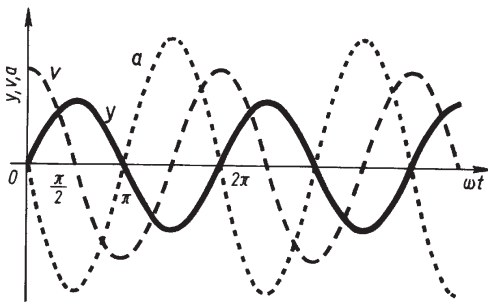


Bild 11.4: Auslenkung y , Geschwindigkeit v und Beschleunigung a der harmonischen Schwingung

In den *Nulldurchgängen* der Auslenkung erfährt der Massenpunkt keine Beschleunigung, der Betrag der Geschwindigkeit dagegen ist dort jeweils maximal. In den *Umkehrpunkten* ist die Geschwindigkeit null, dafür der Betrag der Beschleunigung maximal.

Auch die **Überlagerung** zweier oder mehrerer Sinusschwingungen gleicher Frequenz, aber mit unterschiedlichen Nullphasenwinkeln ergibt wieder eine Sinusschwingung. Dies läßt sich anschaulich mit Hilfe des rotierenden Radiusvektors von Bild 11.5 zeigen. Zerlegt

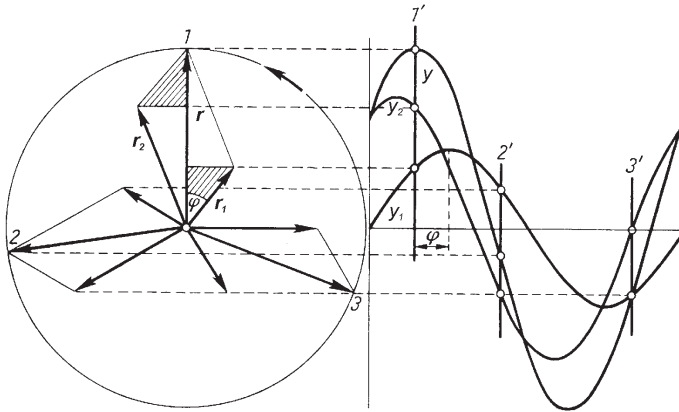


Bild 11.5: Addition von Zeigern. Die Zeiger \vec{r}_1 und \vec{r}_2 erzeugen beim Rotieren die entsprechenden Sinuskurven y_1 und y_2 . Der resultierende Zeiger ergibt die Sinuslinie y . Jedem Schnitt $1' \dots 3'$ durch das Liniendiagramm entspricht eine bestimmte Stellung $1 \dots 3$ des im ganzen rotierenden Zeigerdiagramms.

man den Radiusvektor \vec{r} in zwei Teilvektoren \vec{r}_1 und \vec{r}_2 , die beide mit gleicher Winkelgeschwindigkeit (=Kreisfrequenz) ω rotieren, so ergibt die Summe der beiden Projektionen y_1 und y_2 gerade die Projektion des Vektors \vec{r} auf den senkrechten Durchmesser (Bild 11.5).

Dabei gilt:

$$y = \hat{y} \sin(\omega t + \varphi_0) = y_1 + y_2 = \hat{y}_1 \sin(\omega t + \varphi_{01}) + \hat{y}_2 \sin(\omega t + \varphi_{02})$$

φ_0 , φ_{01} und φ_{02} sind die Nullphasenwinkel der resultierenden Schwingung und der Teilschwingungen. Da alle drei Vektoren (Zeiger) sich mit derselben Winkelgeschwindigkeit drehen, ist die resultierende Amplitude $\hat{y} = |\vec{r}|$ zeitlich konstant. Die Berechnung der Amplitude \hat{y} sowie des Nullphasenwinkels φ_0 erfolgt über die üblichen trigonometrischen Beziehungen für Dreiecke. Für den Fall, daß beide Teilamplituden gleich groß sind, gilt

$$\varphi_0 = \frac{1}{2}(\varphi_{01} + \varphi_{02}) \quad \text{und} \quad \hat{y} = \hat{y}_1 \left| \sin \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02}}{2} \right|$$

Beispiele:

1. Welche Auslenkung zeigt ein schwingender Massenpunkt 3,0 ms nach Beginn der Schwingung aus der Ruhelage, wenn die Amplitude 30 mm und die Frequenz 25 Hz beträgt?

Aus der Ruhelage heißt $\varphi_0 = 0$. Mit (11.4) und (11.6) folgt

$$y = \hat{y} \sin 2\pi f t = 30 \text{ mm} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 25 \text{ s}^{-1} \cdot 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}) = 30 \text{ mm} \cdot 0,454 = 13,6 \text{ mm}$$

2. Mit welcher Geschwindigkeit eilt ein mit der Frequenz 12 Hz schwingender Massenpunkt durch seine Ruhelage, wenn seine Auslenkungsamplitude 50 mm beträgt?

Bei der Schwingung durch die Ruhelage ist der Betrag der Geschwindigkeit gleich seiner Amplitude, d. h., mit (11.9) folgt

$$|v| = \hat{v} = \omega \hat{y} = 2\pi f \hat{y} = 2 \cdot \pi \cdot 12 \text{ s}^{-1} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,8 \text{ m/s}$$

3. Wie groß ist im vorigen Beispiel die Beschleunigung bei einer momentanen Auslenkung von 20 mm?

Mit (11.6) und (11.8) folgt

$$a = -\frac{\hat{a}}{\hat{y}}y = -\omega^2 y = -\left(2 \cdot \pi \cdot 12 \text{ s}^{-1}\right)^2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -114 \text{ m/s}^2$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, daß die Beschleunigung der Auslenkung entgegengesetzt gerichtet ist.

4. Bei welchen Phasenwinkelunterschieden verstärken bzw. schwächen sich zwei Sinusschwingungen gleicher Frequenz maximal?

Aus Bild 11.5 geht hervor, daß maximale Verstärkung bei einem Unterschied von 0 und $\pm 2n\pi$, maximale Schwächung dagegen bei $\pm(2n-1)\pi$ eintritt. Die resultierende Amplitude ist dann $\hat{y}_1 + \hat{y}_2$ bzw. $|\hat{y}_1 - \hat{y}_2|$.

11.2 Zusammengesetzte Schwingungen

Reale Schwingungen sind *keine* harmonischen Schwingungen. Bereits die Forderung nach „Unendlichkeit“, die eine Sinusschwingung auszeichnet, widerspricht den tatsächlichen Gegebenheiten. Hinzu kommt, daß die allermeisten Schwingungen, wenn sie denn schon „nahezu“ periodisch verlaufen, komplizierte Zeitabhängigkeiten aufweisen. Trotzdem besitzt die harmonische Schwingung eine herausragende Bedeutung bei der Analyse, aber auch der Darstellung solcher realer Schwingungen. Nehmen wir als Beispiel einen Lautsprecher, der von zwei unabhängigen Sinusgeneratoren gespeist wird. Solange die Auslenkungen der Membran nicht zu groß sind, verhält sich der Lautsprecher also linear, entsteht die resultierende Schwingung einfach durch Addition der beiden Teilschwingungen.

Drei Sonderfälle sind dabei von besonderem Interesse:

- Die beiden Teilfrequenzen stimmen überein, d. h., $f_1 = f_2$. In diesem Fall ist die resultierende Schwingung, wie im letzten Abschnitt gezeigt wurde, wieder eine harmonische Schwingung.
- Die beiden Teilfrequenzen sind nur wenig verschieden, d. h., $f_1 \approx f_2$. Es entsteht eine Schwingung mit periodisch an- und abschwelliger Amplitude, eine sogenannte **Schwebung**.
- Die beiden Teilfrequenzen bilden **rationale** Zahlenverhältnisse, d. h., es gilt $\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2}$ mit n_1 und n_2 als ganzen Zahlen. Nur für diesen Fall ist die zusammengesetzte Schwingung streng periodisch.

11.2.1 Schwebungen

Ein Beispiel für eine Schwebung ist in Bild 11.6 wiedergegeben.

Charakteristisch für eine Schwebung ist, daß der sinusförmige Verlauf der beiden Teilschwingungen noch zu erkennen ist; allerdings erweist sich die Amplitude nicht mehr als zeitlich konstant, sondern zeitlich veränderlich mit einer bestimmten Periodendauer, der **Schwebungsdauer** T_S .

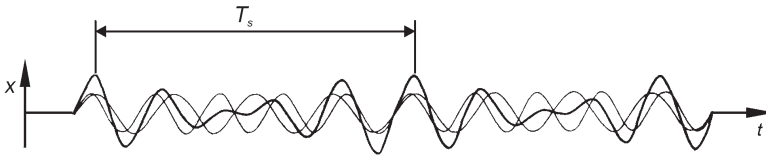


Bild 11.6: Entstehung von Schwebungen aus zwei Schwingungen benachbarter Frequenz

Die Schwingung ist **moduliert**, wobei die Modulation durch den **Hüllkurvenverlauf** sichtbar gemacht wird. Dies lässt sich auch mathematisch leicht zeigen. Werden die Amplituden der beiden Teilschwingungen wie in Bild 11.6 als gleich groß vorausgesetzt und die beiden Nullphasenwinkel null gesetzt, so ist

$$y = y_1 + y_2 = \hat{y}_1(\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)$$

Diese Summe lässt sich nach einem *Additionstheorem* in ein Produkt umwandeln:

$$y = 2\hat{y}_1 \left(\cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right) \left(\sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \right)$$

Der *Hüllkurvenverlauf* wird durch den ersten Faktor mit der Kreisfrequenz

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = \frac{\Delta\omega}{2}$$

bestimmt.

Der zweite Faktor mit der **Mittlenkreisfrequenz** $\omega_m = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$, d. h. dem arithmetischen Mittel der beiden Teilfrequenzen, beschreibt die in der Amplitude modulierte Schwingung.

Die Hüllkurve hat Nullstellen in zeitlichen Abständen von $\frac{|\Delta\omega|}{2} T_S = \pi$. Daraus ergibt sich die **Schwebungsdauer** T_S zu

$$\boxed{T_S = \frac{1}{|f_1 - f_2|}} \quad \text{Schwebungsdauer} \quad (11.11)$$

Definiert man eine **Schwebungsfrequenz** f_S als den Kehrwert der Schwebungsdauer, so folgt

$$\boxed{f_S = \frac{1}{T_S} = |f_1 - f_2|} \quad \text{Schwebungsfrequenz} \quad (11.12)$$

Sind die beiden Teilamplituden nicht, wie oben vorausgesetzt, gleich groß, so besitzt die Hüllkurve keine Nullstellen mehr, sondern nur noch Minima. Schwebungsdauer und -frequenz sind aber ebenso durch die beiden Gleichungen bestimmt.

Sachwortverzeichnis

- α -Strahlung 710
- α -Umwandlung 711, 712, 726
- α -Zerfall 712
- ABBESche Zahl 361
- Abbildung 347
- Abbildungen an dünnen Linsen 371
- Abbildungsgesetze 368
- Abbildungsgleichung 350, 370
- Abbildungsmaßstab 350, 370
- Aberration, chromatische 375
 - , sphärische 376
- Abklingkoeffizient 201
- Abklingzeit 201
- Abrasion 75
- Absorption 340, 413, 705
- Absorptionsbanden 364
- Absorptionsgrad 414, 431
- Absorptionslinie 364
- Absorptionsspektrum 363
- Achromate 376
- Achse, optische 346, 366, 405
- Achsen, freie 127
- Adiabatexponent 239, 283, 298
- adiabatisch 239
- Admittanz 560
- Äquipotentialfläche 477, 479, 480
- Äquivalent, elektrochemisches 623, 624
- Äquivalentdosis 752, 753
- Äquivalentdosisleistung 753, 756
- Äquivalentdosisrate 753
- Äquivalenz von Masse und Energie 654
- Aggregatzustand 322
- Akkommodation 378
- Aktionskraft 74, 114
- Aktivierungsenergie 603, 645
- Aktivität 719
 - , spezifische 719
- Aktivitätskonzentration 719
- Akustik 237
- Akzeptor 606, 607, 703
- allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases 267
- Ampere 441, 541
- Amplitudenspektrum 190
- Analysator 406
- Analyse, harmonische 190
- Anastigmat 377
- Aneroidbarometer 148
- Anionen 620
- Anlaßfarben 389
- Annihilation 737
- Anreicherungstyp 618
- Antenne 583
- Anti-Elektronen-Neutrino 713
- Antielektron 770
- Antineutrino 771
- Antineutron 771
- Antiproton 771
- Antiteilchen 713, 770, 771
- Apertur, numerische 353
 - , numerische, des Objektivs 399
- Aplanate 376
- Arbeit 84
- Arbeitsdiagramm 304
- ARCHIMEDISches Prinzip 158
- Aspirationspsychrometer 333
- Astigmatismus 376
- Atom 668
- Atom-Absorptions-Spektrometer 364
- Atom-Emissions-Spektrometer 363
- Atomhülle 668
- Atomkern 668, 710
- Atommasse, relative 288, 668
- Atommodell
 - nach BOHR 675
 - nach BOHR-SOMMERFELD 679
 - nach RUTHERFORD 674
 - , wellenmechanisches 682
- Atomradius 670
- Aufbau der Atomhüllen 687
- Aufenthaltswahrscheinlichkeit 685
- Aufladung eines Kondensators 492
- Auflösungsvermögen 397, 398
- Auftrieb 157
 - , dynamischer 166
- Auge 378
- Augenblickswert, der Wechselspannung 548
- Ausdehnung, thermische 255, 257
- Ausfluß 165
- Auslenkung 182
- Auslenkungsbüchse 212
- Auslenkungsfunktion 182, 183
- Auslenkungsknoten 212
- Ausschaltvorgang 544
- Ausschließungsprinzip 687
- Ausstrahlung, spezifische 409
- Ausströmgeschwindigkeit 165
- Austauschreaktion 732
- Austrittsarbeit 598, 634, 643
- Auswahlregeln 685
- Auswuchten 127
- Autoradiografie 765
- Avalanche-Durchbruch 610
- AVOGADRO-Konstante 266, 288, 593, 623
- β -Strahlung 711
- β^+ -Strahlung 736
- β -Umwandlung 712
- β^+ -Umwandlung 714, 727
- β^- -Umwandlung 712, 727
- Bändermodell 700, 702
- Bahndrehimpuls 672, 679
- Bahndrehimpulsquantenzahl 679
- Bahndrehimpulsvektor 680
- Bahnkurve 39
- Bahnmomente 518
- BALMER-Serie 677

- Bandbreite 386
 Bandenspektrum 363
 Bandgenerator 464
 Bar 147
 BARKHAUSEN-Gleichung 640
 Barometer 148
 Barometrische Höhenformel 155
 Baryonen 772, 774, 775
 Baryonenzahl 777
 Basis 612
 Basiseinheiten 24
 Basisgröße 21
 Basisschaltung 612, 613
 Basisstromstärke 613
 Becquerel 719
 Bedingung für Interferenzmaximum 396
 Beleuchtungsstärke 429, 430
 Belichtung 430
 Beschleunigung 46
 Beschleunigungsarbeit 87
 Besetzungsdichten 706
 Besetzungswahrscheinlichkeit 701
 Bestrahlung 411
 Bestrahlungsstärke 411
 Betatron 736
 Betriebsdruck 149
 Beugung 232, 236
 – am Gitter 396
 – am Spalt 394, 395
 – des Lichtes 393
 –, FRAUNHOFERSche 394
 Beugungerscheinungen 660
 Beugungsgitter 396
 Beugungsspektren 396
 Beweglichkeit von Ladungsträgern 592
 Bewegung, gleichförmige 42
 Bewegungsenergie 94
 – eines rollenden Körpers 138
 Bewegungsgleichung 63
 – für den Massenmittelpunkt 113
 Bewegungsinduktion 523
 Bewegungsmasse 653
 Bewegungsreibung 74
 Bewegungsreibungszahl 74
 Bewertungsfaktor 752
 Bezugsschalldruck 245
 Bezugssehweite 378
 Bezugssystem 38
 Biegeschwingungen 216
 Biegewellen 237
 Bikonvexlinse 368
 Bild, reelles 344
 –, scheinbares 344
 –, virtuelles 344
 –, wirkliches 344
 Bildkonstruktion 369
 Bildwölbung 378
 Bindungsenergie 725
 Bipolar-Bauelemente 607
 Bipolartransistor 612
 BIOT-SAVARTSches Gesetz 506
 Blasenkammer 747
 Bleiakkumulator 628
 Blenden 342
 Blendenzahl 380
 Blindleistung 207, 565, 566, 568, 578
 Blindleitwert, kapazitiver 560
 Blindstromstärke 567
 Blindwiderstand 559
 –, induktiver 552, 553
 –, kapazitiver 554, 555
 Blitzableiter 467
 Bogenentladung 633
 BOHRsche Postulate 675
 BOHRsches Magneton 672
 BOLTZMANN-Faktor 297
 BOLTZMANN-Konstante 293, 317
 Bosonen 772, 774
 BOURDONSche Röhre 148
 BOYLE-MARIOTTESche Gleichung 261
 BOYLE-MARIOTTESches Gesetz 152
 BRAGG, Gleichung von 698
 Brechung 232, 234, 352
 Brechungsgesetz 235, 353
 Brechwert 367
 – einer dicken Linse 372
 Brechzahl 352
 Brennpunkt 346, 366
 Brennstoffelement 627
 Brennstoffzelle 627
 Brennstrahl 347, 368
 Brennweite 346, 366, 367
 – des Linsensystems 373
 BREWSTER-Fenster 405
 BROWNSche Bewegung 142, 287
 Brückengleichgewicht 461
 Brutreaktoren 763, 764
 C-MOS-Technik 620
 Cadmium-Nickel-Sammler 629
 Candela 424
 CARNOTScher Kreisprozeß 310
 Celsius-Temperatur 256
 Chemolumineszenz 341
 Compound-Kern 759
 COMPTON-Effekt 695, 742
 COMPTON-Streuung 742
 COMPTON-Wellenlänge 742
 Computertomografie 695
 COOPER-Paar 596
 CORIOLIS-Beschleunigung 71
 CORIOLIS-Kraft 71
 Coulomb 442
 COULOMB-Kraft 474, 475
 COULOMB-Potential 480
 COULOMBSches Gesetz 474
 COULOMB-Wall 730
 CURIE-Temperatur 496, 517
 Dämpfung 200
 Dämpfungskoeffizient 203
 DALTONSches Gesetz 328
 Dampf 326
 Dampfdruck 327, 329
 Dampfdruckkurve 329
 Dampftabelle für Wasser 330
 Dauermagnet 499
 DE-BROGLIE-Wellenlänge 660
 Defektelektron 603
 Defektelektronenkonzentration 604, 607
 Deuterium 724
 deutliche Sehweite 378
 Dezibel (dB) 245
 Diamagnetismus 520
 Dichte 158, 260
 Dichteanomalie 260

- Dickenmessung, kontaktfreie 765
 Dielektrikum 493, 494
 Dielektrizitätszahl 492
 Diffusionsspannung 607, 609
 Diffusionsstromstärke 607
 Dimension 24
 Diode 607, 609, 638
 Diodenkennlinie 609
 Dipol 476, 482, 583
 – als Schwingkreis 582
 –, magnetischer 500, 501
 Dipolmoleküle 477, 494
 Dipolmoment einer langen Zylinderspule 537
 –, elektrisches 476
 –, magnetisches 500, 512
 Direktionsmoment 197, 198
 Dispersion 226, 360
 –, anomale 360
 –, mittlere 360
 –, normale 360
 –, relative 361
 Dissoziation 620
 Donator 606, 607, 703
 Doppelbrechung 405
 Doppelschicht, elektrische 497
 Doppelspalt 236
 DOPPLER-Effekt 250
 –, optischer 654
 Dosimetrie 749
 Dosisleistungskonstante 756
 Dotierung 606
 Dotierungsdichte 609
 Drain 618
 Drehbeschleunigung 125
 Drehfrequenz 57
 Drehimpuls 129
 –, vektoriell 131
 Drehimpulsquantum 671, 675
 Drehimpulsvektor 680
 Drehmoment 116
 – auf einen Dipol 476
 – auf einen magnetischen Dipol 536, 537
 –, vektoriell 121
 Drehschwinger 197
 Drehschwingung 194
 Drehspulninstrument 538
 Drehstrom 575
 Drehung, spezifische 407
 Drehwaage 81
 Drehwinkel 55
 – der Polarisationssebene 407
 Drehzahl 57
 Dreieckschaltung 576
 Dreiphasenverbraucher 578
 Dreiphasenwechselstrom 575
 Driftgeschwindigkeit 592, 621
 Drosselspule 553
 Druck 146
 –, absoluter 153
 –, Betriebsdruck 149
 –, Druckdifferenz 153
 –, dynamischer 164
 –, Gesamtdruck 165
 –, geodätischer 164
 –, hydrostatischer 149
 –, Luftdruck 148, 154
 –, Normaldruck 148
 –, Schweredruck 149, 150, 164
 –, statischer 164
 –, Staudruck 164
 –, Überdruck 153
 –, Unterdruck 153
 Druckänderung 287
 Druckdifferenz 153
 Dualismus 659
 Dualismus Welle–Teilchen 660
 Durchflutung, elektrische 505
 Durchflutungsgesetz 504, 586, 587
 Durchlaßrichtung 608
 Durchlaßwiderstand, statischer 610
 Durchschlagsfestigkeit 471
 Dynamik 37
 Effekt, lichtelektrischer 643
 –, piezoelektrischer 496
 –, thermoelektrischer 601
 Effektivwerte 549–551
 Eichbosonen 772
 Eigendrehimpuls 671, 681
 Eigenfrequenz 580
 Eigenkreisfrequenz 196
 Eigenleitung 603, 702, 703
 Eigenleitungsdichte 604
 Eigenschwingungen 211
 Einfangreaktion 734
 Einheiten 21
 –, Längeneinheit 26
 –, Masseinheit 27
 –, SI-fremde 25
 –, Zeiteinheit 28
 Einheitengleichungen 24
 Einphasenwechselstrom 547
 Einphasenwechselstromverbraucher 578
 Einschaltvorgang 544
 Einschwingvorgang 204
 Eisen-Nickel-Sammler 629
 EINSTEINSche Gleichung 644
 Eisenverluste 572
 Elastizitätsmodul 215
 Elektrete 496
 Elektrizitätslehre 440
 Elektroerosion 623
 Elektrolumineszenz 341, 704
 Elektrolyse 622
 Elektrometer 464
 Elektron 464, 668, 669, 770
 Elektron-Defektelektron-Paar 645
 Elektronen, freie 591
 –, im elektrischen Feld 634
 Elektronen-Neutrino 713
 Elektroneneinfang 714
 Elektronenemission 633
 Elektronenfehlstelle 603
 Elektronengas 593, 598, 600, 701
 Elektronenhülle 687
 Elektronenkonfiguration 692
 Elektronenkonzentration 604, 607
 Elektronenmangel 464
 Elektronenmikroskop 662
 Elektronenradius, klassischer 670
 Elektronenröhren 637
 Elektronenüberschuß 464
 Elektronvolt 85, 591
 Elektrostatik 463
 Elektrostriktion 496
 Elementarladung 442, 475, 623
 Elementarmagnete 518

- Elementarteilchen 668, 737, 769, 770
 Elementarwellen 232
 Elemente, galvanische 624
 –, primäre 626
 –, sekundäre 628
 Elongation 182
 Emission 340
 –, induzierte 705–707
 –, spontane 705
 Emissionsgrad 416, 419
 Emissionsspektrum 362
 Emissionstheorie 641
 Emittier 612
 Emitterschaltung 613
 Emittierstromstärke 613
 Endverstärker 615
 Energie 93, 489
 –, Bewegungsenergie 94
 – des Elektrons 677
 – des Magnetfeldes einer Spule 542
 – des Magnetfeldes im inhomogenen Feld 543
 – des magnetischen Feldes 541
 – eines homogenen Magnetfeldes 542
 –, elektrische 462
 – im Magnetfeld 533
 –, innere 274, 294
 –, kinetische 94
 –, Lageenergie 94
 –, potentielle 94
 –, potentielle, einer gespannten Schraubenfeder 95
 –, potentielle, im Gravitationsfeld einer Masse 95
 –, potentielle, im Schwerfeld der Erde 95
 Energiebändermodell 699
 Energiedichte 489, 655
 – des Magnetfeldes 541, 542
 – des Photonenstroms 642
 –, elektrische 491
 Energiedosis 750
 Energiedosisleistung 750
 Energiedosisrate 750
 Energiefluenz 750
 Energieflußdichte 409, 749
 –, hindurchgehende 695
 Energieniveau 687
 Energiequanten 420
 Energiestromdichte 589
 Energietopf 598, 599
 Energietopfmodell 644, 730
 Energietransport 223
 Energieübertragungsvermögen, lineares 752
 Energieumwandlung im Schwingkreis 580
 Energiewall 730
 Energiezustände 599
 Enthalpie 279
 Entladung, selbständige 629, 631
 –, unselbständige 629, 630
 Entladung eines Kondensators 492
 Entmagnetisierung 515
 Entmagnetisierungskurve 517
 Entropie 314, 315
 Erhaltung des Drehimpulses 134
 Erhaltungssätze 777
 Erhaltungssatz der Energie 97
 Erhaltungssatz des Gesamtimpulses 103
 Ersatzkapazität, bei Parallelschaltung 488
 – bei Reihenschaltung 489
 Ersatzleitwert 451
 Ersatzwiderstand 451, 453
 Erstarren 322
 Erstarrungsverzug 323
 Erstarrungswärme 323
 erster Hauptsatz der Wärmelehre 274
 Erwartungswert 29, 685
 Erweiterungsfaktor 458
 Erzeugung elektrischer Schwingungen 581
 Expositionsleistung 751
 Extinktion 431, 433
 Extinktionsmodul 432
 FARADAY-Effekt 407
 FARADAY-Käfig 467
 FARADAY-Konstante 623
 FARADAYSche Gesetze 622
 –, erstes FARADAYSches Gesetz 623
 –, zweites FARADAYSches Gesetz 624
 FERMI-Energie 599, 700, 702, 731
 FERMI-Kante 634
 FERMI-Verteilung 600, 634
 FEYNMANN-Diagramm 772, 780
 FOURIERSche Reihe 190
 FRAUNHOFERSche Beugung 394
 FRAUNHOFERSche Linien 364
 FRESNELScher Spiegelversuch 385
 Faktor, relativistischer 651
 Fall, freier 50
 Fallbeschleunigung 50
 Farben, Anlaßfarben 389
 – dünner Blättchen 389
 Farbenkreis 439
 Farbenlehre 423, 434
 Farbgleichung 436
 Farbkoordinaten 437
 Farbloadungen 774
 Farbloadungszustände 774
 Farbmaßzahlen 437
 Farbmatrik 436
 Farbmischungen 435
 Farbtemperatur 422
 Farbvalenz 435
 Fehler, sphärische 376
 Fehlerfortpflanzung 33
 – nach GAUSS 34
 Feinmeßtechnik 392
 Feinstruktur 678
 Feinstrukturuntersuchung 698
 Feld, elektrisches 463, 465
 –, magnetisches 499
 Feldbild 82
 Feldeffekt-Transistor 617
 Feldemission 634
 Feldenergie, elektrische 489, 490
 Felder 466
 –, homogene 466
 –, inhomogene 466
 –, instationäre 467

- , skalare 83
- , stationäre 467
- Feldgleichung 528
- Feldgrößen, elektrische 469
- , magnetische 502
- Feldkonstante, elektrische 472
- , magnetische 511, 541
- Feldlinien 82
- , elektrische 465
- , magnetische 499
- Feldquanten 772
- Feldstärke, elektrische 469, 470
- , induzierte elektrische 528
- , magnetische 502, 503, 507, 509
- Fermionen 772
- , fundamentale 771
- Fernrohr 381
- , astronomisches 381
- , GALILEISches Fernrohr 382
- Fernsehbildröhre 640
- Ferromagnetismus 516
- Festkörperdetektoren 748
- Festkörperlaser 708
- Festkörperreibung 73
- Fettfleckfotometer 433
- Feuchte, absolute 331
- , relative 332
- Figurenachse 130
- Flächenausdehnungskoeffizient 259
- Flächenladungsdichte, elektrische 471
- Flächennormale 219
- Flächensatz 78, 134
- Fluchtgeschwindigkeit 96
- Fluenz 750
- Flüssigkeiten 142
- Flüssigkeitsmanometer 153
- Flüssigkeitsreibung 73
- Flüssigkeitsschall 237
- Fluoreszenz 341, 633, 693, 704
- Fluoreszenzspektrum 704
- Fluß, elektrischer 472, 473
- , magnetischer 509, 511, 520
- Flußdichte, elektrische 472
- , magnetische 502, 509, 511, 514, 534
- Flußrichtung 608, 612
- Flußstromstärke 608
- Fotodiode 612, 646, 648
- Fotoeffekt 642, 695, 741
- , äußerer 643
- , innerer 616, 645, 703
- Fotoelement 645, 646
- Fotoemission 634, 643
- Fotokatode 643
- Fotometer 433
- Fotometerwürfel 433
- Fotometrie 423
- Fotomultiplier 643
- Fotostromstärke 644
- Fototransistor 616, 648, 649
- Fotowiderstand 606, 646
- Fotozelle 643
- Freiheitsgrade 182, 299
- Frequenz 548
- der ungedämpften Schwingung 580
- einer Schwingung 182
- Frequenzbewertungskurve 250
- Frequenzgang 205
- Führungskräfte 64
- Fundamentalschwingungen 211
- Funkentladung 633
- γ -Quanten 715, 732
- γ -Strahlung 711
- γ -Übergänge 715
- GALILEISches Fernrohr 382
- GALILEI-Transformation 650
- Galvanisieren 622
- Galvanometer 461
- , ballistisches 539
- Gammadefektoskopie 765
- Gammastrahlenkonstante, spezifische 755
- Gangunterschied 230, 385
- Gap-Energie 603, 645 701
- Gaps 699
- Gas 142, 152
- , ideales 262
- Gasentladung 630, 633
- , selbständige 630
- Gasionisationsdetektoren 745
- Gaskonstante 267
- , allgemeine 294
- Gaslaser 708
- Gastheorie, kinetische 287, 291
- Gate 618
- GAUSS-Verteilung 30
- Gefrierpunktserniedrigung 323
- GEIGER-MÜLLER-Zählrohr 746
- Generation 603, 604
- Generationsrate 604
- Generator 528
- , fremderregter 531
- Germanium 602
- Gesamtablenkwinkel 356
- Gesamtdrehimpuls 682
- Gesamtdruck 165
- Gesamtimpuls 111
- Gesamtstromstärke 561
- Gesamtwiderstand 451, 453
- Geschwindigkeit 41
- eines Elektrons 591
- Geschwindigkeitsfeld 160
- Gesetz von BERNOULLI 163
- von BREWSTER 404
- von GAY-LUSSAC 262, 263
- von HAGEN-POISEUILLE 172
- Gewichtskraft 77
- Gitterkonstante 396
- Glasfaser 357
- Gleichgewicht 66
- , statisches 123
- gleichphasig 183
- Gleichrichter 609, 610
- Gleichrichtwert 549, 550
- Gleichstromgenerator 529
- Gleichstromkreis 448
- Gleichstrommotor 538
- Gleichungen, Einheitengleichungen 24
- , Größengleichungen 22
- , physikalische 22
- , zugeschnittene Größengleichungen 23
- , POISSONSche 284
- Gleichverteilungssatz 299
- Gleitreibung 74
- Gleitreibungszahl 74
- Glimmentladung 631, 632
- Glühemission 634

- Glühfadenpyrometer 422
 Gluon 772
 Gradientenfasern 358
 Gravitation 77
 Gravitationsfeld 82
 Gravitationsfeldstärke 82
 Gravitationskonstante 78
 Gravitationswechselwirkung 475, 779
 Gray 750
 Grenzfall, aperiodischer 202
 Grenzflächenspannung 143
 Grenzwinkel 73, 169, 174
 Grenzwinkel 357
 Größen
 –, lichttechnische 423, 424
 –, Meßgröße 28
 –, molare 266
 –, physikalische 21
 –, skalare 22
 –, strahlungsphysikalische 408
 –, vektorielle 22
 Größengleichungen 22
 –, zugeschnittene 23
 Großsignalverstärker 615
 Grundband 700
 Grundgesetz der Dynamik 63
 – der Mechanik 104
 –, dynamisches 653
 –, dynamisches der Rotation 128
 –, dynamisches der Translation 128
 Grundschiwingung 190
 Grundzustand 676
 Gruppengeschwindigkeit 227, 360
 Haarhygrometer 333
 Hadronen 771
 Haftreibungswinkel 74
 Haftreibungszahl 74
 Halbleiter 441, 602, 702
 Halbleiterbauelemente 602
 Halbleiterdetektoren 748
 Halbleiterlaser 709
 Halbwertsdicke 695, 744
 Halbwertszeit 717, 718
 HALL-Effekt 597
 HALL-Konstante 593, 597
 HALL-Sonde 598
 HALL-Spannung 597
 HALL-Widerstand 598
 Hangabtriebskraft 66
 Hauptdispersion 361
 Hauptebene 371
 Hauptquantenzahl 675, 679, 688
 Hauptsatz, nullter 256
 –, erster 274
 Hauptschale 688
 Hauptschnitt 405
 Hauptstrahl 348, 368
 Hauptträgheitsachsen 127, 130
 Hauteffekt 590
 Hebelgesetz 116
 Heber 142
 Heißleiter 448
 Heizung, indirekte 634
 Hellempfindlichkeit 423
 Hellempfindlichkeitsgrad, spektraler 423
 Henry 532
 Hintergrundstrahlung 421
 Hitzdrahtsonde 238
 Höhenstrahlung 770
 Hörfläche 249
 Hörgrenze, obere 237
 Hörschall 237
 Hörschwelle 248
 Hohlraumstrahler 414
 Hohlspiegel 346
 Holografie 400
 Hologramm 400, 401
 HOOKEsches Gesetz 68, 225
 Hubarbeit 88
 Hüllkurvenverlauf 188
 HUNDSche Regel 689
 HUYGENS-FRESNELSches Prinzip 233
 HUYGENSches Prinzip 232
 Hydratisierung 620
 hydrostatisches Paradoxon 151
 Hyperladung 778
 Hyperonen 770, 776
 Hyperschall 237
 Hystereseverluste 518, 572
 Hysteresis 516, 517
 Immersionsflüssigkeit 399
 Impedanz 557
 Impedanzwandler 615
 Impuls 103, 182
 – eines Elektrons 661
 –, relativistischer 653
 – von Lichtquanten 659
 Impulsmasse 653, 657, 659
 Impulsrate 716, 740
 Impulssatz 107
 Impulsunschärfe 665
 Induktion, elektromagnetische 510, 523
 –, transformatorische 523
 Induktionsgesetz 523, 525
 Induktionsquellenspannung 523
 Induktionsspannung 523
 Induktionsstromstärke 523
 Induktionsvorgänge 523
 – in bewegten Leitern 527
 Induktivität 532, 533
 Inertialsystem 38, 61, 69
 Influenz 468
 Infrarotfotografie 413
 Infraschall 237
 inkohärent 228
 Innenpolmaschine 548
 innere Quantenzahl 682
 Instrumente, optische 378
 Intensität 695
 Interferenz 229
 – des Lichtes 384
 Interferenzbedingung 387
 Interferenzen
 –, gleicher Dicke 391
 –, gleicher Neigung 387
 Interferenzerscheinungen 384, 660
 Interferenzlinie 388
 Interferenzmaximum 388, 395
 Interferenzmethoden 392
 Interferenzmikroskop 393
 Interferenzminimum 388, 395
 Interferometer 392
 Internationales Einheiten-system 24
 Intervall 189
 Inversionsdichte 604
 Ionenbeweglichkeit 620, 622

- Ionendosis 751
 Ionendosisleistung 751
 Ionendosisrate 751
 Ionenleitung 620
 Ionenzahl 624
 Ionisationsäquivalent 751
 Ionisationskammern 745
 Ionisierungsenergie 678, 687, 701
 irreversibel 310
 Isolator 441, 493
 Isolierschicht-FET 618
 Isospin 777
 Isotherme 280
 Isotope 723
 JOSEPHSON-Effekt 595
 Joule 85
 JOULE-THOMSON-Effekt 320
 Kältemaschine 306
 Kalkspat 405
 Kalorie 269
 Kalorimeter 272
 Kaltkathodenröhre 631
 Kaltleiter 448
 Kamera 378, 380
 Kanadabalsam 406
 Kanalstrahlen 633
 Kaon 770
 Kapazität 484, 493
 – der Erde 487
 Kapazitätsdiode 611
 Kapillardepression 146
 kartesisch 39
 Kationen 620
 Kathodenstrahlen 633
 Kathodenstrahlröhre 640
 Kavitation 254
 KELVIN-Skala 262
 Kelvin-Temperatur 256
 Kennkreisfrequenz 196, 197
 Kennlinienfeld 615
 Kermaleistung 750
 Kermarkate 750
 Kernart 674, 711, 723
 Kernbindungskräfte 729
 Kernbrennstoff 763
 Kernenergie 757
 Kernfotoeffekt 734
 Kernfusion 631, 766
 –, gesteuerte 767
 –, thermonukleare 766
 Kernkräfte 728
 Kernkraftwerk 764
 Kernladungszahl 674
 Kernmagneton 672
 Kernmodelle 728
 Kernradius 670
 Kernreaktionen 732, 737
 Kernreaktor 737, 762, 763
 Kernspaltung 734, 757, 758
 Kernspaltungswaffe 762
 Kernspurplatten 747
 Kernstrahlung 710
 –, Nachweis 745
 Kernumwandlungen 710, 732, 734
 KERR-Effekt 406
 Kilogramm 27
 Kilowattstunde 85
 Kinematik 37
 Kinetik 37, 114, 125
 KIRCHHOFFSche Gesetze 449
 KIRCHHOFFSches Strahlungsgesetz 415
 Klangfiguren 216
 Kleinsignalverstärker 614
 Klemmenspannung 455
 Knotenpunkt 449
 Knotensatz 449
 Koaxialkabel 487
 Körper, grauer 414
 –, nichtschwarzer 414
 –, schwarzer 414
 –, starrer 38, 113
 Körperfarben 435
 Körperschall 237
 Koerzitivfeldstärke 517
 kohärent 228
 Kohärenzbedingung 387
 Kohärenzlänge 386
 Kohärenzzeit 386
 Kohäsionsdruck 143
 Kohäsionskräfte 142
 Kollektor 612
 Kollektorschaltung 613, 615
 Kollektorstromstärke 613
 Kollimator 363
 Koma 377
 Kommutator 529
 Kompensation der Blindleistung 569
 Komplementärfarben 434
 Komponenten 39
 Kompressibilität 150
 Kompressionsmodul 150
 Kondensator 465
 –, Schaltung 487
 Kondensieren 324
 Kondensstreifen 333
 Konduktanz 445, 560
 Konduktivität 445
 Konkavlinsen 365
 Kontinuitätsgleichung 162
 Kontinuum 218
 Konvektion 334
 Konversion, innere 715
 Konvexlinsen 365
 Konvexspiegel 351
 Koordinaten 39
 Koordinatensystem 38
 Korpuskel 641
 Korpuskulartheorie 339
 Korrelationskoeffizient 35
 Korrespondenzprinzip 675, 678
 kosmische Geschwindigkeit, erste 82
 –, zweite 96
 Kräfte, eingeprägte 70
 –, innere und äußere 114
 –, Scheinkräfte 70
 Kräftegleichgewicht, am starren Körper 122
 Kräftepaar 113, 125
 Kräftepolygon 65
 Kräftesystem, ebenes 115
 Kraft 61
 – auf einen Stromleiter im Magnetfeld 536
 – auf einen Dipol 476
 – auf einen stromführenden Leiter 534
 – im Magnetfeld 533
 – zwischen stromführenden Leitern 540
 – zwischen zwei Punktladungen 474
 Krafteck 65

- Kraftfelder 82
 Kraftstoß 104
 Kreis, magnetischer 520, 522
 Kreisbewegung 55
 Kreisel 129
 Kreiselkompaß 133
 Kreisfrequenz 183, 548
 Kreisprozeß 303
 Kreiswellenzahl 221
 Kristalle, piezoelektrische 497
 Krümmungsmittelpunkt 346
 Krümmungsradius 346
 Kugelfehler 376
 Kugelkondensator 485
 Kupferverluste 572
 Kurzschlußstromstärke 463
 Ladekapazität 628
 Ladevorgang eines Kondensators 492
 Ladung 463, 464, 628
 –, elektrische 440, 441
 –, spezifische 637
 Ladungsquantenzahl 771, 777
 Ladungstrennung 468
 Längenausdehnung 257
 Längenausdehnungskoeffizient 257
 Längeneinheit 26
 Längenkontraktion 652
 Längen Kürzung, relativistische 652
 Lageenergie 94
 LAMBERT-Strahler 425, 431
 LAMBERTSches-Gesetz 426
 Laser 705
 Laserdiode 709
 Lautstärke 249
 Lautstärkepegel 249
 LCD-Anzeige 407
 LDR-Widerstände 448
 Lebensdauer, mittlere 718
 LECLANCHÉ-Element 626
 Leerlaufspannung 455
 Leistung 91, 98
 –, elektrische 462
 – im Drehstromkreis 578
 – im Wechselstromkreis 565
 –, mittlere 91
 –, momentane 91
 –, Momentanwert bei Rotation 128
 Leistungsdiagramm 569
 Leistungsfaktor 567, 568
 Leistungsverstärker 614, 615
 Leiter 441
 –, metallische 593
 Leiterspannung 576, 578
 Leitfähigkeit 445, 607
 Leitung, elektrische 629
 – im Vakuum 633
 – in Elektrolyten 620
 – in festen Körpern 591
 –, unipolare 592
 Leitungsband 700, 701
 Leitungselektronen 593, 701
 Leitungsspannung bei Sternschaltung 577
 Leitungsstromstärke 577
 – bei Dreieckschaltung 577
 Leitungsverluste 454
 Leitwert, elektrischer 445
 Leptonen 770, 771, 773
 Leptonenzahl 777
 LET 752
 Leuchtdichte 428
 Leuchtdiode 648
 Licht 339
 –, elliptisch polarisiertes 404
 –, linear polarisiertes 403
 –, monochromatisches 362
 –, natürliches 403
 –, physiologische Wirkungen 423
 –, ultrarotes 339
 –, ultraviolettes 339
 –, zirkular polarisiertes 403
 Lichtausbeute 428
 Lichtausstrahlung, spezifische 427
 Lichtemitterdiode 612, 703
 Lichtgeschwindigkeit 339, 343, 588
 Lichtleitung 357
 Lichtmenge 427
 Lichtquanten 641, 642
 Lichtquantenhypothese 340, 659
 Lichtstärke 424
 Lichtstärkeverteilungsdiagramm 425
 Lichtstrahl 342
 Lichtstrom 426, 428
 Lichtstromabnahme 432
 Lichtwellenleiter 357
 Lichtzeiger 344
 linear-elastisch 68
 Linearbeschleuniger 735
 Linienbreite 386
 Liniendiagramm 552
 Linienspektrum 362, 694
 Linke-Hand-Regel 535
 Linsen, dicke 371
 –, dünne 365
 –, sphärische 365
 –, vergütete 390
 Linsenfehler 375
 Linsensysteme 372
 LISSAJOUS-Figuren 192
 logarithmisches Dekrement 202
 longitudinal 218
 LORENTZ-Kraft 533, 597, 636
 LORENTZ-Kraft-Gesetz 509
 –, vollständiges 637
 LORENTZ-Transformation 650–652
 LOSCHMIDT-Konstante 289
 Luftdruck 148, 154
 Luftfeuchtigkeit 331
 Luftschall 237
 Luftverflüssigung 321
 Luftwiderstand 89
 Lumen 426
 Lumineszenz 341
 Lumineszenzdiode 612, 648
 Lupe 380
 Lux 430
 Magnet, Dauermagnet 499
 –, permanenter 499
 –, Zugkraft 543
 Magnetfeld 499, 500
 – der Erde 499
 Magnetisierung 514
 Magnetisierungskurve 516
 Magnetismus 499
 Magnetkompaß 499
 Magnetometer 502

- Magnetquantenzahl 681
 Manometer 148
 –, Flüssigkeitsmanometer 153
 Masche 449
 Maschensatz 449, 450
 Masse 61
 –, molare 266, 593
 –, schwere 77
 –, träge 62
 Masse eines Atoms 669
 Masse-Energie-Beziehung 654
 Masseinheit 27
 Massendefekt 724
 Masseneinheit, atomare 288, 668
 Massenmittelpunkt 111, 122
 Massenpunkt 38
 Massenschwächungskoeffizient 739
 Massenspektrometer 637
 Massenträgheitsmoment 100
 – eines Hohlzylinders 102
 – eines homogenen Kreis-
 zylinders 100
 Massenzahl 674
 Massenzunahme, relativisti-
 sche 653, 656
 Materialgleichungen 588
 Materiewellen 659
 Materiewellenlänge 660
 MAXWELL-Verteilung 600
 MAXWELLSche Geschwindig-
 keitsverteilung 295
 MAXWELLSche Gleichungen 586
 –, erste MAXWELLSche Glei-
 chung 587
 –, zweite MAXWELLSche
 Gleichung 588
 Medium, isotropes 219
 –, optisch isotropes 405
 Mehrelektrodenröhren 638
 Mehrphasenkernwaffen 767
 MEISSNER-OCHSENFELD-
 Effekt 595
 Meniskus 146
 Mesonen 729, 772, 774, 775
 Meßbereichserweiterungen 457
 Meßergebnis 29
 Meßgröße 28
 Messung 28
 –, spannungsrichtige 460
 –, stromstärkerichtige 460
 Meßunsicherheit 29
 – des Mittelwerts 32
 Meßwert 28
 Meter 26
 MHD-Generator 631
 MICHELSON-Interferometer 392
 MICHELSON-Versuch 649
 Mikrofon 242
 Mikroskop 383, 399
 MILLIKAN-Versuch 475, 645
 Mischelemente 723
 Mischfarben 435
 Mischtemperatur 271
 Mittelpunktleiter 578
 Mittelwert einer Meßreihe 31
 Mittenkreisfrequenz 188
 Moderator 763
 moduliert 188
 Mol 266
 Moleküldurchmesser 289
 Molekülmasse 288
 Moment, elektromagnetisches 513
 –, magnetisches 512
 –, magnetisches, einer
 Leiterschleife 537
 –, magnetisches, nach
 AMPÈRE 513
 –, magnetisches, nach
 COULOMB 512
 Momentanleistung 566
 Momentanwert der Leistung
 bei Rotation 128
 – der Wechselspannung 548
 – der Wechselstromstärke 548
 Momentengleichgewicht am
 starren Körper 122
 Monochromator 362
 MOSELEYSches Gesetz 697
 MOSFET 618, 619
 Myon 770
 Nachtsehen 424
 Nebenquantenzahl 679, 689
 Nebenschlußmaschine 531
 Nebenschlußmotor 538
 Nebenwiderstand 457
 Neptunium-Reihe 722
 Netzhaut 379
 Netzwerk 449
 Neutralleiter 578
 Neutrino 713, 770, 771
 Neutron 668, 669, 733
 Neutronen, langsame 662
 –, thermische 662
 Neutronenbeugung 660
 Neutronenzahl 674
 Newton 63
 NEWTONS Gravitationsgesetz 78
 NEWTONSche Ringe 391
 NEWTONSches Bewegungsgesetz, zweites 64
 NEWTONSches Reibungsgesetz 170
 Nichtleiter 441, 492
 NICOLSchen Prisma 406
 n-Leitung 606
 NORBERT-Gitter 397
 Nordpol 499
 Normalatmosphäre 156
 Normaldruck 148
 Normalelektrode 625
 Normalelement 627
 Normalkomponente 49
 Normalspektren 397
 Normalverteilung 30
 Normfallbeschleunigung 51
 Normfarbtafel 438
 Normvolumen, molares 267, 294
 Normzustand 267
 NTC-Widerstände 448, 605
 Nukleonen 669, 672, 775
 Nuklid 674, 711
 Nuklide, isobare 724
 –, isomere 724
 –, isotone 724
 –, isotope 723
 –, natürliche radioaktive 722
 Nullphasenwinkel 183
 Nullpunkt, absoluter 263, 293
 Nullpunktenergie 667
 Nutation 134

- Oberflächenaktivität 720
 Oberflächenenergie 144
 –, spezifische 144
 Oberflächenspannung 143
 Oberschwingungen 190
 Objektiv 380, 381
 Objektisch 383
 Öffnung, relative 380
 Öffnungsverhältnis 380
 Ohm 445
 Ohmscher Widerstand 551
 OHMSches Gesetz 448, 594
 Okular 381
 Optik 339
 –, geometrische 341
 Optoelektronik 648
 Optokoppler 648
 Orbitale 686
 Ordnungszahl 674
 Orientierungspolarisation 494, 495
 Orientierungsquantenzahl 681
 Ortsunschärfe 665
 Ortsvektor 39
 Oszillator 181
 –, freier harmonischer 195
 –, gedämpfter 201
 Oszillator, harmonischer, Eigenfrequenz 202
 Oszillatoren, gekoppelte 209
 Oszillatorkette 211
 Oszillatorschaltungen 581
 Oszillografenröhre 635, 640
 OTTO-Motor 303
 p-Leitung 606
 Paarbildung 603, 714, 715, 743, 770, 771
 PAPINScher Topf 329
 Parabolspiegel 347
 Parallelresonanz 563
 Parallelschaltung 451
 –, Ersatzkapazität 488
 –, gleicher Spannungsquellen 456
 – von Wechselstromwiderständen 559
 Parallelstrahl 347, 368
 Parallelverschiebung des Lichtstrahls 355
 Parallelversetzung 354
 Paramagnetismus 520
 Pascal 147
 PAULI-Prinzip 596, 599, 687, 700, 731
 PAULISChe Auswahlregel 692
 PELTIER-Effekt 602
 Pendel, mathematisches, Periodendauer 198
 Pendel, physisches 198
 Pentagonprisma 345
 Pentode 639
 Periodendauer 182, 548
 Periodensystem der Elemente 673
 Periodizität 182
 permanenter Magnet 499
 Permeabilität 514
 Permeabilitätszahl 354, 513, 519
 Permittivität 354, 493
 Permittivitätszahl 446, 492
 Perpetuum mobile 1. Art 274
 Perpetuum mobile 2. Art 318
 Phasenbeziehung 575
 Phasengeschwindigkeit 221, 360, 588
 Phasenverschiebung 548, 553, 554, 557, 572
 Phasenverschiebungswinkel 575
 Phasenwinkel 183
 Phasenwinkelbeziehung 559
 Phasenwinkelspektrum 190
 Phon 250
 Phosphoreszenz 341, 704
 Photon 641, 642, 772
 Photovoltaik 645
 Piezoeffekt 496
 –, reziproker 496
 Pion 729, 770
 PITOT-Rohr 168
 PLANCK-Konstante 420, 642, 645
 PLANCKSches Strahlungsgesetz 420
 PLANCKSches Wirkungsquantum 420, 642, 666
 Planetengesetze 78
 Planetenmodell 674
 Plankonkavlinse 368
 Plasma 631
 Platte, planparallele 354
 Plattenkondensator 484, 490
 Plattensatzpolarisator 404, 405
 pn-Übergang 607
 PÖCKELS-Effekt 406
 Polarisation 218, 404
 – des Lichtes 403
 –, dielektrische 494
 –, elektrolytische 626
 –, magnetische 514
 Polarisationsebene 403
 Polarisationseffekte 405
 Polarisationsrichtung 404
 Polarisationsfilter 406
 Polarisationsgeräte 406
 Polarisationsgrad 406
 Polarisationsladungen 495
 Polarisationswinkel 404
 Polarisator 406
 Polarisierbarkeit 494
 Polarkoordinaten 55
 Polstärke 512
 Polytropenexponent 285
 Positron 714, 770
 Positronenstrahlung 736
 Potential 477
 – einer Punktladung 480
 – eines Dipols 483
 –, elektrisches 444, 478
 – im homogenen Feld 479
 Potentialdifferenz 444, 479
 Potentialtopf 598
 Potentialtopfmodell 730
 POYNTINGscher Vektor 589
 Präzession 130
 PRANDTLsches Staurohr 168
 Primärkreis 572
 Primärspannung 571
 Primärvalenzen 436
 Prisma 356
 –, achromatisches 361
 Prismenfernrohr 382
 Projektor 380
 Proton 668, 669, 770
 Psychrometer 333
 PTC-Widerstände 448

- Pulsschwingung 182
 Pumpprozeß 707
 Punktladung 480
 Pyrometer, fotoelektrisches 422
 Qualitätsfaktor 752
 Quanten 642, 772
 Quanten-HALL-Effekt 598
 Quantenbedingung 675
 Quantenmechanik 679, 683
 Quantenphysik 642
 Quantenzahlen 679, 682, 685, 687, 771, 777
 Quarks 771, 774
 Quarzkristall 496
 quasistatisch 280
 Quellenfeld, wirbelfreies 467
 Quellenspannung 443
 –, induzierte 524
 Rad 751
 Radialbeschleunigung 60
 Radiant 55
 Radioaktivität, künstliche 710
 –, natürliche 710
 Radionuklide, künstliche 736
 Radioteleskop 586
 Radiusvektor 55
 Randspannung, magnetische 504
 Rasterelektronenmikroskop 663
 Raumladung 607
 Raumladungszone 646
 Raumwinkel 409
 RAYLEIGH-Scheibe 238
 Reaktanz 559
 –, kapazitive 554
 Reaktionsenergie 726
 Reaktionskräfte 68, 114
 Reaktionsprinzip 67
 reale Gase 319
 Rechte-Hand-Regel 527
 Rechtsschraubenregel 500
 Rechtssystem 39
 Referenzwelle 401
 Reflexion 110, 232, 234, 343, 413
 Reflexionsgesetz 110
 Reflexionsgrad 246, 413, 431
 Refraktion 352
 Regel von DULONG-PETIT 300
 – von LENZ 526
 – von STOKES 704
 Regression 34
 Reibung, äußere 73
 –, innere 73, 169
 Reibungsarbeit 88
 Reibungselektrizität 498
 Reibungszahl 74
 Reihenresonanz 562
 Reihenschaltung 452
 –, Ersatzkapazität 489
 – gleicher Spannungsquellen 456
 – von Wechselstromwiderständen 556
 Reihenschlußmaschine 531
 Reihenschlußmotor 538
 Reinabsorptionsgrad 432
 Reinelemente 723
 Reintransmissionsgrad 432
 Rekombination 604, 703
 Rekombinationsrate 604
 Rekonstruktionswelle 401
 Relativitätstheorie, allgemeine 77
 –, spezielle 649
 Relaxationsprozeß 707
 Remanenzflußdichte 517
 Resistanz 445, 551
 Resistivität 445
 Resonanz 206, 213
 – im Wechselstromkreis 562
 Resonanzabsorption 675
 Resonanzbedingung 213, 562
 Resonanzfluoreszenz 675
 Resonanzfrequenz 206, 562
 Resonator 206
 Restflußdichte 517
 Resultierende 65
 REYNOLDSSche Zahl 178
 RICHARDSON-Gleichung 634
 Richtmoment 197
 Richtungsquantelung 681
 Ringspule 501, 503
 Röhrenkennwerte 639
 Röntgen 751
 Röntgenbremsstrahlung 694, 696
 Röntgenfluoreszenzanalyse 698
 Röntgenfluoreszenzstrahlung 663, 741
 Röntgenkleinwinkelstreuung 699
 Röntgenröhre 693
 Röntgenspektroskopie 698
 Röntgenspektrum 694
 Röntgenstrahlung 693
 –, charakteristische 694, 696, 697
 Rollreibung 76
 Rollwiderstand 76
 Rotation 37, 112, 136
 Rotationsenergie 99
 ROWLAND-Gitter 397
 Rubinlaser 707
 Rückkopplung 582
 Rückstellkraft 195
 Rückstellmoment 197
 Ruhereibung 74
 Ruhereibungszahl 74
 Ruhmasse 653, 657
 RYDBERG-Frequenz 677, 698
 Sättigungsmenge 331
 Sättigungspolarisation 517
 Sättigungssperrstromstärke 610
 Saite, schwingende 213
 Sammellinsen 365
 Satelliten-Antenne 585
 Satz, GAUSSscher 473
 – von STEINER 139
 Schalenmodell 730
 Schall 237
 Schallausschlag 237
 Schalldruck 241
 Schalldruckpegel 245
 Schalleistung 242
 Schalleistungsdichte 242
 Schallenergiegedichte 243
 Schallfeld 237
 Schallgeschwindigkeit 238
 schallhart 247
 Schallintensität 242
 Schallintensitätspegel 245
 Schallkennimpedanz 241

- Schallschnelle 238
 Schallstrahlungsdruck 244
 schallweich 247
 Schallwellen 237
 Schaltkreis 612
 –, integrierter 617
 Schaltung von Kondensatoren 487
 Scheinkräfte 70
 Scheinleistung 567, 568, 578
 Scheinleitwert 560, 562
 –, komplexer 574
 Scheinwiderstand 557, 559
 –, komplexer 574
 Scheitel 346
 Scheitelpunkte 366
 Scheitelstrahl 348
 schiefe Ebene 66
 Schleusenspannung 608, 609
 Schmelzen 322
 Schmelzfluß-Elektrolyse 622
 Schmelzwärme 323
 SCHRÖDINGER-Gleichung 684
 Schub 105
 Schwächungsfaktor 744
 Schwächungsgesetz 740
 Schwächungskoeffizient 695
 –, linearer 739, 743
 Schwebungen 187
 Schwebungsdauer 187
 Schwebungsfrequenz 188
 Schweredruck 149, 150, 164
 Schwerelinie 124
 Schwerependel 198
 –, Periodendauer 198
 Schwerkraft 77
 Schwerpunkt 122
 Schwingkreis 579, 580
 –, offener 583
 Schwingungen 181
 –, Biegeschwingungen 216
 –, Drehschwingung 194
 –, elektromagnetische 579
 –, elliptische 193
 –, erzwungene 203
 –, harmonische 183, 184
 –, longitudinale 212
 – mit mehreren Freiheitsgraden 192
 –, Sinusschwingung 183
 –, transversale 212
 –, ungedämpfte 579
 –, zirkulare 194
 –, zusammengesetzte 187
 Sehschärfe 379
 Sehweite 378
 Sehwinkel 378
 Seilreibung 75
 Sekundärelektronen 663
 Sekundärelektronen-Vervielfacher 643, 748
 Sekundäremission 634
 Sekundärkreis 572
 Sekundärspannung 571
 Sekundärstromstärke 571
 Sekunde 28
 Selbsterregung 531
 Selbstinduktion 523, 531
 Serienschaltung 452
 Shunt 457
 SI 24
 Sieden 324
 Siedepunktserhöhung 326
 Siemens 445
 Sievert 753
 Signalwelle 401
 Silicium 602
 Silicium-Planartechnik 646
 Sinkgeschwindigkeit 173
 Sinusschwingung 183, 581
 Skalarfelder 466
 Skalarprodukt 91
 Skineffekt 590
 Solarbatterie 647
 Solarkonstante 411
 Solarzellen 645
 Source 618
 Spannkraft 89
 Spannung 443, 477, 479, 510
 –, elektrische 443
 –, magnetische 504, 520
 –, mechanische 214
 Spannungen bei Dreieckschaltung 577
 Spannungsabfall 443, 444
 –, äußerer 455
 –, innerer 455
 Spannungsmeßgerät 444
 Spannungsnormal 627
 Spannungsprüfer, optischer 408
 Spannungsquellen 443
 Spannungsreihe, thermoelektrische 601
 Spannungsresonanz 562
 Spannungsstoß 510
 Spannungsteiler 458
 –, belasteter 459
 –, unbelasteter 459
 Spannungsverstärker 614
 Speicherringe 637, 736
 Spektralfarben 360, 434
 Spektrallinien des Wasserstoffs 676
 Spektrometer 363
 Spektroskopie 364
 Spektrum 360, 362
 –, kontinuierliches 362
 Sperrichtung 608, 612
 Sperrschicht 608, 646
 Sperrschicht-Detektor 612
 Sperrspannung 609
 Sperrstromstärke 608
 Spiegel, ebener 343
 –, gekrümmter 346
 –, sphärischer 346
 Spiegelgalvanometer 344
 Spiegeloptik 350
 Spiegelteleskop 382
 Spin 599, 671, 672, 681
 Spinmomente 518
 Sprungtemperatur 594
 Spulenstrom 576
 Spurdetektoren 747
 Stabdosisimeter 746
 Standardabweichung 30
 Standardabweichung einer Meßreihe 31
 STARK-Effekt 680
 Statik 37, 114
 Staudruck 164
 Staupunkt 164
 STEFAN-BOLTZMANN-Konstante 418
 STEFAN-BOLTZMANNsches Strahlungsgesetz 418
 Steighöhe, kapillare 145

- Steighöhenmethode 145
 Steradian 409
 STERN-GERLACH-Versuch 681
 Sternpunktleiter 578
 Sternschaltung 577
 Störleitung 606
 Stoffe, diamagnetische 514, 519
 –, dielektrische 496
 –, ferrimagnetische 518
 –, ferroelektrische 496
 –, ferromagnetische 514
 –, hartmagnetische 518
 –, paraelektrische 496
 –, paramagnetische 514, 519
 –, radioaktive 710
 –, weichmagnetische 518
 Stoffmenge 266, 623
 STOKESSches Gesetz 173
 Stoß, elastischer 107
 –, gerader 107
 –, schiefer 107
 –, unelastischer 108
 –, zentraler 107
 Stoßionisation 631
 Stoßvorgänge 106
 Stoßzahl 301
 Strahlantrieb 104
 Strahlendichte 410
 Strahlenbelastung, äußere 749
 –, innere 749
 –, zivilisatorische 754
 Strahlenbündel 219, 342
 Strahlenoptik 342
 Strahlenschutzmaßnahmen 753
 Strahler, schwarzer 414
 Strahlstärke 409, 410
 Strahlung, direkt ionisierende 741
 –, indirekt ionisierende 741
 –, kosmische 770
 Strahlungsäquivalent, fotometrisches 426
 –, spektrales fotometrisches 427
 Strahlungsdetektoren 408
 Strahlungsdruck 412, 643, 654, 655
 Strahlungsenergie 408
 Strahlungsenergiedichte 412
 Strahlungsfeld 408
 Strahlungsfluß 409, 418
 Strahlungsflußdichte 409, 589, 642, 749
 – der Sonnenstrahlung 411
 Strahlungsgesetze 408
 Strahlungsgleichung 409
 Strahlungsleistung 409
 Strahlungsthermometrie 257
 Strangspannung 576–578
 Strangstrom 576
 Strangstromstärke 577
 Streuung, elastische 733
 –, unelastische 733
 Strömungen 160
 –, Geschwindigkeitsfeld 160
 –, laminare 171
 Strömungsfeld 160
 Strömungswiderstand 175
 Strom, elektrischer 441
 Stromdämmfaktor 458
 Stromdichte, elektrische 442
 Stromkreis, unverzweigter 452
 –, verzweigter 450
 Stromlinien 160
 Stromresonanz 563
 Stromröhre 161
 Stromstärke, elektrische 441, 442, 541, 592
 Stromstärke-Spannungskennlinie 448
 Stromstärkemeßgeräte 441
 Stromstärken, bei Sternschaltung 577
 Stromverstärker 615
 Stromverstärkungsfaktor 613–615
 Stromverzweigung 449
 Strukturzelle 496
 Stufenindexfasern 358
 Sublimation 326
 Südpol 499
 Superpositionsprinzip 65, 225
 Supraleiter 595, 596
 Supraleitung 594, 596
 Suszeptanz, kapazitive 560
 Suszeptibilität, elektrische 494
 –, magnetische 514, 519
 Synchrotron 637, 736
 Synchrozyklotron 736
 Synthese, harmonische 190
 System, abgeschlossenes 97
 Szintillationszähler 748
 Szintillator 748
 T-Optik 390
 Tagsehen 424
 Tangentialkomponente 49
 Taupunkt 332
 Taupunktmesser 333
 Teilchenbeschleuniger 735
 Teilchenmodell 643
 Teilchenstrom 750
 Teilchentheorie 339
 Teilchenzahl 288
 Telegraphengleichungen 590
 Temperatur 255
 –, schwarze 422
 Temperaturkoeffizient 445, 447
 Temperaturleitfähigkeit 336
 Temperaturmessung 601
 Temperaturstrahler 341
 Temperaturstrahlung 412
 –, spektrale Verteilung 419
 Termschema des Wasserstoffs 677
 Tesla 511
 Thermistor 605
 Thermocolor 257
 Thermoelement 257, 601
 Thermometer 255
 Thermospannung 601
 THOMSONSche Schwingungsformel 580
 Thorium-Reihe 721
 Thyristor 616
 Top-Quark 736, 769
 TORRICELLISches Ausflußgesetz 166
 Torsionswellen 237
 Totalreflexion 236, 357
 Trägerwelle 227
 –, modulierte 227
 Trägheitsgesetz 61
 Trägheitskräfte 69
 Transformator 571
 Transistor 612

- Translation 37, 111, 136
 Translationsbeschleunigung
 69, 125
 – eines rollenden Körpers 138
 Transmission 413
 Transmissionsgrad 413, 431
 Transurane 737, 757, 764
 transversal 218
 Triode 638
 Tripelpunkt 256, 330
 Tritium 724
 Trockenbatterie 627
 Tröpfchenmodell 671, 729
 Trommelanker 530
 Tubus des Mikroskops 383
 Tunneldiode 611
 Tunneleffekt 731
 Turbulenz 176
 Überdruck 153
 Überlagerung 185
 Überlagerung von Kräften 65
 Überlagerung von Wellen 228
 Übersetzungsverhältnis des
 Transformators 572
 ULSI-Technik 617
 Ultraschall 237, 253
 Umdrehungsdauer 58
 Umlaufspannung, magnetische
 504, 520
 Umwandlung, radioaktive 711
 Umwandlungsreihen 720
 Unbestimmtheitsrelation 663,
 666
 Unipolar-Transistor 617
 Unschärfe 665
 Unschärfebeziehung 663, 666,
 667
 Unterdruck 153
 Unterschale 689
 Uran-Aktinium-Reihe 722
 Uran-Radium-Reihe 721
 Vakuum 148
 Vakuumlichtgeschwindigkeit
 343
 Valenzband 700, 702
 Valenzelektron 679, 701
 VAN-DER-WAALSsche
 Zustandsgleichung 319
 Varistoren 448
 VDR-Widerstände 448
 Vektor, axialer 121
 –, freier 39
 –, gebundener 39
 –, liniengebundener 115
 –, Ortsvektor 39
 Vektoraddition 40
 Vektorfelder 83, 466
 Vektorprodukt 121
 Vektorsubtraktion 40
 Verarmungstyp 618
 Verdampfen 324
 Verdunsten 324
 Verdunstungskälte 325
 Verformungsarbeit 89
 Vergrößerung 380
 Verkettung 575
 Verlustwinkel 561
 Verschiebungsarbeit 88
 – im Gravitationsfeld 90
 Verschiebungspolarisation 494,
 495
 Verschiebungsstrom 586
 Verstärkerstufe 615
 Versuch von GAY-LUSSAC 277
 Verteilungsfunktion 29
 Vertrauensbereich 29
 Verzeichnungen 377
 Verzögerung 46
 VENTURI-Rohr 167
 Vielfachmeßgerät 458
 Vierschichtdiode 616
 Viskosimeter von ENGLER 179
 Viskosität 170
 –, kinematische 179
 VLSI-Technik 617
 vollständiges LORENTZ-Kraft-
 Gesetz 637
 Volt 443
 VOLTA-Element 626
 Volumen, molares 267
 Volumenarbeit 275
 –, isotherme 281
 Volumenausdehnung 259
 Volumenausdehnungs-
 koeffizient 259
 Volumenkonzentration 592,
 593
 Volumenstrom 162
 VON-KLITZING-Effekt 598
 Vorgänge, irreversible 308
 –, reversible 308
 Vorsätze 25
 Vorschaltwiderstand 458
 Vorverstärker 614
 Vorwiderstand 458
 Vorzeichenfestlegungen 348
 Vorzeichenregeln 366
 Waage, hydrostatische 158
 Wärme 269
 –, latente 322
 Wärmedurchgang 337
 Wärmedurchgangskoeffizient
 338
 Wärmekapazität 272, 298
 –, molare 270, 278, 298, 300
 –, spezifische 270, 278, 298,
 300
 Wärmekraftmaschine 303
 Wärmelehre 255
 Wärmeleitfähigkeit 335
 Wärmeleitung 334
 Wärmepumpe 306
 Wärmerohr 325
 Wärmestrahlung 412
 Wärmestrom 335
 Wärmeübergang 337
 Wärmeübergangskoeffizient
 337
 Wahrscheinlichkeitsdichte 30
 Wahrscheinlichkeitsverteilung
 29
 Wanderwelle 218
 Wandler, elektromechanische
 497
 Wasserstoff-Elektrode 625
 Wasserstoffatom 674, 679
 Wasserstrahlpumpe 167
 Watt 91
 Wattsekunde 91
 Weber 511
 WEBER-FECHNERSches
 Gesetz 249
 Wechselspannung, sinusför-
 mige 547, 548
 Wechselstromgenerator 548
 Wechselstromkreis 547
 Wechselwirkung 67, 769, 778

- , elektromagnetische 475, 499, 779
- , schwache 779
- , starke 728, 779
- Weg-Zeit-Gesetz 42
- Wege, optische 386
- Weglänge, mittlere freie 302
- WEISSsche Bezirke 518
- Welle-Teilchen-Dualismus 341
- Wellen 181
 - , Ausbreitungsrichtung 218
 - , ebene 218
 - , einfache 219
 - , elektromagnetische 339, 579, 585
 - , freie elektromagnetische 583
 - , fortschreitende 218
 - , harmonische 220
 - , kohärente 384
 - , Kugelwelle 218
 - , stehende 218, 230
 - , Wellenflächen 218
 - , Wellenfronten 218
 - , Zylinderwelle 218
- Wellenfunktion 219, 221, 684
- Wellengleichung 220, 684
- Wellengruppe 225, 664
- Wellenlänge 222
- Wellenmechanik 684
- Wellenmodell 643
- Wellenpaket 225, 664
- Wellentheorie 641
- Wellentheorie des Lichtes 339
- Wellenwiderstand 241
 - einer Leitung 590
 - des Vakuums 589
- Wellenzahl 665
- WESTON-Normalelement 444
- WHEATSTONESche Brückenschaltung 461
- Widerstände im Wechselstromkreis 551
- Widerstand, äußerer 455
 - , differentieller 449, 610
 - , elektrischer 445, 447
 - , innerer 456
 - , linearer 448
 - , magnetischer 520
- , Messung 460
 - , spezifischer 445, 607
 - , spezifischer elektrischer 445, 605
- Widerstandsbeiwert 176
- Widerstandskraft 74
- Widerstandsthermometer 257
- WIEDEMANN-FRANZsches Gesetz 599
- Wiedergabewelle 401
- WIENSche Konstante 421
- WIENSches Verschiebungsgesetz 421
- WILSONSche Nebelkammer 747
- Winkel, brechender 356
- Winkelbeschleunigung, mittlere 57
 - , momentane 57
- Winkelgeschwindigkeit der Präzession 132
 - , mittlere 56
 - , momentane 56
- Winkelspiegel 345
- Wirbel 174
- Wirbelströme 529
- Wirbelstrombremse 529
- Wirbelstromdämpfung 529
- Wirbelstromverluste 529, 572
- Wirkleistung 207, 565, 567, 578
- Wirkleitwert 560
- Wirksamkeit, biologische 752
- Wirkstromstärke 567
- Wirkungsgrad 98
 - eines Stromkreises 462
 - , thermischer 306, 312
- Wirkungslinie 115
- Wirkungsquantum 420
- Wirkungsquerschnitt 301, 761
- Wirkwiderstand 551
- Wölbspiegel, sphärischer 351
- Wurfparabel 53
- Z-Diode 610
- Zähigkeit, dynamische 170
- Zählrohrkennlinie 746
- Zahl der Atome 669
- Zahnradversuch nach FIZEAU 343
- Zapfenreibung 75
- ZEEMAN-Effekt 680
- Zeigerdiagramm 552
- Zeitdehnung, relativistische 652
- Zeitdilatation 652
- Zeiteinheit 28
- Zeitkonstante 492
- Zelle 689
- ZENER-Effekt 610
- Zentrifugalkraft 71, 80
- Zentripetalbeschleunigung 60
- Zentripetalkraft 64
- Zerfall, radioaktiver 711
- Zerfallsgesetz 717
- Zerfallskonstante 717
- Zerfallsrate 716
- Zerfallsreihen 720
 - , natürliche 721
- Zerlegung des Lichtes 360
- Zerstäuber 166
- Zerstrahlung 714, 737, 743, 771
- Zerstreuungslinsen 365
- Zerstreuungspunkt 351
- Zirkularbeschleuniger 735
- Zoom-Objektive 380
- Zustand, angeregter 676
 - , kritischer 320
- Zustandsänderung, adiabatische 282
 - , isobare 277
 - , isochore 276
 - , isotherme 279
 - , polytrope 285
- Zustandsänderungen idealer Gase 276
- Zustandsgleichung des idealen Gases 265, 293
- Zwangskräfte 64
- Zweiplattenkondensator 465
- zweiter Hauptsatz der Wärmelehre 314
- Zwischenkern 759
- Zyklotron 637, 735
- Zylinderkondensator 485, 486
- Zylinderspule 501, 503