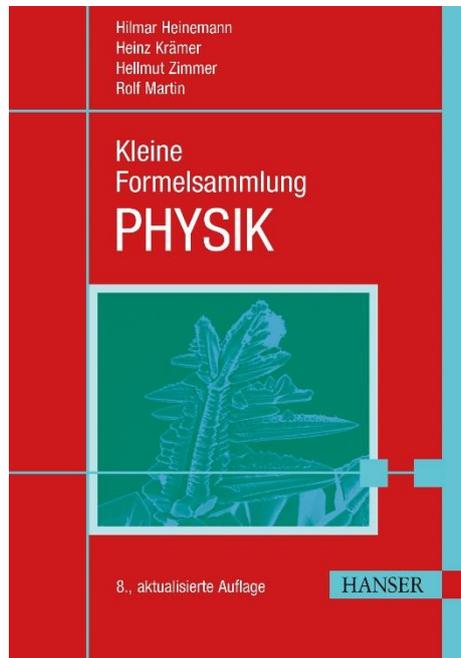


HANSER



Leseprobe

zu

Kleine Formelsammlung PHYSIK

von Hilmar Heinemann, Heinz Krämer, Hellmut Zimmer
und Rolf Martin

Print-ISBN: 978-3-446-47868-8
E-Book-ISBN: 978-3-446-47874-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446478688>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Die vorliegende „Kleine Formelsammlung“ enthält die wichtigsten Formeln ausgewählter Stoffgebiete der Physik, die beim Studium der Ingenieur- oder Naturwissenschaften an Hochschulen für Angewandte Wissenschaften und Universitäten sowie bei der Lösung physikalischer Probleme in der Praxis benötigt werden.

Diese Sammlung dient zum *Nachschlagen* bei Klausuren, zur *Unterstützung* beim Lösen physikalischer Übungsaufgaben im Grundstudium, zur *Auffrischung* von physikalischen Kenntnissen und zur *Erweiterung* des Überblicks bei der Prüfungsvorbereitung. Demzufolge ist sie vor allem für Studierende im Grundstudium mit Physik als Nebenfach sowie für Studierende des Lehramtes Physik gedacht.

Sie gibt aber auch Lehrern und Schülern der Abiturstufe einen Überblick über die grundlegenden Formeln in der Physik und Hilfe bei physikalischen Aufgabenstellungen.

Bei allen Formeln sind die auftretenden *Formelzeichen* erläutert und es werden Hinweise zur Verhütung von Missverständnissen gegeben. Dadurch dürfte diese „Kleine Formelsammlung Physik“ unmittelbar – ohne langes Lesen von Lehrbuchkapiteln – verständlich sein.

Bereits in der 7. Auflage wurde besonders darauf geachtet, dass die Formelzeichen der physikalischen Größen mit jenen des Buches „Physik in Aufgaben und Lösungen“ übereinstimmen. In der Elektrotechnik wurde die Wechselstromrechnung mit komplexen Zeigern aufgenommen; in der geometrischen Optik wurden konsequent die Vorzeichenregeln der DIN 1335 angewandt.

Inhalt

Vorwort	V
---------------	---

Allgemeine Grundlagen

1	Physikalische Größen und Internationales Einheitensystem (SI)	2
2	Physikalische Konstanten	7
3	Mess- und Beobachtungsfehler	9
4	Koordinaten und Vektoren	12

Mechanik

5	Kinematik	18
6	Newton'sche Axiome und Bewegungsgleichung ..	25
7	Kräfte verschiedenen Ursprungs	27
8	Arbeit, Energie, Leistung	31
9	Impulserhaltungssatz	35
10	Bewegung im Zentralfeld	40
11	Statik	43
12	Rotation starrer Körper	45

13	Beschleunigtes Bezugssystem	52
14	Spezielle Relativitätstheorie	54
15	Verformung fester Körper	58
16	Ruhende Flüssigkeiten und Gase	63
17	Strömung der idealen Flüssigkeit	65
18	Strömung realer Flüssigkeiten und Gase	67

Schwingungen und Wellen

19	Harmonische Schwingungen	72
20	Gedämpfte Schwingungen	76
21	Erzwungene Schwingungen	79
22	Ebene Wellen	84
23	Schallwellen	87

Thermodynamik

24	Temperatur und thermische Ausdehnung	94
25	Kalorimetrie	95
26	Wärmeausbreitung	96
27	Wärmestrahlung	98
28	Zustandsänderungen des idealen Gases und Erster Hauptsatz	100
29	Carnot'scher Kreisprozess und Zweiter Hauptsatz	104

Gaskinetik

30	Mikrophysikalische Betrachtung des Gases	108
31	Verknüpfung zwischen mikro- und makrophysikalischen Größen	111

Elektrizität und Magnetismus

32	Gleichstromkreis	114
33	Elektrisches Feld	120
34	Magnetisches Feld	125
35	Induktion	128
36	Maxwell'sche Gleichungen	130
37	Wechselstromkreis	132

Strahlenoptik

38	Reflexion, Brechung und Dispersion	140
39	Dünne Linse und Linsensysteme	143
40	Dicke Linse	146
41	Spiegel	147
42	Auge und optische Vergrößerung	149
43	Optische Geräte	152

Wellenoptik

44	Energie	164
45	Interferenz	165
46	Beugung	168
47	Reflexion und Brechung polarisierten Lichtes ...	172

Foto- und Radiometrie

48	Strahlungsphysikalische Größen, Radiometrie ...	176
49	Visuelle Bewertung der Strahlung, lichttechnische Größen, Fotometrie	178
50	Zusammenhang zwischen Temperatur und Strahlung	180

Struktur der Materie

51	Welle-Teilchen-Dualismus	184
52	Atomhülle	187
53	Quantenmechanik	190
54	Atomkern	193
55	Dosimetrie	197

Index	199
--------------------	------------

Allgemeine Grundlagen

1

Physikalische Größen und Internationales Einheitensystem (SI)

Physikalische Größe

Eine physikalische Größe G wird durch ihren **Zahlenwert** $\{G\}$ und ihre **Maßeinheit** $[G]$ gekennzeichnet:

$$G = \{G\} \cdot [G]$$

Basisgrößen, Basiseinheiten

Dem SI liegen sieben Basiseinheiten zugrunde:

Basisgrößen	Basiseinheiten	Dimensionen
Länge l, r, x , etc.	Meter m	L
Masse m	Kilogramm kg	M
Zeit t	Sekunde s	T
Stromstärke I, i	Ampere A	I
Temperatur T	Kelvin K	Θ
Stoffmenge n, ν	Mol mol	N
Lichtstärke I_v	Candela cd	J

Definition der Basiseinheiten

Die **Sekunde**: 1 s ist die Dauer von 9 192 631 770 Perioden der Strahlung, die im ^{133}Cs -Isotop auftritt.

Das **Meter**: 1 m ist die Strecke, die Licht im Vakuum innerhalb des Bruchteils von 1/299 792 458 einer Sekunde zurücklegt.

Das **Kilogramm**: $1 \text{ kg} = \frac{h}{6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ s/m}^2}$ ist verknüpft mit dem Wert der Planck'schen Konstante h sowie der Definition der Sekunde und des Meters.

Das **Ampere**: $1 \text{ A} = \frac{e}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \text{ s}^{-1}$, ein Ampere entspricht dem Stromfluss von $6,241\,509\,074 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen (Elektronen) pro Sekunde

Das **Kelvin**: $1 \text{ K} = \frac{1,380\,649\,10^{-23}}{k} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$, ein Kelvin entspricht einer Änderung der thermodynamischen Temperatur, die mit einer Änderung der thermischen Energie (kT , k : Boltzmann-Konstante) um $1,380\,649\,10^{-23} \text{ J}$ einhergeht.

Das **Mol**: 1 mol ist die Stoffmenge eines Systems, das $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ spezifizierte Einzelteilchen enthält.

Die **Candela**: 1 cd ist die Lichtstärke einer Strahlquelle, die mit einer Frequenz von $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ in eine bestimmte Raumrichtung emittiert und deren Strahlstärke $1/683 \text{ W/sr}$ in dieser Richtung beträgt.

Hinweis zur Temperatureinheit:

Während die in Kelvin gemessene thermodynamische Temperatur nur positive Werte hat ($T > 0$), besitzt die weit verbreitete Celsius-Skala einen Nullpunkt bei schmelzendem Eis ($\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) und einen zweiten Fixpunkt bei kochendem Wasser ($\vartheta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$). Es gilt der Zusammenhang für die beiden Systeme

$$\frac{T}{\text{K}} = 273,15 + \frac{\vartheta}{^\circ\text{C}}$$

Die Skalenteilung beider Systeme ist gleich. Daher hat eine Temperaturdifferenz in beiden Systemen denselben Zahlenwert

$$\frac{\Delta T}{\text{K}} = \frac{\Delta \vartheta}{^\circ\text{C}}$$

Abgeleitete Größen und Einheiten

Abgeleitete Größen stehen mit den Basisgrößen durch physikalische Gesetze (Gleichungen) in eindeutigem Zusammenhang. Einheiten abgeleiteter Größen entstehen aus den Basiseinheiten mithilfe der entsprechenden physikalischen Zusammenhänge.

Der Begriff **Maßeinheit** darf nicht verwechselt werden mit dem Begriff **Dimension**. Konventionell sind physikalische Größen in einem System von Dimensionen organisiert. Jede der sieben Basisgrößen des SI hat seine eigene Dimension. Die Symbole der Dimensionen sind in untenstehender Tabelle zusammengestellt. Die Dimension einer abgeleiteten Größe wird als Produkt von Potenzen der Dimensionen der Basisgrößen dargestellt. Beispielsweise ergibt sich für die Geschwindigkeit: $\dim v = LT^{-1}$ oder für die Kraft: $\dim F = LMT^{-2}$.

Die folgende Tabelle listet einige Beispiele abgeleiteter Größen samt ihren Maßeinheiten und Dimensionen auf:

Größe	SI-Einheit	Dimension
Kraft	F $N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	MLT^{-2}
Arbeit	W $J = N \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	ML^2T^{-2}
Leistung	P $W = J/s = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$	ML^2T^{-3}
Druck	p $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$ML^{-1}T^{-2}$
Frequenz	f $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$	T^{-1}
el. Spannung	U $V = W/A = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$	$ML^2T^{-3}I^{-1}$
el. Widerstand	R $\Omega = V/A = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$	$ML^2T^{-3}I^{-2}$
el. Leitwert	G $S = A/V = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$
el. Ladung	Q $C = A \cdot \text{s}$	IT
el. Kapazität	C $F = C/V = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$
magn. Fluss	Φ $\text{Wb} = V \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$	$ML^2T^{-2}I^{-1}$
magn. Flussdichte	B $T = \text{Wb}/\text{m}^2 = \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$	$MT^{-2}I^{-1}$
Induktivität	L $H = \text{Wb}/A = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$	$ML^2T^{-2}I^{-2}$
ebener Winkel	φ $\text{rad} = \text{m}/\text{m}$	$LL^{-1} = 1$
Raumwinkel	Ω $\text{sr} = \text{m}^2/\text{m}^2$	$L^2L^{-2} = 1$

Größe		SI-Einheit	Dimension
Aktivität	A	$Bq = s^{-1}$	T^{-1}
Energiedosis	D	$Gy = J/kg = m^2 \cdot s^{-2}$	L^2T^{-2}
Äquivalentdosis	H	$Sv = J/kg = m^2 \cdot s^{-2}$	L^2T^{-2}
Lichtstrom	Φ	$lm = cd \cdot sr$	JL^2L^{-2}
Beleuchtungsstärke	E	$lx = lm/m^2 = cd sr m^{-2}$	JL^2L^{-4}
Brechkraft	D	$dpt = m^{-1}$	L^{-1}

Umrechnung von SI-fremden Einheiten

Kraft, Druck, Arbeit (Energie), Leistung

1 at = 1 kp/cm ² = 98 066,5 Pa	technische Atmosphäre physikalische Atmosphäre
1 atm = 101 325 Pa	
1 bar = 10 ⁵ Pa	
1 dyn = 1 g cm s ⁻² = 10 ⁻⁵ N	
1 erg = 1 dyn cm = 10 ⁻⁷ J	
1 kcal = 4,1868 kJ	Kilokalorie
1 kp = 9,806 65 N	Kilopond
1 mmHg = 1 Torr = 133,322 Pa	mm Quecksilbersäule
1 mmWs = 9,806 65 Pa	mm Wassersäule
1 PS = 75 kp m s ⁻¹ = 735,5 W	Pferdestärke

Längen, Geschwindigkeit

1 Å = 10 ⁻¹⁰ m = 100 pm	Ångström
1 f = 10 ⁻¹⁵ m = 1 fm	Fermi
1 kn = 1 sm/h = 0,5144 m/s	Knoten
1 mile = 1609,344 m	Meile
1 sm = 1852 m	Seemeile

Winkel

1° = (π/180) rad	Grad
1' = (1/60)° = (π/10 800) rad	Winkelminute
1" = (1/60)' = (π/648 000) rad	Winkelsekunde
1 Gon = (π/200) rad	Gon, Neugrad

Umrechnung von SI-fremden Einheiten

Viskosität

1 P = 0,1 Pa s

Poise

1 St = 10^{-4} m²/s

Stokes

Elektromagnetismus

1 G = 10^{-4} T

Gauß

1 Gb = $(10/4\pi)$ A

Gilbert

1 Oe = $(1000/4\pi)$ A/m

Oersted

1 Mx = 10^{-8} Wb

Maxwell

Photometrie

1 sb = 10^4 cd/m²

Stilb

1 Ph = 10^4 lx

Phot

Radioaktivität

1 R = $258 \cdot 10^{-6}$ C/kg

Röntgen

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

Curie

Vorsätze für dezimale Teile und Vielfache der Einheiten

Faktor	Name	Zeichen	Faktor	Name	Zeichen
10^1	Deka	da	10^{-1}	Dezi	d
10^2	Hekto	h	10^{-2}	Zenti	c
10^3	Kilo	k	10^{-3}	Milli	m
10^6	Mega	M	10^{-6}	Mikro	μ
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	Piko	p
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	Femto	f
10^{18}	Exa	E	10^{-18}	Atto	a
10^{21}	Zetta	Z	10^{-21}	Zepto	z
10^{24}	Yotta	Y	10^{-24}	Yokto	y

2

Physikalische Konstanten

Erdmasse	$m_E = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Gravitationskonstante	$G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Mittlerer Erdradius	$r_E = 6370 \text{ km}$
Mittlerer Erdbahnradius	$r_0 = AE = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$
Mittlerer Sterntag	$d^* = 86\,164 \text{ s}$
Normfallbeschleunigung	$g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$
Sonnenmasse	$m_S = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Atomare Masseneinheit	$u = 1,66053906660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Gaskonstante (molare)	$R_m = 8,314462618 \text{ J}/(\text{mol K})$
Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = 8,8541878128 \cdot 10^{-12} \text{ A s}/(\text{V m})$
Elementarladung	$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Faraday-Konstante	$F = 96485,33212 \text{ C/mol}$
Lichtgeschwindigkeit	$c = 299792458 \text{ m/s}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,2566370621 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}/(\text{A m})$
Bohr'sches Magneton	$\mu_B = 9,2740100783 \cdot 10^{-24} \text{ A m}^2$
Compton-Wellenlänge	$\lambda_C = 2,426310239 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Nukleonenradius	$r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Planck'sche Konstante	$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
	$\hbar = 1,05457182 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

Ruhenergie Elektron	$m_e c^2 = 0,51099895 \text{ MeV}$
Ruhemasse Elektron	$m_e = 9,1093837015 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $= 5,48579909065 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
Ruhemasse Neutron	$m_n = 1,67492749804 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $= 1,00866491595 \text{ u}$
Ruhemasse Proton	$m_p = 1,67262192369 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $= 1,007276466621 \text{ u}$
Rydberg-Frequenz	$R = 3,2898419602508 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
Spezifische Elektronenladung	$e/m_e = 1,758820011 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$

3

Mess- und Beobachtungsfehler

Fehlerabschätzung

Messwerte haben Genauigkeitsgrenzen. Die letzte Stelle eines Messwertes ist gerundet. Die Unsicherheit der gemessenen Größe beträgt also maximal die Hälfte der Einheit der letzten Stelle, und zwar sowohl nach oben als auch nach unten. Gehen Messwerte in eine Rechnung ein, so bedingen sie auch eine Unsicherheit des Ergebnisses. Deshalb darf das Ergebnis nur mit der gleichen Anzahl von Stellen angegeben werden wie die Ausgangswerte. Haben diese unterschiedlichen Stellenzahlen, so soll das Ergebnis nur so viele Stellen enthalten wie der Ausgangswert mit der geringsten Stellenzahl. (Bei Feststellung der Stellenzahl bleiben das Komma und die Nullen vor der Ziffernfolge unberücksichtigt.)

Will man genauere Informationen über die Unsicherheit des Ergebnisses haben, so kann man den „Fehler“ abschätzen. Dazu wird das totale Differential benutzt.

$f(x, y, \dots)$ und der **absolute Fehler** Δf sind zu berechnen. Die absoluten Fehler von x und y sind Δx und Δy . Das totale Differential von $f(x, y, \dots)$ ist

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \dots$$

Bei der Fehlerbetrachtung gelten die Näherungen

$$dx \approx \Delta x, \quad dy \approx \Delta y, \quad df \approx \Delta f.$$

Damit folgt

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \dots$$

Um den maximalen Fehler zu erfassen, werden nur die Beträge berücksichtigt, und man erhält

$$|\Delta f| = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| |\Delta x| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| |\Delta y| + \dots$$

Unter Berücksichtigung des abgeschätzten absoluten Fehlers heißt das Ergebnis

$$f = \bar{f} + \Delta f$$

$\bar{f} = f(\bar{x}, \bar{y}, \dots)$; \bar{x}, \bar{y}, \dots Messwerte (Mittelwerte);

$$\Delta f = \pm |\Delta f|$$

Der **relative Fehler** von $f(x, y, \dots)$ ist

$$\delta = \frac{|\Delta f|}{\bar{f}}$$

Diesen erhält man auch, wenn man $f(x, y, \dots)$ logarithmiert, also $\ln f(x, y, \dots)$ bildet, und anschließend differenziert, so dass man $\frac{df}{f}$ und schließlich $\frac{|\Delta f|}{f}$ erhält.

Fehlerausgleich

Durch Mittelwertbildung über mehrere Messwerte x_i der gleichen Messgröße x lässt sich der Einfluss **zufälliger Messfehler** verringern. **Systematische Fehler** bleiben davon unberührt.

Der wahrscheinlichste Wert von x ist der Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

mit n als Anzahl der Messungen.

Index

A

Abbe'sche Zahl 142
Abbildungsgleichung 143, 147
Abbildungsmaßstab 144, 148
Abklingkonstante 76
Additionstheoreme der Geschwindigkeiten 56
Admittanz 133
Airy'sche Beugungsscheibchen 169
Ampere 3
Ampere'sches Verkettungsgesetz 125
Amplitudenresonanz 83
Anpassung 119
Apozentrum 42
Äquivalentdosis 197
Arbeit, elektrische 116
Arbeit, mechanische 31, 65
Archimedisches Prinzip 64
arctan-Funktion 13
Atomare Masseneinheit 7
Atomhülle 187
Atomkern 193
Atommasse 194
Atommasse, relative 194
Atommassenkonstante 194
Auflösungsvermögen 171
Auftrieb 64
Auge, Sehwinkel 149
Ausbreitungsgeschwindigkeit 85

Ausdehnung, thermische 94
Ausstrahlung, spezifische 177
Avogadro-Konstante 7

B

Bahngleichung 23
Barometrische Höhenformel 64
Basiseinheiten 2
Basisgrößen 2
Bepfeilung 117
Bernoulli'sche Gleichung 66
Beschleunigung 19
Beschleunigungsresonanz 83
Beschleunigungsvektor 19
Bestrahlung 177
Bestrahlungsstärke 177
Beugung 168
Bewegung auf der Geraden 21
Bewegung, gleichförmige 21
Bewegung, gleichmäßig beschleunigte 21
Bewegung, ungleichmäßig beschleunigte 22
Bewegung im Gravitationsfeld 42
Bewegung im Zentralfeld 40
Bewegung starrer Körper 45
Bewegung in der Ebene 22

Bewegungsgleichung 25 f., 37, 39, 56,
 73, 77, 82
 Bewegungsgleichung bei veränder-
 lichem Trägheitsmoment 48
 Bewegungsgleichung der Rotation 45
 Bezugssehweite 150
 Bezugssystem, beschleunigt 52
 Biegung eines Trägers 61
 Bindungsenergie 195
 Bohr'sche Elektronenbahnradien 187
 Bohr'scher Radius 187
 Bohr'sches Magneton 7, 188
 Boltzmann-Konstante 7
 Bragg'sche Gleichung 171
 Brechkraft 150
 Brechung polarisierten Lichtes 172
 Brechungsgesetz 140
 Brechungsindex 140
 Brechwert, Brechkraft 150
 Brechzahl 140
 Brennweite 145, 148
 Brewster'sches Gesetz 173
 Bruchspannung 58

C

Candela 3
 Carnot'scher Kreisprozess 104
 Celsius-Temperatur 94
 Compton-Effekt 185
 Compton-Wellenlänge 7
 Corioliskraft 53
 Coulombkraft 29, 40
 Coulomb'sches Gesetz 120

D

Dämpfungsgrad 83
 De-Broglie-Beziehung 184
 Dehnung 59

Dekrement, logarithmisches 77
 Dichte 43, 87 ff., 100, 108
 Differenzialgleichung 73, 77, 81
 Dioptrie 145
 Dispersion 142
 Dopplereffekt 92
 Dosimetrie 197
 Drehimpuls 47
 Drehimpulserhaltungssatz 48
 Drehmoment 43
 Drehschwingung, harmonisch 73
 Drillung 62
 Druck 63, 111
 Druck, statischer 66
 Druckverlauf 89
 Durchflutungsgesetz 125

E

Effektivwert 132
 Eigenwertgleichung 191
 Einheitsvektor 14
 Einstein'sche lichtelektrische Gleichung
 185
 Einstein'sche Masse-Energie-Äquivalenz
 57
 Elektrolyse 119
 Elektronenladung 8
 Elementarladung 7
 Elongation 89
 Energie 164
 Energie, innere 111
 Energie, kinetische 33, 57
 Energie, mittlere kinetische 111
 Energie, potenzielle 32, 121
 Energie der Lichtquanten 187
 Energie-Impuls-Beziehung 57
 Energiedichte 124, 127
 Energiedichte, mittlere 90
 Energiedosis 197

Energiedosisleistung 197
 Energieerhaltung 34
 Energieerhaltungssatz 164
 Energiestromdichte 90
 Energiestromdichtevektor 164
 Energieterme 188
 Enthalpie 101
 Entropie 101
 Erdbahnradius, mittlerer 7
 Erdmasse 7
 Erdradius, mittlerer 7
 Erreger 79
 Erster Hauptsatz der Thermodynamik 102
 Euler'scher Grenzwert 62

F

Faraday-Konstante 7
 Federenergie 51
 Federkraft 27, 33
 Federschwinger, linearer 74
 Federschwingung 51
 Fehler, absoluter 9
 Fehler, relativer 10
 Fehler, systematische 10
 Fehlerausgleich 10
 Fehler, maximaler 10
 Fehlerabschätzung 9
 Feld, elektrisches 120
 Feld, magnetisches 125
 Feldkonstante 7
 Feldlinse 159
 Feldstärke, elektrische 120
 Feldstärke, magnetische 125
 Fernrohr, astronomisches 156
 Fernrohr, Galilei'sches 158
 Fernrohr, Kepler'sches 156
 Flächensatz 41
 Flächenvektor 16

Fluss, magnetischer 126
 Flussdichte, magnetische 126
 Fotometrie 176
 Freier Fall 21
 Freiheitsgrad 45
 Fresnel'sche Formeln 172

G

Gangunterschied 166
 Gaskinetik 108
 Gaskonstante, molare 7, 100
 Gaskonstante, spezifische 100, 103
 Gauß'scher Satz 131
 Gegenwirkungsprinzip 26
 Gesamtbeschleunigung 24
 Geschwindigkeit, durchschnittliche 109
 Geschwindigkeit, mittlere 19, 109
 Geschwindigkeit, wahrscheinlichste 109
 Geschwindigkeitsberechnung 20
 Geschwindigkeitsresonanz 83
 Geschwindigkeitsvektor 18
 Gesetz von Hagen und Poiseuille 67
 Gesetz von Stokes für die laminare Umströmung 69
 Gewichtskraft 29
 Gleichgewicht 44
 Gleichstromkreis 114
 Gleichverteilungssatz 111
 Gleitreibungskraft 28
 Gravitationskonstante 7
 Gravitationskraft 28, 40
 Grenzfall, aperiodisch 77
 Größen, energetische 179
 Größen, physikalische 2
 Größen, strahlungsphysikalische 176
 Größen, visuelle 179
 Grundgesetz der Mechanik 25
 Grundstromkreis 118

H

- Haftreibungskraft 27
- Harmonische Schwingung 22
- Häufigkeit, relative 108
- Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation 186
- Hellempfindlichkeit 178
- Hohlspiegel, Brennweite 147
- Hooke'sches Gesetz 27, 59
- Huygens-Fresnel'sches Prinzip 168

I

- Impedanz 133
- Impulsänderung 35
- Impulserhaltungssatz 35 f.
- Impulsmoment 41, 49
- Induktion 126, 128
- Induktionsgesetz 128, 130
- Induktivität 129
- Intensität 165
- Intensität einer punktförmigen Schallquelle 91
- Intensitätsmaxima 170
- Intensitätsmaximum 169
- Intensitätsminimum 170
- Intensitätspegel 91
- Intensitätsverteilung 168
- Interferenz 165
- Interferenz, destruktiv 166
- Interferenz, konstruktiv 166
- Internationales Einheitensystem 2
- Ionendosis 198
- Isentropenexponent 103

K

- Kalorimetrie 95
- Kapazität, elektrische 122

Kapazitätserhöhung durch Dielektrikum 124

- Kelvin 3
- Kernradius 193
- Kernreaktion 196
- Kilogramm 3
- Kinematik 18
- Kirchhoff'sches Gesetz 98, 116
- Klemmenspannung 118
- Knickung eines Stabes 62
- Knotenregel 116
- Kohärenzbedingung 167
- Kollektivlinse 159
- Kompression 60
- Kondensator 123
- Kontinuitätsgleichung 65
- Koordinaten, ebene 13
- Koordinaten, kartesische 12
- Kräfte, äußere 36
- Kräfte, innere 35
- Kräfte, verschiedenen Ursprungs 27
- Kraftgesetz 120
- Kraftstoß 35
- Kreisbewegung 23
- Kreuzprodukt 14
- Kugelkondensator 123
- Kugelkoordinaten 12
- Kurzschluss 119
- Kurzschlussstrom 119

L

- Ladung, elektrische 114
- Ladungstransport in Flüssigkeiten 119
- Lambert'sches Gesetz 177
- Längenausdehnung 94
- Längenkontraktion 55
- Laue-Bedingung 170
- Leerlauf 119
- Leerlaufspannung 119

Leistung, elektrische 115, 138
 Leistung, mechanische 34
 Leistungszahl 104
 Leiteranordnungen 123
 Leiter, langer, gerader 125
 Leiter, stromdurchflossener 127
 Leitwert, elektrischer 115
 Lenz'sche Regel 128
 Lichtgeschwindigkeit 7, 54
 Licht, polarisiertes 165
 Lichtquanten, Energie 187
 Lichtstrom 178
 Linkssystem 15
 Linse, dicke 146
 Linse, dünne 143
 Linsenmacher-Gleichung 145
 Linsensysteme 143, 159
 Longitudinalwelle 84
 Lorentzkraft 127
 Lorentz-Transformation 54
 Lupe 152

M

Mach-Kegel 92
 Maschenregel 116
 Masse-Energie-Äquivalenz 57
 Maßeinheit 2
 Masse, relativistische 56
 Massendefekt 194
 Masseneinheit, atomare 194
 Massenmittelpunkt 25
 Massenpunkt 25, 72, 76
 Massenpunkt, Systeme 35
 Massenträgheitsmoment 45
 Massenzahl 193
 Maxwell'sche Geschwindigkeits-
 verteilung 109
 Maxwell'sche Gleichungen 130
 Messbereicherweiterung 119

Mess- und Beobachtungsfehler 9
 Meter 2
 Mikroskop 153
 Mol 3
 Moseley'sches Gesetz 189

N

Newton'sche Abbildungsgleichung 143
 Newton'sche Axiome 25
 Newton'sches Axiom, erstes 25
 Newton'sches Axiom, zweites 25
 Newton'sches Axiom, drittes 26
 Newton'sches Reibungsgesetz 67
 Normalspannung 58
 Normalvergrößerung 151
 Normfallbeschleunigung 7
 Nukleonradius 7
 Nukleonenzahl 193

O

Objektiv 160
 Ohm'sches Gesetz 115, 133
 Ortsberechnung 19
 Ortsvektor 13, 18
 Ort-Zeit-Funktion 18, 72, 76, 79
 Oszillator 74

P

Parallelschaltung 136
 – von Kondensatoren 123
 – von Widerständen 117
 Pendel 74 f.
 Pendel, mathematisches 51, 75
 Pendel, physikalisches 51, 75
 Pendellänge, reduzierte 51
 Periodendauer 74
 Periodensystem, Besetzungsfolge 189

Perizentrum 42
 Perpetuum mobile 105
 Phasendifferenz 81, 166
 Phasengeschwindigkeit 85
 Phasensprung 86
 Phasenumwandlung 95
 Phasenverschiebung 134
 Physikalische Größen 2
 Physikalische Konstanten 7
 Planck'sche Beziehung 184
 Planck'sche Konstante 7
 Planck'sches Strahlungsgesetz 180
 Plattenkondensator 123 f.
 Poisson-Zahl 59
 Polarisation 122
 Polarkoordinaten 13
 Potenzialdifferenz 121
 Potenzialkraft 32
 Poynting-Vektor 164
 Präzessionsbewegung 49
 Präzessionskreisfrequenz 50
 Projektionsmikroskop 155
 Punktprodukt 14

Q

Quantenmechanik 190
 Querkontraktion 59

R

Radialbeschleunigung 24
 Radialkraft 30
 Radiometrie 176
 Raumkoordinaten 12
 Rechtsschraubenregel 15
 Rechtssystem 15
 Reflexion 172
 Reflexionsgesetz 141
 Reflexionsgrad 173

Reibungskraft 29
 Reihenschaltung 135
 – von Kondensatoren 123
 – von Widerständen 117
 Relativitätsprinzip 54
 Relativitätstheorie, spezielle 54
 Resonanzfrequenz 83, 138
 Resonator 79
 Resonatorschwingung 80
 Reynolds-Zahl 68
 Rollreibungskraft 28
 Röntgenbeugung 171
 Rotation, starre Körper 45
 Rotation um eine feste Achse 50
 Ruhemasse Elektron 8
 Ruhemasse Neutron 8
 Ruhemasse Proton 8
 Ruhende Flüssigkeiten und Gase 63
 Ruheenergie 8, 57
 Rydberg-Frequenz 8, 188

S

Saite, gespannte 89
 Satz von Steiner 46
 Schallausschlag 89
 Schalldruckpegel 91
 Schallfeldgrößen 89
 Schallgeschwindigkeit 87
 Schallintensität 90
 Schallkennimpedanz 91
 Schalleistung 91
 Schallpegel 91
 Schallschnelle 89
 Schallwechseldruck 90
 Schallwechseldruck, Amplitude 90
 Schallwelle 87
 Schaltungen von Kondensatoren 123
 Scheinkraft 52
 Scherung 60

- Schrödinger-Gleichung 190
 Schubspannung 60, 68
 Schweredruck 63
 Schwerependel 75
 Schwerpunkt 36
 Schwingfall 76
 Schwingung, erzwungene 79
 Schwingung, gedämpfte 76
 Schwingung, harmonische 72
 Schwingverhalten 78
 Sehwinkel 149
 Sekunde 2
 Selbstinduktion 129
 SI 2
 SI-fremde Einheiten 5
 Skalarprodukt 14
 Sonnenmasse 7
 Spannung 58
 Spannung, elektrische 121, 132
 Spannung, induzierte 128
 Spannungsteilerregel 117
 Spiegel 147
 Spiegel, ebener 148
 Spule, lange 125
 Standardabweichung 11
 Starrer Körper 43
 Statik 43
 Stefan-Boltzmann'sches Gesetz 98, 181
 Sternntag 7
 Stoß, vollkommen elastischer 38
 Stoß, vollkommen unelastischer 38
 Stoß zweier Massenpunkte 38
 Stoßfrequenz, mittlere 110
 Strahldichte 176
 Strahlenoptik 140
 Strahlstärke 176
 Strahlungsaustausch zweier Flächen
 98
 Strahlungsenergie 176
 Strahlungsfluss 176
 Strahlungsflussdichte 177
 Strahlungsleistung 176
 Strahlungsvektor 164
 Stromdichte, elektrische 114
 Stromstärke, elektrische 114, 132
 Stromstärke, konstante 114
 Stromteilerregel 118
 Strömung 67
 Strömung, ideale Flüssigkeit 65
 Strömung, laminare 67
 Strömung, turbulente 68
 Suszeptibilität, elektrische 122
 Suszeptibilität, magnetische 126
- T**
- Tangentialspannung 58
 Teilchenmasse 108
 Teilchenstrom 110
 Teleobjektiv 161
 Temperatur 94
 Temperaturänderung 95
 Temperatur, thermodynamische 94
 thermische Zustandsgleichung
 100
 thermodynamische Größen 103
 Torsion eines Zylinders 62
 Torsionsenergie 51
 Torsionsmoment 51
 Torsionsschwingung 51
 Torsionswellen 88
 Totalreflexion 141
 Trägheitsgesetz 25
 Trägheitskraft 52
 Trägheitsmomente 47
 Translation in x-Richtung 50
 Transmissionsgrad 173
 Transversalwelle 84, 88

U

- Überlagerung 86
- Umströmung, laminare 69
- Umwandlungsgesetz 195

V

- Vektorprodukt 14
- Verformung, feste Körper 58
- Vergrößerung 150
- Vergrößerung, optische 149
- Verschiebung, elektrische 122
- Verschiebungsarbeit 32
- Viskosität, dynamische 67
- Volumenänderungsarbeit 102
- Volumenausdehnung 94
- Volumenstrom nach Hagen-Poiseuille 68

W

- Wärmeabgabe 95
- Wärmeaufnahme 95
- Wärmeausbreitung 96
- Wärmebilanz 95
- Wärmedurchgang 96
- Wärmekapazität, spezifische und molare 112
- Wärmeleitung 96 f.
- Wärmeleitungsgleichung 97
- Wärmestrahlung 98
- Wärmestrom 96
- Wärmeübergang 96
- Warmwiderstand 115
- Wechselstromkreis 132
- Weglänge, mittlere freie 110
- Welle, ebene 84
- Welle, stehende 86

- Welle, einlaufende 86
- Wellenausbreitung 84
- Wellenfunktionen 84
- Wellengleichung 85
- Wellenoptik 164
- Wellenwiderstand 91
- Welle, reflektierte 86
- Welle-Teilchen-Dualismus 184
- Widerstand, elektrischer 114
- Widerstände, Schaltung 117
- Widerstandskraft turbulent umströmter Körper 70
- Wien'sches Verschiebungsgesetz 180
- Winkelbeschleunigung 23
- Winkelgeschwindigkeit 23
- Winkel-Zeit-Funktionen 23
- Wirkungsgrad, thermischer 104
- Wurf, schräger 22
- Wurf, senkrechter 21

Z

- Zahlenwert 2
- Zeigerdiagramme 134 ff.
- Zeitdilatation 55
- Zentralkraft 40
- Zentrifugalkraft 52
- Zerfall, radioaktiver 195
- Zerfallsgesetz 195
- Zustandsänderungen 102
- Zustandsänderungen des idealen Gases 100
- Zustandsgleichung, kalorische 101
- Zustandsgleichung, thermische 100
- Zwangskraft 30
- Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 105
- Zylinderkondensator 123