

# Anhang

- A Das Internationale Einheitensystem (SI)
- B Astronomische Daten
- C Umrechnungsfaktoren
- D Mathematische Formeln
- E Eigenschaften der Elemente
- F Ergebnisse der Kontrollfragen
- G Bildquellenverzeichnis
- H Index

# A Das Internationale Einheitensystem (SI)\*

## 1. Die SI-Basiseinheiten

Größe	Name	Symbol	Definition
Länge	Meter	m	Ein Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum innerhalb des (299 792 458)-ten Teils einer Sekunde zurücklegt. (1983)
Masse	Kilogramm	kg	Ein Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogramm-Prototyps (eines Zylinders, der aus einer Platin-Iridium-Legierung besteht). (1889)
Zeit	Sekunde	s	Eine Sekunde ist das (9 192 631 770)-fache der Periodendauer der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands des Cäsium-Isotops $^{133}\text{Cs}$ entspricht. (1967)
Stromstärke	Ampere	A	Ein Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stroms, der durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 m voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließt und zwischen diesen Leitern je 1 m Leiterlänge elektrodynamisch eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N hervorruft. (1946)
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K	Ein Kelvin ist der 273,16-te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunkts von Wasser. (1967)
Stoffmenge	Mol	mol	Ein Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen einzelnen Teilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des Kohlenstoff-Isotops $^{12}\text{C}$ enthalten sind. (1971)
Lichtstärke	Candela	cd	Ein Candela ist die Lichtstärke, mit der 1/600 000 Quadratmeter eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des bei einem Druck von 101 325 Pa (1 atm) erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche strahlt. (1967)**

\* Aus „The International System of Units (SI)“, National Bureau of Standards Special Publication 330, Ausgabe 1972. Die Definitionen wurden im jeweils angegebenen Jahr von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht, einer internationalen Körperschaft, angenommen. Die Einheit Candela haben wir in diesem Buch nicht verwendet.

\*\* Eine Neudefinition wurde 1979 durch die 16. Generalkonferenz für Maß und Gewicht vorgenommen: „Ein Candela ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle, welche monochromatische Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}$  Hz in eine Richtung aussendet, in der die Strahlstärke 1/683 W pro Steradian beträgt.“ (Anm. d. Übers.)

## 2. Abgeleitete SI-Einheiten

Größe	Einheit	Symbol	
Fläche	Quadratmeter	m <sup>2</sup>	
Volumen	Kubikmeter	m <sup>3</sup>	
Frequenz	Hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
Dichte	Kilogramm pro Kubikmeter	kg/m <sup>-3</sup>	
Geschwindigkeit	Meter pro Sekunde	m/s	
Winkelgeschwindigkeit	Radian pro Sekunde	rad/s	
Beschleunigung	Meter pro Quadratsekunde	m/s <sup>2</sup>	
Winkelbeschleunigung	Radian pro Quadratsekunde	rad/s <sup>2</sup>	
Kraft	Newton	N	kg · m/s <sup>2</sup>
Druck	Pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
Arbeit, Energie, Wärmemenge	Joule	J	N · m
Leistung	Watt	W	J/s
Elektrische Ladung	Coulomb	C	A · s
Elektrische Spannung (Potenzialdifferenz)	Volt	V	W/A
Elektrische Feldstärke	Volt pro Meter (Newton pro Coulomb)	V/m	N/C
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	V/A
Kapazität	Farad	F	A · s/V
Magnetischer Fluss	Weber	Wb	V · s
Induktivität	Henry	H	V · s/A
Magnetische Induktion (Flussdichte)	Tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
Magnetische Feldstärke	Ampere pro Meter	A/m	
Entropie	Joule pro Kelvin	J/K	
Spezifische Wärme	Joule pro Kilogramm und Kelvin	J/(kg · K)	
Wärmeleitfähigkeit	Watt pro Meter und Kelvin	W/(m · K)	
Strahlungsintensität	Watt pro Steradian	W/sr	

## 3. Ergänzende SI-Einheiten

Menge	Einheit	Symbol
Ebener Winkel	Radian	rad
Raumwinkel	Steradian	sr

## B Astronomische Daten

### Entfernungen von der Erde

Mond*	$3,82 \cdot 10^8$ m	Zentrum der Milchstraße	$2,2 \cdot 10^{20}$ m
Sonne*	$1,50 \cdot 10^{11}$ m	Andromeda-Galaxie	$2,1 \cdot 10^{22}$ m
Erdnächster Stern (Proxima Centauri)	$4,04 \cdot 10^{16}$ m	Rand des beobachtbaren Universums	$\sim 10^{26}$ m

\* Mittlere Entfernung

### Sonne, Erde und Erdmond

Eigenschaft	Einheit	Sonne	Erde	Mond
Masse	kg	$1,99 \cdot 10^{30}$	$5,98 \cdot 10^{24}$	$7,36 \cdot 10^{22}$
Mittlerer Radius	m	$6,96 \cdot 10^8$	$6,37 \cdot 10^6$	$1,74 \cdot 10^6$
Mittlere Dichte	kg/m <sup>3</sup>	1410	5520	3340
Fallbeschleunigung an der Oberfläche	m/s <sup>2</sup>	274	9,81	1,67
Fluchtgeschwindigkeit	km/s	618	11,2	2,38
Rotationsperiode <sup>a</sup>	–	37 d (Pole) <sup>b</sup> , 26 d (Äquator) <sup>b</sup>	23 h 56 min	27,3 d
Strahlungsleistung <sup>c</sup>	W		$3,90 \cdot 10^{26}$	

<sup>a</sup> Relativ zu weit entfernten Sternen gemessen.

<sup>b</sup> Die Sonne, ein Gasball, rotiert nicht als starrer Körper.

<sup>c</sup> Unmittelbar oberhalb der Erdatmosphäre trifft die Sonnenenergie mit einer Rate von 1340 W/m<sup>2</sup> ein (senkrechter Einfall vorausgesetzt).

### Eigenschaften der Planeten

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto
Mittlere Entfernung von der Sonne, 10 <sup>6</sup> km	57,9	108	150	228	778	1430	2870	4500	5900
Periode der Revolution, a	0,241	0,615	1,00	1,88	11,9	29,5	84,0	165	248
Periode der Rotation <sup>a</sup> , d	58,7	−243 <sup>b</sup>	0,997	1,03	0,409	0,426	−0,451 <sup>b</sup>	0,658	6,39
Bahngeschwindigkeit, km/s	47,9	35,0	29,8	24,1	13,1	9,64	6,81	5,43	4,74
Neigung der Achse gegen die Bahn	< 28°	≈ 3°	23,4°	25,0°	3,08°	26,7°	97,9°	29,6°	57,5°
Neigung der Bahn gegen die Erdbahn	7,00°	3,39°	–	1,85°	1,30°	2,49°	0,77°	1,77°	17,2°
Exzentrizität der Bahn	0,206	0,0068	0,0167	0,0934	0,0485	0,0556	0,0472	0,0086	0,250
Äquatordurchmesser, km	4880	12 100	12 800	6790	143 000	120 000	51 800	49 500	2300
Masse (Erde = 1)	0,0558	0,815	1,000	0,107	318	95,1	14,5	17,2	0,002
Dichte (Wasser = 1)	5,60	5,20	5,52	3,95	1,31	0,704	1,21	1,67	2,03
Wert von $g$ an der Oberfläche <sup>c</sup> , m/s <sup>2</sup>	3,78	8,60	9,78	3,72	22,9	9,05	7,77	11,0	0,5
Fluchtgeschwindigkeit <sup>c</sup> , km/s	4,3	10,3	11,2	5,0	59,5	35,6	21,2	23,6	1,1
Bekannte Satelliten	0	0	1	2	39 <sup>d,*</sup>	30 <sup>d,*</sup>	20 <sup>d,*</sup>	8 <sup>d</sup>	1

<sup>a</sup> Gemessen relativ zu weit entfernten Sternen.

<sup>b</sup> Venus und Uranus rotieren entgegengesetzt zu ihrer Bahnbewegung.

<sup>c</sup> Gravitationsbeschleunigung gemessen am Äquator des Planeten.

<sup>d</sup> Zusätzlich Ringsysteme.

\* Laut „Sterne und Weltraum“, Spezial 7, Oktober 2002.

## C Umrechnungsfaktoren

Die SI-Einheiten sind fett gedruckt.

### Zeit

a	d	h	min	s
1 Jahr = 1	365,25	$8,766 \cdot 10^3$	$5,259 \cdot 10^5$	$3,156 \cdot 10^7$
1 Tag = $2,738 \cdot 10^{-3}$	1	24	1440	$8,640 \cdot 10^4$
1 Stunde = $1,141 \cdot 10^{-4}$	$4,167 \cdot 10^{-2}$	1	60	3600
1 Minute = $1,901 \cdot 10^{-6}$	$6,944 \cdot 10^{-4}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	1	60
1 <b>Sekunde</b> = $3,169 \cdot 10^{-8}$	$1,157 \cdot 10^{-5}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	1

### Ebener Winkel

°	'	"	rad	U
1 Grad = 1	60	3600	$1,745 \cdot 10^{-2}$	$2,778 \cdot 10^{-3}$
1 Minute = $1,667 \cdot 10^{-2}$	1	60	$2,909 \cdot 10^{-4}$	$4,630 \cdot 10^{-5}$
1 Sekunde = $2,778 \cdot 10^{-4}$	$1,667 \cdot 10^{-2}$	1	$4,848 \cdot 10^{-6}$	$7,716 \cdot 10^{-7}$
1 <b>Radian</b> = 57,30	3438	$2,063 \cdot 10^5$	1	0,1592
1 Umdrehung = 360	$2,16 \cdot 10^4$	$1,296 \cdot 10^6$	6,283	1

### Raumwinkel

1 Vollkugel =  $4\pi$  Steradian = 12,57 Steradian

### Länge

1 **m** = 100 cm =  $10^{-3}$  km = 39,37 in. = 3,281 ft =  $6,214 \cdot 10^{-4}$  mi  
 1 km = 1000 **m** =  $10^5$  cm = 0,6214 mi  
 1 Å =  $10^{-10}$  **m**  
 1 Fermi =  $10^{-15}$  **m**  
 1 Bohrscher Radius =  $5,292 \cdot 10^{-11}$  **m**  
 1 Seemeile = 1852 **m**  
 1 Lichtjahr =  $9,460 \cdot 10^{12}$  km  
 1 Parsec =  $3,084 \cdot 10^{13}$  km  
 1 in. = 2,540 cm  
 1 ft = 30,48 cm  
 1 mile = 1609 **m**  
 1 yard = 3 ft

### Fläche

1 **m**<sup>2</sup> = 10000 cm<sup>2</sup> = 10,76 ft<sup>2</sup> = 1550 in.<sup>2</sup>  
 1 km<sup>2</sup> = 100 ha =  $10^6$  **m**<sup>2</sup>  
 1 barn =  $10^{-28}$  **m**<sup>2</sup>

### Volumen

1 **m**<sup>3</sup> =  $10^6$  cm<sup>3</sup> = 1000 L = 35,31 ft<sup>3</sup>  
 1 L = 1000 cm<sup>3</sup>

### Masse

1 **kg** = 1000 g =  $6,022 \cdot 10^{26}$  u = 35,27 oz = 2,205 lb  
 1 t = 1000 **kg**  
 1 u =  $1,661 \cdot 10^{-27}$  **kg**

### Dichte

1 **kg/m**<sup>3</sup> =  $10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>

### Geschwindigkeit

1 km/h = 27,78 cm/s = 0,2778 **m/s** = 0,6214 mi/h  
 1 **m/s** = 3,6 km/h  
 1 Knoten = 1 Seemeile/h

### Kraft

1 **N** =  $10^5$  dyn

### Druck

1 atm = 760 mm Hg<sup>a</sup> =  $1,013 \cdot 10^5$  **Pa** = 0,1013 MPa  
 1 **Pa** =  $9,869 \cdot 10^{-6}$  atm =  $7,501 \cdot 10^{-3}$  mm Hg<sup>a</sup>  
 1 Torr = 1 mm Hg  
 1 bar = 1000 mbar = 0,1 MPa

<sup>a</sup> für  $g = 9,80665$  m/s<sup>2</sup>

### Leistung

1 **W** = 3,413 Btu/h = 0,2389 cal/s  
 1 kW = 1000 **W**  
 1 PS = 735 **W**

### Magnetfeld

1 Gauss =  $10^{-4}$  **T**  
 1 **T** = 1 Wb/m<sup>2</sup>

### Magnetischer Fluss

1 **Wb** =  $10^8$  Maxwell

## Energie, Arbeit, Wärme

	J	cal	kW · h	eV	MeV	kg	u	Btu	erg
1 Joule =	1	0,2389	$\frac{2,778}{\cdot 10^{-7}}$	$\frac{6,242}{\cdot 10^{18}}$	$\frac{6,242}{\cdot 10^{12}}$	$\frac{1,113}{\cdot 10^{-17}}$	$\frac{6,702}{\cdot 10^9}$	$\frac{9,481}{\cdot 10^{-4}}$	$10^7$
1 Kalorie =	4,186	1	$\frac{1,163}{\cdot 10^{-6}}$	$\frac{2,613}{\cdot 10^{19}}$	$\frac{2,613}{\cdot 10^{13}}$	$\frac{4,660}{\cdot 10^{-17}}$	$\frac{2,806}{\cdot 10^{10}}$	$\frac{3,969}{\cdot 10^{-3}}$	$\frac{4,168}{\cdot 10^7}$
1 Kilowattstunde =	$\frac{3,600}{\cdot 10^6}$	$\frac{8,600}{\cdot 10^5}$	1	$\frac{2,247}{\cdot 10^{25}}$	$\frac{2,247}{\cdot 10^{19}}$	$\frac{4,007}{\cdot 10^{-11}}$	$\frac{2,413}{\cdot 10^{16}}$	3413	$\frac{3,600}{\cdot 10^{13}}$
1 Elektronenvolt =	$\frac{1,602}{\cdot 10^{-19}}$	$\frac{3,827}{\cdot 10^{-20}}$	$\frac{4,450}{\cdot 10^{-26}}$	1	$10^{-6}$	$\frac{1,783}{\cdot 10^{-36}}$	$\frac{1,074}{\cdot 10^{-9}}$	$\frac{1,519}{\cdot 10^{-22}}$	$\frac{1,602}{\cdot 10^{-12}}$
1 Megaelektronenvolt =	$\frac{1,602}{\cdot 10^{-13}}$	$\frac{3,827}{\cdot 10^{-14}}$	$\frac{4,450}{\cdot 10^{-20}}$	$10^6$	1	$\frac{1,783}{\cdot 10^{-30}}$	$\frac{1,074}{\cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,519}{\cdot 10^{-16}}$	$\frac{1,602}{\cdot 10^{-6}}$
1 Kilogramm* =	$\frac{8,987}{\cdot 10^{16}}$	$\frac{2,146}{\cdot 10^{16}}$	$\frac{2,497}{\cdot 10^{10}}$	$\frac{5,610}{\cdot 10^{35}}$	$\frac{5,610}{\cdot 10^{29}}$	1	$\frac{6,022}{\cdot 10^{26}}$	$\frac{8,521}{\cdot 10^{13}}$	$\frac{8,987}{\cdot 10^{23}}$
1 Atomare Masseneinheit* =	$\frac{1,492}{\cdot 10^{-10}}$	$\frac{3,564}{\cdot 10^{-11}}$	$\frac{4,146}{\cdot 10^{-17}}$	$\frac{9,320}{\cdot 10^8}$	932,0	$\frac{1,661}{\cdot 10^{-27}}$	1	$\frac{1,415}{\cdot 10^{-13}}$	$\frac{1,492}{\cdot 10^{-3}}$
1 British thermal unit =	1055	252,0	$\frac{2,930}{\cdot 10^{-4}}$	$\frac{6,585}{\cdot 10^{21}}$	$\frac{6,585}{\cdot 10^{15}}$	$\frac{1,174}{\cdot 10^{-14}}$	$\frac{7,070}{\cdot 10^{12}}$	1	$\frac{1,055}{\cdot 10^{10}}$
1 erg =	$10^{-7}$	$\frac{2,389}{\cdot 10^{-8}}$	$\frac{2,778}{\cdot 10^{-14}}$	$\frac{6,242}{\cdot 10^{11}}$	$\frac{6,242}{\cdot 10^5}$	$\frac{1,113}{\cdot 10^{-24}}$	670,2	$\frac{9,481}{\cdot 10^{-11}}$	1

\* Diese Größen sind keine Energie-, sondern Masseneinheiten. Die Angaben folgen der relativistischen Masse-Energie-Beziehung  $E = mc^2$ . Es handelt sich folglich um die Energie, die freigesetzt würde, wenn ein Kilogramm oder eine atomare Masseneinheit (1 u) einer Substanz vollständig in Energie umgewandelt würde, bzw. um die Masse, die vollständig in eine angegebene Energieeinheit umgewandelt würde.

# D Mathematische Formeln

## Geometrie

Kreis mit dem Radius  $r$ :

$$\begin{aligned} \text{Umfang} &= 2\pi r \\ \text{Fläche} &= \pi r^2 \end{aligned}$$

Kugel mit dem Radius  $r$ :

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= 4\pi r^2 \\ \text{Volumen} &= \frac{4}{3}\pi r^3 \end{aligned}$$

Gerader Kreiszylinder mit dem Radius  $r$  und der Höhe  $h$ :

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= 2\pi r^2 + 2\pi r h \\ \text{Volumen} &= \pi r^2 h \end{aligned}$$

Dreieck mit der Basis  $a$  und der Höhe  $h$ :

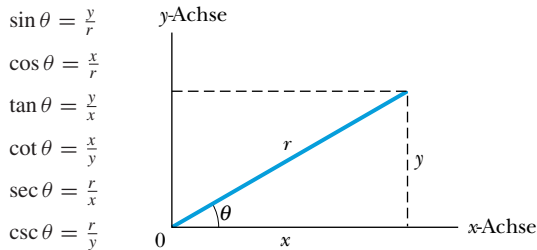
$$\text{Fläche} = \frac{1}{2}ah$$

## Quadratische Gleichung

Für  $ax^2 + bx + c = 0$  gilt:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

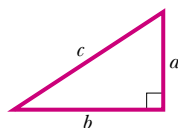
## Trigonometrische Funktionen des Winkels $\theta$



## Satz des Pythagoras

Für das abgebildete rechtwinklige Dreieck gilt:

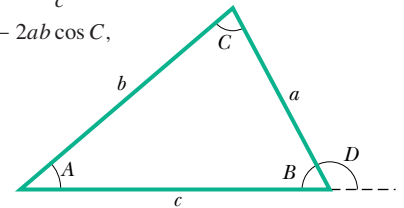
$$a^2 + b^2 = c^2.$$



## Dreiecke

Den Winkeln  $A, B, C$  liegen die Seiten  $a, b, c$  gegenüber.  $D$  ist ein Außenwinkel (Ergänzungswinkel von  $B$  zu  $180^\circ$ ). Dann gilt:

$$\begin{aligned} A + B + C &= 180^\circ, \\ \frac{\sin A}{a} &= \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}, \\ c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos C, \\ D &= A + C. \end{aligned}$$



## Mathematische Zeichen und Symbole

- = ist gleich
- ≈ ungefähr gleich, rund
- ~ in der Größenordnung von
- ≠ ungleich
- ≡ identisch, definiert als
- > größer als (>> viel größer als, groß gegen)
- < kleiner als (<< viel kleiner als, klein gegen)
- ≥ größer als oder gleich (nicht kleiner als)
- ≤ kleiner als oder gleich (nicht größer als)
- ± plus oder minus
- ∝ proportional zu
- ∑ Summenzeichen
- $x_{\text{gem}}$  mittlerer (gemittelter) Wert von  $x$

## Trigonometrische Gleichungen

- $\sin(90^\circ - \theta) = \cos \theta$
- $\cos(90^\circ - \theta) = \sin \theta$
- $\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$
- $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$
- $\sec^2 \theta - \tan^2 \theta = 1$
- $\csc^2 \theta - \cot^2 \theta = 1$
- $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$
- $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta = 2 \cos^2 \theta - 1 = 1 - 2 \sin^2 \theta$
- $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$
- $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$
- $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$
- $\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$
- $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$
- $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$

## Binomische Reihe

$$(1+x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots \quad (x^2 < 1)$$

## Potenzreihenentwicklung von $e^x$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

## Potenzreihenentwicklung von $\ln(1+x)$

$$\ln(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \dots \quad (|x| < 1)$$

## Potenzreihenentwicklung trigonometrischer Funktionen ( $\theta$ in rad)

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \dots \\ \cos \theta &= 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \dots \\ \tan \theta &= \theta + \frac{\theta^3}{3} + 2\frac{\theta^5}{15} + \dots \end{aligned}$$

## Cramersche Regel

Das lineare Gleichungssystem

$$a_1x + b_1y = c_1 \quad \text{und} \quad a_2x + b_2y = c_2$$

mit den beiden Unbekannten  $x$  und  $y$  hat folgende Lösungen:

$$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

und

$$y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$$

## Produkte von Vektoren

Es seien  $\vec{e}_x$ ,  $\vec{e}_y$  und  $\vec{e}_z$  Einheitsvektoren in  $x$ -,  $y$ - bzw.  $z$ -Richtung. Dann gilt:

$$\begin{aligned} \vec{e}_x \cdot \vec{e}_x &= \vec{e}_y \cdot \vec{e}_y = \vec{e}_z \cdot \vec{e}_z = 1, \\ \vec{e}_x \cdot \vec{e}_y &= \vec{e}_y \cdot \vec{e}_z = \vec{e}_z \cdot \vec{e}_x = 0, \\ \vec{e}_x \times \vec{e}_x &= \vec{e}_y \times \vec{e}_y = \vec{e}_z \times \vec{e}_z = 0, \\ \vec{e}_x \times \vec{e}_y &= \vec{e}_z, \quad \vec{e}_y \times \vec{e}_z = \vec{e}_x, \quad \vec{e}_z \times \vec{e}_x = \vec{e}_y. \end{aligned}$$

Jeder Vektor  $\vec{a}$  mit den Komponenten  $a_x$ ,  $a_y$  und  $a_z$  entlang der  $x$ -,  $y$ - bzw.  $z$ -Achse kann in der Form

$$\vec{a} = a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z$$

geschrieben werden.

Die Vektoren  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  und  $\vec{c}$  seien beliebige Vektoren mit den Beträgen  $a$ ,  $b$  bzw.  $c$ . Dann gilt:

$$\vec{a} \times (\vec{b} + \vec{c}) = (\vec{a} \times \vec{b}) + (\vec{a} \times \vec{c})$$

und

$$(s\vec{a}) \times \vec{b} = \vec{a} \times (s\vec{b}) = s(\vec{a} \times \vec{b})$$

( $s$  ist ein Skalar).

Es sei  $\theta$  der kleinere der beiden Winkel, den die Vektoren  $\vec{a}$  und  $\vec{b}$  miteinander einschließen. Dann gilt:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = ab \cos \theta$$

sowie

$$\begin{aligned} \vec{a} \times \vec{b} &= -\vec{b} \times \vec{a} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} \\ &= \vec{e}_x \begin{vmatrix} a_y & a_z \\ b_y & b_z \end{vmatrix} - \vec{e}_y \begin{vmatrix} a_x & a_z \\ b_x & b_z \end{vmatrix} + \vec{e}_z \begin{vmatrix} a_x & a_y \\ b_x & b_y \end{vmatrix} \\ &= (a_y b_z - b_y a_z) \vec{e}_x + (a_z b_x - b_z a_x) \vec{e}_y + (a_x b_y - b_x a_y) \vec{e}_z, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |\vec{a} \times \vec{b}| &= ab \sin \theta, \\ \vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c}) &= \vec{b} \cdot (\vec{c} \times \vec{a}) = \vec{c} \cdot (\vec{a} \times \vec{b}), \\ \vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) &= (\vec{a} \cdot \vec{c}) \vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b}) \vec{c}. \end{aligned}$$



## Ableitungen und Integrale

Im Folgenden stehen  $u$  und  $v$  für beliebige Funktionen von  $x$ , und  $a$  und  $m$  sind Konstanten. Zu jedem unbestimmten Integral ist eine beliebige Integrationskonstante zu addieren. Eine ausführlichere Übersicht finden Sie im *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC Press).

1.  $\frac{dx}{dx} = 1$
2.  $\frac{d}{dx}(au) = a \frac{du}{dx}$
3.  $\frac{d}{dx}(u + v) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx}$
4.  $\frac{d}{dx}x^m = mx^{m-1}$
5.  $\frac{d}{dx} \ln x = \frac{1}{x}$
6.  $\frac{d}{dx}(uv) = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}$
7.  $\frac{d}{dx}e^x = e^x$
8.  $\frac{d}{dx} \sin x = \cos x$
9.  $\frac{d}{dx} \cos x = -\sin x$
10.  $\frac{d}{dx} \tan x = \sec^2 x$
11.  $\frac{d}{dx} \cot x = -\operatorname{csc}^2 x$
12.  $\frac{d}{dx} \sec x = \tan x \sec x$
13.  $\frac{d}{dx} \csc x = -\cot x \csc x$
14.  $\frac{d}{dx}e^u = e^u \frac{du}{dx}$
15.  $\frac{d}{dx} \sin u = \cos u \frac{du}{dx}$
16.  $\frac{d}{dx} \cos u = -\sin u \frac{du}{dx}$
1.  $\int dx = x$
2.  $\int au \, dx = a \int u \, dx$
3.  $\int (u + v) \, dx = \int u \, dx + \int v \, dx$
4.  $\int x^m \, dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} \quad (m \neq -1)$
5.  $\int \frac{dx}{x} = \ln |x|$
6.  $\int u \frac{dv}{dx} \, dx = uv - \int v \frac{du}{dx} \, dx$
7.  $\int e^x \, dx = e^x$
8.  $\int \sin x \, dx = -\cos x$
9.  $\int \cos x \, dx = \sin x$
10.  $\int \tan x \, dx = \ln |\sec x|$
11.  $\int \sin^2 x \, dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4} \sin 2x$
12.  $\int e^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a}e^{-ax}$
13.  $\int xe^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a^2}(ax + 1)e^{-ax}$
14.  $\int x^2e^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a^3}(a^2x^2 + 2ax + 2)e^{-ax}$
15.  $\int_0^\infty x^n e^{-ax} \, dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$
16.  $\int_0^\infty x^{2n} e^{-ax^2} \, dx = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2^{n+1} a^n} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$
17.  $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2})$
18.  $\int \frac{x \, dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = -\frac{1}{(x^2 + a^2)^{1/2}}$
19.  $\int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2(x^2 + a^2)^{1/2}}$
20.  $\int_0^\infty x^{2n+1} e^{-ax^2} \, dx = \frac{n!}{2a^{n+1}} \quad (a > 0)$
21.  $\int \frac{x \, dx}{x + a} = x - a \ln(x + a)$

## Gradient, Divergenz und Rotation

Im Folgenden stehen  $f(\vec{r})$ ,  $g(\vec{r})$  für stetige skalare Funktionen und  $\vec{F}(\vec{r})$ ,  $\vec{G}(\vec{r})$  sind stetige Vektorfunktionen.  $a$  ist eine beliebige skalare Konstante und  $\vec{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$ . Es gilt:

$$1. \quad \vec{\nabla} a f(\vec{r}) = a \vec{\nabla} f(\vec{r})$$

$$2. \quad \vec{\nabla} (f(\vec{r}) + g(\vec{r})) = \vec{\nabla} f(\vec{r}) + \vec{\nabla} g(\vec{r})$$

$$3. \quad \vec{\nabla} \cdot (a \vec{F}(\vec{r})) = a (\vec{\nabla} \cdot \vec{F}(\vec{r}))$$

$$4. \quad \vec{\nabla} \cdot (\vec{F}(\vec{r}) + \vec{G}(\vec{r})) = \vec{\nabla} \cdot \vec{F}(\vec{r}) + \vec{\nabla} \cdot \vec{G}(\vec{r})$$

$$5. \quad \vec{\nabla} \times (a \vec{F}(\vec{r})) = a (\vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r}))$$

$$6. \quad \vec{\nabla} \times (\vec{F}(\vec{r}) + \vec{G}(\vec{r})) = \vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r}) + \vec{\nabla} \times \vec{G}(\vec{r})$$

$$7. \quad \vec{\nabla} \times (f(\vec{r}) \vec{F}(\vec{r})) = f(\vec{r}) (\vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r})) + (\vec{\nabla} f(\vec{r})) \times \vec{F}(\vec{r})$$

$$8. \quad \vec{\nabla} \cdot (f(\vec{r}) \vec{F}(\vec{r})) = f(\vec{r}) (\vec{\nabla} \cdot \vec{F}(\vec{r})) + \vec{F}(\vec{r}) \cdot (\vec{\nabla} f(\vec{r}))$$

$$9. \quad \vec{\nabla} \cdot (\vec{F}(\vec{r}) \times \vec{G}(\vec{r})) = \vec{G}(\vec{r}) \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r})) - \vec{F}(\vec{r}) \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{G}(\vec{r}))$$

$$10. \quad \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} f(\vec{r})) = \text{rot grad } f(\vec{r}) = 0$$

$$11. \quad \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r})) = \text{div rot } \vec{F}(\vec{r}) = 0$$

$$12. \quad \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{F}(\vec{r})) = \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{F}(\vec{r})) - \vec{\nabla}^2 \vec{F}(\vec{r}) = \text{grad div } \vec{F}(\vec{r}) - \Delta \vec{F}(\vec{r})$$

wobei  $\Delta = \vec{\nabla}^2 = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$  der (skalare) Laplace-Operator ist.

## E Eigenschaften der Elemente

Soweit nicht anders vermerkt, sind die physikalischen Eigenschaften für einen Druck von 1 atm (0,1 MPa) angegeben.

Element	Symbol	Ordnungs- zahl Z	Molare Masse (g/mol)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> bei 20 °C)	Schmelzpunkt (°C)	Siedepunkt (°C)	Spezifische Wärme (J/(g · °C) bei 25 °C)
Actinium	Ac	89	(227)	10,06	1323	(3473)	0,092
Aluminium	Al	13	26,9815	2,699	660	2450	0,900
Americium	Am	95	(243)	13,67	1541	–	–
Antimon	Sb	51	121,75	6,691	630,5	(1380)	0,205
Argon	Ar	18	39,948	$1,6626 \cdot 10^{-3}$	–189,4	–185,8	0,523
Arsen	As	33	74,9216	5,78	817 (28 atm)	613	0,331
Astat	At	85	(210)	–	(302)	–	–
Barium	Ba	56	137,34	3,594	729	1640	0,205
Berkelium	Bk	97	(247)	14,79	–	–	–
Beryllium	Be	4	9,0122	1,848	1287	2770	1,83
Bismut	Bi	83	208,980	9,747	271,37	1560	0,122
Blei	Pb	82	207,19	11,35	327,45	1725	0,129
Bohrium	Bh	107	262,12	–	–	–	–
Bor	B	5	10,811	2,34	2030	–	1,11
Brom	Br	35	79,909	3,12 (flüssig)	–7,2	58	0,293
Cadmium	Cd	48	112,40	8,65	321,03	765	0,226
Caesium	Cs	55	132,905	1,873	28,40	690	0,243
Calcium	Ca	20	40,08	1,55	838	1440	0,624
Californium	Cf	98	(251)	–	–	–	–
Cer	Ce	58	140,12	6,768	804	3470	0,188
Chlor	Cl	17	35,453	$3,214 \cdot 10^{-3}$ (0 °C)	–101	–34,7	0,486
Chrom	Cr	24	51,996	7,19	1857	2665	0,448
Cobalt	Co	27	58,9332	8,85	1495	2900	0,423
Curium	Cm	96	(247)	13,3	–	–	–
Dubnium	Db	105	262,114	–	–	–	–
Dysprosium	Dy	66	162,50	8,55	1409	2330	0,172
Einsteinium	Es	99	(254)	–	–	–	–
Eisen	Fe	26	55,847	7,874	1536,5	3000	0,447
Erbium	Er	68	167,26	9,15	1522	2630	0,167
Europium	Eu	63	151,96	5,243	817	1490	0,163
Fermium	Fm	100	(237)	–	–	–	–
Fluor	F	9	18,9984	$1,696 \cdot 10^{-3}$ (0 °C)	–219,6	–188,2	0,753
Francium	Fr	87	(223)	–	(27)	–	–
Gadolinium	Gd	64	157,25	7,90	1312	2730	0,234
Gallium	Ga	31	69,72	5,907	29,75	2237	0,377
Germanium	Ge	32	72,59	5,323	937,25	2830	0,322
Gold	Au	79	196,967	19,32	1064,43	2970	0,131
Hafnium	Hf	72	178,49	13,31	2227	5400	0,144
Hassium	Hs	108	(265)	–	–	–	–
Helium	He	2	4,0026	$0,1664 \cdot 10^{-3}$	–269,7	–268,9	5,23

Element	Symbol	Ordnungs- zahl Z	Molare Masse (g/mol)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> bei 20 °C)	Schmelzpunkt (°C)	Siedepunkt (°C)	Spezifische Wärme (J/(g · °C) bei 25 °C)
Holmium	Ho	67	164,930	8,79	1470	2330	0,165
Indium	In	49	114,82	7,31	156,634	2000	0,233
Iod	I	53	126,9044	4,93	113,7	183	0,218
Iridium	Ir	77	192,2	22,5	2447	(5300)	0,130
Kalium	K	19	39,102	0,862	63,20	760	0,758
Kohlenstoff	C	6	12,01115	2,26	3727	4830	0,691
Krypton	Kr	36	83,80	$3,488 \cdot 10^{-3}$	-157,37	-152	0,247
Kupfer	Cu	29	63,54	8,96	1083,40	2595	0,385
Lanthan	La	57	138,91	6,189	920	3470	0,195
Lawrencium	Lr	103	(257)	–	–	–	–
Lithium	Li	3	6,939	0,534	180,55	1300	3,58
Lutetium	Lu	71	174,97	9,849	1663	1930	0,155
Magnesium	Mg	12	24,312	1,738	650	1107	1,03
Mangan	Mn	25	54,9380	7,44	1244	2150	0,481
Meitnerium	Mt	109	(266)	–	–	–	–
Mendelevium	Md	101	(256)	–	–	–	–
Molybdän	Mo	42	95,94	10,22	2617	5560	0,251
Natrium	Na	11	22,9898	0,9712	97,85	892	1,23
Neodym	Nd	60	144,24	7,007	1016	3180	0,188
Neon	Ne	10	20,183	$0,8387 \cdot 10^{-3}$	-248,597	-246,0	1,03
Neptunium	Np	93	(237)	20,25	637	–	1,26
Nickel	Ni	28	58,71	8,902	1453	2730	0,444
Niob	Nb	41	92,906	8,57	2468	4927	0,264
Nobelium	No	102	(255)	–	–	–	–
Osmium	Os	76	190,2	22,59	3027	5500	0,130
Palladium	Pd	46	106,4	12,02	1552	3980	0,243
Phosphor	P	15	30,9738	1,83	44,25	280	0,741
Platin	Pt	78	195,09	21,45	1769	4530	0,134
Plutonium	Pu	94	(244)	19,8	640	3235	0,130
Polonium	Po	84	(210)	9,32	254	–	–
Praseodym	Pr	59	140,907	6,773	931	3020	0,197
Promethium	Pm	61	(145)	7,22	(1027)	–	–
Protactinium	Pa	91	(231)	15,37 (geschätzt)	(1230)	–	–
Quecksilber	Hg	80	200,59	13,55	-38,87	357	0,138
Radium	Ra	88	(226)	5,0	700	–	–
Radon	Rn	86	(222)	$9,96 \cdot 10^{-3}$ (0 °C)	(-71)	-61,8	0,092
Rhenium	Re	75	186,2	21,02	3180	5900	0,134
Rhodium	Rh	45	102,905	12,41	1963	4500	0,243
Rubidium	Rb	37	85,47	1,532	39,49	688	0,364
Ruthenium	Ru	44	101,107	12,37	2250	4900	0,239
Rutherfordium	Rf	104	261,11	–	–	–	–
Samarium	Sm	62	150,35	7,52	1072	1630	0,197
Sauerstoff	O	8	15,9994	$1,3318 \cdot 10^{-3}$	-218,80	-183,0	0,913
Scandium	Sc	21	44,956	2,99	1539	2730	0,569
Schwefel	S	16	32,064	2,07	119,0	444,6	0,707
Seaborgium	Sg	106	263,118	–	–	–	–

Element	Symbol	Ordnungs- zahl Z	Molare Masse (g/mol)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> bei 20 °C)	Schmelzpunkt (°C)	Siedepunkt (°C)	Spezifische Wärme (J/(g · °C) bei 25 °C)
Selen	Se	34	78,96	4,79	221	685	0,318
Silber	Ag	47	107,870	10,49	960,8	2210	0,234
Silicium	Si	14	28,086	2,33	1412	2680	0,712
Stickstoff	N	7	14,0067	1,1649 · 10 <sup>-3</sup>	-210	-195,8	1,03
Strontium	Sr	38	87,62	2,54	768	1380	0,737
Tantal	Ta	73	180,948	16,6	3014	5425	0,138
Technetium	Tc	43	(99)	11,46	2200	-	0,209
Tellur	Te	52	127,60	6,24	449,5	990	0,201
Terbium	Tb	65	158,924	8,229	1357	2530	0,180
Thallium	Tl	81	204,37	11,85	304	1457	0,130
Thorium	Th	90	(232)	11,72	1755	(3850)	0,117
Thulium	Tm	69	168,934	9,32	1545	1720	0,159
Titan	Ti	22	47,90	4,54	1670	3260	0,523
Unbenannt	Uun	110	(269)	-	-	-	-
Unbenannt	Uuu	111	(272)	-	-	-	-
Unbenannt	Uub	112	(264)	-	-	-	-
Unbenannt	Uut	113	-	-	-	-	-
Unbenannt	Unq	114	(285)	-	-	-	-
Unbenannt	Uup	115	-	-	-	-	-
Unbenannt	Uuh	116	(289)	-	-	-	-
Unbenannt	Uus	117	-	-	-	-	-
Unbenannt	Uuo	118	(293)	-	-	-	-
Uran	U	92	(238)	18,95	1132	3818	0,117
Vanadium	V	23	50,942	6,11	1902	3400	0,490
Wasserstoff	H	1	1,00797	0,08375 · 10 <sup>-3</sup>	-259,19	-252,7	14,4
Wolfram	W	74	183,85	19,3	3380	5930	0,134
Xenon	Xe	54	131,30	5,495 · 10 <sup>-3</sup>	-111,79	-108	0,159
Ytterbium	Yb	70	173,04	6,965	824	1530	0,155
Yttrium	Y	39	88,905	4,469	1526	3030	0,297
Zink	Zn	30	65,37	7,133	419,58	906	0,389
Zinn	Sn	50	118,69	7,2984	231,868	2270	0,226
Zirconium	Zr	40	91,22	6,506	1852	3580	0,276

In Klammern gesetzte molare Massen gehören zum längstlebigen Isotop des radioaktiven Elements. Schmelzpunkte und Siedepunkte in Klammern sind nicht exakt bekannt.

*Quelle:* In geänderter Form übernommen aus J. Emsley, *The Elements*, 3. Aufl., Clarendon Press, Oxford 1998. Aktuellste Werte und Angaben zu neu entdeckten Elementen finden Sie unter [www.webelements.com](http://www.webelements.com).

Die Angaben für Gase gelten nur für deren normalen molekularen Zustand, etwa H<sub>2</sub>, He, O<sub>2</sub>, Ne usw. Die spezifischen Wärmekapazitäten der Gase sind für konstanten Druck angegeben.

## F Ergebnisse der Kontrollfragen

### Kapitel 2

**Kontrollfragen.** 1. b und c 2. null (Verschiebung bei gesamter Fahrt ist null) 3. (betrachten Sie die Ableitung  $dx/dt$ ) (a) 1 und 4; (b) 2 und 3 4. (siehe Strategie 5) (a) plus; (b) minus; (c) minus; (d) plus 5. 1 und 4 ( $a = d^2x/dt^2$  muss eine Konstante sein) 6. (a) plus (Verschiebung die  $y$ -Achse aufwärts); (b) minus (Verschiebung die  $y$ -Achse abwärts); (c)  $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$

### Kapitel 3

**Kontrollfragen.** 1. (a) 7 m ( $\vec{a}$  und  $\vec{b}$  zeigen in die gleiche Richtung); (b) 1 m ( $\vec{a}$  und  $\vec{b}$  zeigen in entgegengesetzte Richtungen) 2. c, d, f (Komponenten Spitze an Ende,  $\vec{a}$  reicht vom Ende der einen Komponente zur Spitze der anderen) 3. (a) +, +; (b) +, -; (c) +, + (Vektor reicht vom Ende von  $\vec{d}_1$  zur Spitze von  $\vec{d}_2$ ) 4. (a)  $90^\circ$ ; (b)  $0^\circ$  (Vektoren parallel, gleiche Richtung); (c)  $180^\circ$  (Vektoren antiparallel, entgegengesetzte Richtungen) 5. (a)  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ ; (b)  $90^\circ$

### Kapitel 4

**Kontrollfragen.** 1. (a)  $(8\vec{e}_x - 6\vec{e}_y) \text{ m}$ ; (b) ja, die  $xy$ -Ebene (keine  $z$ -Komponente) 2. ( $\vec{v}$  zeigt in Richtung der Tangente an die Bahnkurve und beginnt an der Bahnkurve) (a) erster Quadrant; (b) dritter 3. (zweite Ableitung nach der Zeit bilden) (1) und (3)  $a_x$  und  $a_y$  sind konstant, also ist  $\vec{a}$  konstant; (2) und (4)  $a_y$  ist konstant,  $a_x$  aber nicht, also ist auch  $\vec{a}$  nicht konstant 4.  $4 \text{ m/s}^3$ ,  $-2 \text{ m/s}$ ,  $3 \text{ m}$  5. (a)  $v_x$  ist konstant; (b)  $v_y$  ist anfangs positiv, läuft durch null und wird zunehmend negativ; (c) überall ist  $a_x = 0$ ; (d) überall ist  $a_y = -g$  6. (a)  $-(4 \text{ m/s})\vec{e}_x$ ; (b)  $-(8 \text{ m/s}^2)\vec{e}_y$  7. (a) 0, Entfernung ändert sich nicht; (b)  $+70 \text{ km/h}$ ; Entfernung nimmt zu; (c)  $+80 \text{ km/h}$ , Entfernung nimmt ab 8. (a) bis (c) nimmt zu

### Kapitel 5

**Kontrollfragen.** 1. c, d und e ( $\vec{F}_1$  und  $\vec{F}_2$  müssen Spitze an Ende gezeichnet werden,  $\vec{F}_{\text{eff}}$  wird von der Spitze des einen Pfeils bis zum Ende des anderen gemessen) 2. (a) und (b) 2 N, nach links (in jeder Situation ist die Beschleunigung null) 3. (a) und (b) 1, 4, 3, 2 4. (a) gleich; (b) größer (Beschleunigung nach oben, resultierende Kraft auf den Körper zeigt nach oben) 5. (a) gleich; (b) größer; (c) kleiner 6. (a) nehmen zu; (b) ja; (c) gleich; (d) ja 7. (a)  $F \sin \theta$ ; (b) nimmt zu 8. 0 (weil jetzt  $a = -g$ )

### Kapitel 6

**Kontrollfragen.** 1. (a) null (der Block bewegt sich nicht über den Boden); (b) 5 N; (c) nein; (d) ja; (e) 8 N 2. (a) gleich, 10 N; (b) nimmt ab; (c) nimmt ab (weil  $N$  abnimmt) 3. größer ( $v_t$  hängt von  $\sqrt{R}$  ab, siehe Beispielaufgabe 6-5) 4. ( $\vec{a}$  zeigt zum Mittelpunkt der Kreisbahn) (a)  $\vec{a}$  nach unten,  $\vec{N}$  nach oben; (b)  $\vec{a}$  und  $\vec{N}$  nach oben 5. (a) bleibt gleich (muss der Gravitationskraft auf die Person entsprechen); (b) nimmt zu ( $N = mv^2/R$ ); (c) nimmt zu ( $f_{s,\text{max}} = \mu_s N$ ) 6. (a)  $4R_1$ ; (b)  $4R_1$

### Kapitel 7

**Kontrollfragen.** 1. (a) nimmt ab; (b) gleich; (c) negativ, null 2. d, c, b, a 3. (a) gleich; (b) kleiner 4. (a) positiv; (b) negativ; (c) null 5. null

### Kapitel 8

**Kontrollfragen.** 1. nein (betrachten Sie den Umlauf in der kleineren Schleife) 2. 3, 1, 2 (siehe Gl. 8-6) 3. (a) alle gleichauf; (b) alle gleichauf 4. (a)  $CD$ ,  $AB$ ,  $BC$  (null) (betrachten Sie den Betrag der Steigungen); (b) positive  $x$ -Richtung 5. alle gleichauf

### Kapitel 9

**Kontrollfragen.** 1. (a) Ursprung; (b) vierter Quadrant; (c) auf der  $y$ -Achse unterhalb des Ursprungs; (d) Ursprung; (e) dritter Quadrant; (f) Ursprung 2. (a) bis (c) im Schwerpunkt, unverändert im Ursprung (es handelt sich um innere Kräfte des Systems, deshalb kann sich der Schwerpunkt nicht bewegen) 3. (betrachten Sie die Steigungen und Gl. 9-23) (a) 1, 3, dann 2 und 4 gleichauf (Kraft ist null); (b) 3 4. (keine resultierende äußere Kraft;  $\vec{P}$  erhalten) (a) 0; (b) nein; (c)  $-x$  5. (a)  $500 \text{ km/h}$ ; (b)  $2600 \text{ km/h}$ ; (c)  $1600 \text{ km/h}$  6. (a) ja; (b) nein (resultierende Kraft wirkt entlang  $y$ )

### Kapitel 10

**Kontrollfragen.** 1. (a) unverändert; (b) unverändert (siehe Gl. 10-4); (c) reduziert sie (siehe Gl. 10-8) 2. (a) null; (b) positiv ( $p_y$  am Anfang  $y$ -Achse nach unten, am Ende nach oben); (c) positive  $y$ -Richtung 3. (a)  $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (c)  $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  4. (a)  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (c)  $3 \text{ J}$  5. (a)  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (Impuls entlang  $x$  erhalten); (b)  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (Impuls entlang  $y$  erhalten)

### Kapitel 11

**Kontrollfragen.** 1. (b) und (c) 2. (a) und (d) ( $\alpha = d^2\theta/dt^2$  muss konstant sein) 3. (a) ja; (b) nein; (c) ja; (d) ja 4. alle gleichauf 5. 1, 2, 4, 3 (siehe Gl. 11-29) 6. (siehe Gl. 11-32) 1 und 3 gleichauf, dann 4, dann 2 und 5 gleichauf (null) 7. (a) in der Skizze nach unten ( $\tau_{\text{eff}} = 0$ ); (b) kleiner (betrachten Sie die Hebelarme)

### Kapitel 12

**Kontrollfragen.** 1. (a) gleich groß; (b) kleiner 2. eine geringere Höhe (betrachten Sie die Umwandlung von kinetischer Energie der Rotation in potenzielle Energie der Gravitation) 3. (zeichnen Sie die Vektoren, wenden Sie die Rechte-Hand-Regel an) (a)  $\pm z$ ; (b)  $+y$ ; (c)  $-x$  4. (siehe Gl. 12-21) (a) 1 und 3 gleichauf, dann 2 und 4 gleichauf, dann 5 (null); (b) 2 und 3 5. (siehe Gl. 12-23 und Gl. 12-16) (a) 3, 1, dann 2 und 4 gleichauf (null); (b) 3 6. (a) alle gleichauf ( $\tau$  gleich,  $t$  gleich, also auch  $\Delta L$  gleich); (b) Kugel, Scheibe, Reifen (in umgekehrter Reihenfolge von  $L$ ) 7. (a) nimmt ab; (b) gleich ( $\tau_{\text{eff}} = 0$ , also  $L$  erhalten); (c) nimmt zu

### Kapitel 13

**Kontrollfragen.** 1. c, e, f 2. direkt unterhalb des Spießes (Drehmoment auf den Apfel infolge von  $\vec{F}_g$  bezüglich des Spießes ist null) 3. (a) nein; (b) in den Angriffspunkt von  $\vec{F}_1$ , senkrecht zur Papierebene; (c)  $45 \text{ N}$  4. (a) in  $C$  (um Kräfte aus der Drehmomentgleichung zu eliminieren); (b) plus; (c) minus; (d) gleich 5. d 6. (a) gleich; (b)  $B$ ; (c)  $B$

## Kapitel 14

**Kontrollfragen.** 1. alle gleichauf 2. (a) 1, dann 2 und 4 gleichauf, dann 3; (b) näher an  $d$  3. negative  $y$ -Richtung 4. (a) größer; (b) negativ 5. (a) 2; (b) 1 6. (a) Weg 1 – verringertes (negativeres)  $E$  ergibt verringertes  $a$ ; (b) kleiner – verringertes  $a$  ergibt verringertes  $T$

## Kapitel 15

**Kontrollfragen.** 1. alle gleichauf 2. (a) alle gleichauf (die Gravitationskraft auf den Pinguin ist dieselbe); (b)  $0,95\rho_0$ ,  $\rho_0$ ,  $1,1\rho_0$  3.  $13\text{ cm}^3/\text{s}$ , nach außen 4. (a) alle gleichauf; (b) 1, dann 2 und 3 gleichauf, dann 4 (größerer Rohrdurchmesser = langsamere Strömung); (c) 4, 3, 2, 1 (je größer der Durchmesser und je tiefer das Rohr, desto größer der Druck)

## Kapitel 16

**Kontrollfragen.** 1. (skizzieren Sie  $x$  als Funktion von  $t$ ) (a)  $-x_m$ ; (b)  $+x_m$ ; (c) 0 2.  $a$  ( $F$  muss die in Gl. 6-10 angegebene Form haben) 3. (a) 5 J; (b) 2 J; (c) 5 J 4. alle gleichauf (in Gl. 16-29 ist  $m$  in  $I$  enthalten) 5. 1, 2, 3 (es zählt das Verhältnis  $m/b$ ,  $k$  hingegen nicht)

## Kapitel 17

**Kontrollfragen.** 1. a, 2; b, 3; c, 1 (vergleichen Sie mit der Phase in Gl. 17-2, siehe dann Gl. 17-5) 2. (a) 2, 3, 1 (siehe Gl. 17-12); (b) 3, dann 1 und 2 gleichauf (ermitteln Sie die Amplitude von  $dy/dt$ ) 3. (a) bleibt gleich (unabhängig von  $f$ ); (b) wird kleiner ( $\lambda = v/f$ ); (c) wird größer; (d) wird größer 4. (a) wird größer; (b) wird größer; (c) wird größer 5. 0,20 und 0,80 gleichauf, dann 0,60, dann 0,45 6. (a) 1; (b) 3; (c) 2 7. (a) 75 Hz; (b) 525 Hz

## Kapitel 18

**Kontrollfragen.** 1. beginnt abzunehmen (Beispiel: Bewegen Sie gedanklich die Kurven in Abb. 18-7 nach rechts am Punkt  $x = 42\text{ m}$  vorbei.) 2. (a) 0, vollständig konstruktiv; (b)  $4\lambda$ , vollständig konstruktiv 3. (a) 1 und 2 gleichauf, dann 3 (siehe Gl. 18-28); (b) 3, dann 1 und 2 gleichauf (siehe Gl. 18-26) 4. die zweite Mode (siehe Gl. 18-39 und Gl. 18-41) 5. lockern 6. (a) größer; (b) kleiner; (c) keine Aussage; (d) keine Aussage; (e) größer; (f) kleiner 7. (Geschwindigkeiten relativ zur Luft) (a) 222 m/s; (b) 222 m/s

## Kapitel 19

**Kontrollfragen.** 1. (a) alle gleichauf; (b)  $50^\circ\text{X}$ ,  $50^\circ\text{Y}$ ,  $50^\circ\text{W}$  2. (a) 2 und 3 gleichauf, dann 1, dann 4; (b) 3, 2, dann 1 und 4 gleichauf (siehe Gl. 19-9 und Gl. 19-10; die Flächenänderung sei proportional zur Anfangsfläche) 3.  $A$  (siehe Gl. 19-14) 4.  $c$  und  $e$  (die von einem Zyklus in Uhrzeigerichtung eingeschlossene Fläche ist maximal) 5. (a) alle gleichauf ( $\Delta E_{\text{int}}$  hängt von  $i$  und  $f$  ab, nicht aber vom Weg); (b) 4, 3, 2, 1 (vergleichen Sie die Flächen unter den Kurven); (c) 4, 3, 2, 1 (siehe Gl. 19-26) 6. (a) null (geschlossener Kreis); (b) negativ ( $W_{\text{eff}}$  ist negativ, siehe Gl. 19-26) 7.  $b$  und  $d$  gleichauf, dann  $a$ , dann  $c$  ( $P_L$  identisch, siehe Gl. 19-32)

## Kapitel 20

**Kontrollfragen.** 1. alle außer  $c$  2. (a) alle gleichauf; (b) 3, 2, 1 3. Gas  $A$  4. 5 (größte Änderung von  $T$ ), dann gleichauf 1, 2, 3 und 4 5. 1, 2, 3 ( $Q_3 = 0$ ,  $Q_2$  fließt in Arbeit  $W_2$ , aber  $Q_1$  fließt in die größere Arbeit  $W_1$  und erhöht die Temperatur des Gases)

## Kapitel 21

**Kontrollfragen.** 1. a, b, c 2. kleiner ( $Q$  ist kleiner) 3. c, b, a 4. a, d, c, b 5. b

## Kapitel 22

**Kontrollfragen.** 1.  $C$  und  $D$  ziehen einander an,  $B$  und  $D$  ziehen einander an 2. (a) nach links; (b) nach links; (c) nach links 3. (a)  $a$ ,  $c$ ,  $b$ ; (b) kleiner 4.  $-15e$  (die Nettoladung von  $-30e$  wird gleichmäßig geteilt)

## Kapitel 23

**Kontrollfragen.** 1. (a) nach rechts; (b) nach links; (c) nach links; (d) nach rechts ( $p$  und  $e$  haben vom Betrag her gleiche Ladungen;  $p$  ist weiter entfernt) 2. alle gleichauf 3. (a) nach  $+y$ ; (b) nach  $+x$ ; (c) nach  $-y$  4. (a) nach links; (b) nach links; (c) nimmt ab 5. (a) alle gleichauf; (b) 1 und 3 gleichauf, dann 2 und 4 gleichauf

## Kapitel 24

**Kontrollfragen.** 1. (a)  $+EA$ ; (b)  $-EA$ ; (c) 0; (d) 0 2. (a) 2; (b) 3; (c) 1 3. (a) gleich; (b) gleich; (c) gleich 4. (a)  $+50e$ ; (b)  $-150e$  5. 3 und 4 gleichauf, dann 2, dann 1

## Kapitel 25

**Kontrollfragen.** 1. (a) negativ; (b) nimmt zu 2. (a) positiv; (b) höheren Potentials 3. (a) nach rechts; (b) 1, 2, 3, 5 positiv; 4 negativ; (c) 3, dann 1, 2 und 5 gleichauf, dann 4 4. alle gleichauf 5.  $a$ ,  $c$  (null),  $b$  6. (a) 2, dann 1 und 3 gleichauf; (b) 3; (c) beschleunigt nach links

## Kapitel 26

**Kontrollfragen.** 1. (a) bleibt gleich; (b) bleibt gleich 2. (a) nimmt ab; (b) nimmt zu; (c) nimmt ab 3. (a)  $V$ ,  $q/2$ ; (b)  $V/2$ ,  $q$  4. (a)  $q_0 = q_1 + q_{34}$ ; (b) gleich (Reihenschaltung!) 5. (a) konstant; (b) bis (d) nimmt zu; (e) konstant (gleiche Potentialdifferenz bei gleichem Plattenabstand) 6. (a) bleibt gleich; (b) nimmt ab; (c) nimmt zu

## Kapitel 27

**Kontrollfragen.** 1. 8 A, nach rechts 2. (a) bis (c) nach rechts 3.  $a$  und  $c$  gleichauf, dann  $b$  4. Bauelement 2 5. (a) und (b) gleichauf, dann (d), dann (c)

## Kapitel 28

**Kontrollfragen.** 1. (a) nach rechts; (b) alle gleichauf; (c)  $b$ , dann  $a$  und  $c$  gleichauf; (d)  $b$ , dann  $a$  und  $c$  gleichauf 2. (a) alle gleichauf; (b)  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  3. (a) kleiner; (b) größer; (c) gleich 4. (a)  $V/2$ ,  $i$ ; (b)  $V$ ,  $i/2$  5. (a) 1, 2, 4, 3; (b) 4, dann 1 und 2 gleichauf, dann 3

## Kapitel 29

**Kontrollfragen.** 1.  $a: +z; b: -x; c: \vec{F}_B = 0$  2. (a) 2, dann 1 und 3 gleichauf (null); (b) 4 3. (a)  $+z$  und  $-z$  gleichauf, dann  $+y$  und  $-y$  gleichauf, dann  $+x$  und  $-x$  gleichauf (null); (b)  $+y$  4. (a) Elektron; (b) im Uhrzeigersinn 5.  $-y$  6. (a) alle gleichauf; (b) 1 und 4 gleichauf, dann 2 und 3 gleichauf

## Kapitel 30

**Kontrollfragen.** 1.  $a, c, b$  2.  $b, c, a$  3.  $d$ , dann  $a$  und  $c$  gleichauf, dann  $b$  4.  $d, a$ , dann gleichauf  $b$  und  $c$  (null)

## Kapitel 31

**Kontrollfragen.** 1.  $b$ , dann  $d$  und  $e$  gleichauf, dann  $a$  und  $c$  gleichauf (null) 2.  $a$  und  $b$  gleichauf, dann  $c$  (null) 3.  $c$  und  $d$  gleichauf, dann  $a$  und  $b$  gleichauf 4.  $b$  heraus;  $c$  heraus;  $d$  hinein;  $e$  hinein 5.  $d$  und  $e$  6. (a) 2, 3, 1 (null); (b) 2, 3, 1 7.  $a$  und  $b$  gleichauf, dann  $c$

## Kapitel 32

**Kontrollfragen.** 1.  $d, b, c, a$  (null) 2. (a) 2; (b) 1 3. (a) weg; (b) weg; (c) kleiner 4. (a) auf ihn zu; (b) auf ihn zu; (c) kleiner 5.  $a, c, b, d$  (null) 6.  $b, c$  und  $d$  gleichauf, dann  $a$

## Kapitel 33

**Kontrollfragen.** 1. (a)  $T/2$ ; (b)  $T$ ; (c)  $T/2$ ; (d)  $T/4$  2. (a) 5 V; (b) 150  $\mu\text{J}$  3. (a) bleibt gleich; (b) bleibt gleich 4. (a)  $C, B, A$ ; (b) 1:  $A, 2: B, 3: S, 4: C$ ; (c)  $A$  5. (a) bleibt gleich; (b) nimmt zu 6. (a) bleibt gleich; (b) nimmt ab 7. (a) 1: eilt nach, 2: eilt voran, 3: in Phase; (b) 3 ( $\omega_a = \omega$  für  $X_L = X_C$ ) 8. (a) erhöhen (Stromkreis ist vorwiegend kapazitiv;  $C$  ist zu erhöhen, damit  $X_C$  abnimmt und die Resonanz für das Maximum  $P_{\text{mit}}$  näher liegt); (b) nähern 9. (a) größer; (b) Step-up

## Kapitel 34

**Kontrollfragen.** 1. (a) (siehe Abb. 34-5) Auf der rechten Seite des Rechtecks zeigt  $\vec{E}$  in negativer  $y$ -Richtung; auf der linken Seite ist  $\vec{E} + d\vec{E}$  größer und zeigt in die gleiche Richtung; (b)  $\vec{E}$  zeigt nach unten. Auf der rechten Seite zeigt  $\vec{B}$  in negativer  $z$ -Richtung; auf der linken Seite ist  $\vec{B} + d\vec{B}$  größer und zeigt in die gleiche Richtung. 2. positive  $x$ -Richtung 3. (a) bleibt gleich; (b) nimmt ab 4.  $a, d, b, c$  (null) 5. a 6. (a) nein; (b) ja

## Kapitel 35

**Kontrollfragen.** 1.  $0,2d, 1,8d, 2,2d$  2. (a) reell; (b) umgekehrt; (c) auf der gleichen Seite 3. (a)  $e$ ; (b) virtuell, ja 4. virtuell, wie Objekt, Zerstreuungslinse

## Kapitel 36

**Kontrollfragen.** 1.  $b$  (kleinstes  $n$ ),  $c, a$  2. (a) das obere; (b) recht hell, Phasendifferenz beträgt 2,1 Wellenlängen 3. (a)  $3\lambda, 3$ ; (b)  $2,5\lambda, 2,5$  4.  $a$  und  $d$  gleichauf (Amplitude der resultierenden Welle ist  $4E_0$ ), dann  $b$  und  $c$  gleichauf (Amplitude der resultierenden Welle ist  $2E_0$ ) 5. (a) 1 und 4; (b) 1 und 4

## Kapitel 37

**Kontrollfragen.** 1. (a) wird größer; (b) wird größer 2. (a) zweites Nebenmaximum; (b) 2,5 3. (a) rot; (b) violett 4. schlechter auflösbar 5. (a) nimmt zu; (b) bleibt gleich 6. (a) links; (b) kleiner

## Kapitel 38

**Kontrollfragen.** 1. (a) gleich (Postulat der Lichtgeschwindigkeit); (b) nein (Start und Ende des Fluges sind räumlich getrennt); (c) nein (seine Messung liefert keine Eigenzeit) 2. (a) Sallys; (b) Sallys 3.  $a$ : positiv;  $b$ : negativ; (c) positiv 4. (a) rechts; (b) größer 5. (a) gleich; (b) kleiner

## Kapitel 39

**Kontrollfragen.** 1.  $b, a, d, c$  2. (a) Lithium, Natrium, Kalium, Caesium; (b) alle gleichauf 3. (a) beide gleich, (b) bis (d) bei Röntgenstrahlen 4. (a) Proton; (b) gleich; (c) Proton 5. gleich

## Kapitel 40

**Kontrollfragen.** 1.  $b, a, c$  2. (a) alle gleichauf; (b)  $a, b, c$  3.  $a, b, c, d$  4.  $E_{1,1}$  (weder  $n_x$  noch  $n_y$  kann null werden) 5. (a) 5; (b) 7

## Kapitel 41

**Kontrollfragen.** 1. 7 2.  $^{90}\text{As}$  und  $^{158}\text{Nd}$  3. etwas mehr als 75 Bq (die vergangene Zeit ist etwas kürzer als drei Halbwertszeiten) 4.  $^{206}\text{Pb}$

## Kapitel 42

**Kontrollfragen.** 1. (a) größer; (b) gleich 2. Frankfurt: Metall, Zürich: keines davon, Wien: Halbleiter 3.  $a, b$  und  $c$  4.  $b$



## Kapitel 1

Seite 7: Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen. Seite 9: Photograph courtesy of the BIPM (Bureau International des Poids et Mesures, France).

## Kapitel 2

Seite 20: U.S. Air Force. Seite 21: U.S. Air Force. Seite 26: Erich Schrempp/NAS/OKAPIA.

## Kapitel 4

Seite 65: Dr. Gary Settles/Science Photo Library/FOCUS. Seite 66: © Richard Megna/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC. Seite 67: © Jurphotography (Glen Erspamer Jr.)/Dreamstime.com.

## Kapitel 5

Seite 96: picture alliance/Associated Press.

## Kapitel 6

Seite 116: John Kelly/Getty Images. Seite 121: NASA photo. Seite 122: Photograph reproduced with permission of Circus World Museum.

## Kapitel 7

Seite 129: The Library of Congress, USA. Seite 147: AB Volvo.

## Kapitel 8

Seite 159: Jeff Schultz/Alaska Stock, USA. Seite 169: David Nuluk/Science Photo Library/FOCUS. Seite 171: Deep Light Production/Science Photo Library/FOCUS.

## Kapitel 9

Seite 176: © Charles Miller, North Point Photo. Seite 191: NASA photo.

## Kapitel 10

Seite 200(a): David Parker/Science Photo Library/FOCUS. Seite 200(b): Science Photo Library/FOCUS. Seite 200(c): Vikki Hart/Getty Images. Seite 205: Daimler Chrysler AG, Stuttgart.

## Kapitel 11

Seite 218(a und b): picture alliance/dpa. Seite 228: ESA/CNES, M. Pedoussant. Seite 232: Test Devices, Inc.

## Kapitel 12

Seite 246: © Richard Megna/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC. Seite 247: Alice Halliday. Seite 261: Aus „Shepp's World Fair“ Photographed by James W. Shepp and Daniel B. Shepp, Globe Publishing Co., Chicago and Philadelphia, 1893.

## Kapitel 13

Seite 272: P. Trummer/Getty Images. Seite 273: picture alliance/dpa. Seite 286: Courtesy of Micro-Measurements, a brand of Vishay Precision Group, Raleigh, NC, USA.

## Kapitel 14

Seite 292: Lund Observatory. Seite 311: NASA photo.

## Kapitel 15

Seite 327: Will McIntyre/Photo Researchers/OKAPIA. Seite 328(links): D.H. Peregrine, University of Bristol. Seite 328(rechts): Volvo Car Corporation.

## Kapitel 17

Seite 383: © Richard Megna/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC. Seite 384: T. D. Rossing, Northern Illinois University.

## Kapitel 18

Seite 388: Sue Trainor/NAS/OKAPIA. Seite 396: Terry Why/OKAPIA. Seite 400: Konstanzer Alphornensemble. Seite 409: US Department of Defense/Science Photo Library/FOCUS.

## Kapitel 19

Seite 417: Quelle ungeklärt.

## Kapitel 22

Seite 478: Charles D. Winters/NAS/OKAPIA. Seite 479: Xerox GmbH. Seite 481: Johann Gabriel Doppelmayr, Neuentdeckte Phaenomena von Bewunderungswürdigen Würckungen der Natur, Nürnberg, 1744.

## Kapitel 23

Seite 507: Cordelia Molloy/Science Photo Library/FOCUS.

## Kapitel 25

Seite 531: NOAA. Seite 544: Westinghouse Corporation.

## Kapitel 26

Seite 548: Volker Döring/BILDART.

## Kapitel 27

Seite 567: Volker Döring/BILDART. Seite 575: Welgos/Getty Images. Seite 578: Shoji Tanaka./International Superconductivity Technology Center Tokyo, Japan.

## Kapitel 28

Seite 582: Southern California Edison Company.

## Kapitel 29

Seite 606: DEMAG Cranes & Components, Wetter. Seite 608: Lawrence Berkeley Laboratory/Science Photo Library/FOCUS. Seite 609 und 615: Dr. Richard Cannon, Southeast Missouri State University Cape Girardeau, USA. Seite 618: Dr. L. A. Frank, University of Iowa, USA.

## Kapitel 30

Seite 633: PSSC Physics ©1965, Education Development Center, Inc. D.C. Heath & Company.

## Kapitel 31

Seite 651: Fender Musical Instruments GmbH, Düsseldorf. Seite 661: Photo Deutsches Museum München.

## Kapitel 32

Seite 666: Phywe Systeme GmbH, Göttingen. Seite 677: Ralph W. DeBlois.

## Kapitel 33

Seite 690: Agilent Technologies Deutschland GmbH, Elektronische Messtechnik, Boeblingen, <http://www.agilent.de>. Seite 714: Ted Cowell/Black Star.

## Kapitel 34

Seite 739: © Diane Hirsch/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC. Seite 741: Phywe Systeme GmbH, Göttingen. Seite 743(oben): Volker Döring/BILDART. Seite 743(unten): P. Trummer/Getty Images. Seite 746: © Thomas Seilnacht. Seite 747: Phywe Systeme GmbH, Göttingen.

## Kapitel 35

Seite 760: Dr. Paul A. Zahl/Photo Researchers/OKAPIA.

## Kapitel 36

Seite 770: Volker Döring/BILDART. Seite 772: Überarbeitet durch Perlin (alt: From Michael Cagnet, Maurice Franzon, and Jean Claude Thierr, Atlas of Optical Phenomena, Springer Verlag, New York, 1962. Reproduced with permission). Seite 782: © Richard Megna/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC.

## Kapitel 37

Seite 790: © Ken Kay/FUNDAMENTAL PHOTOGRAPHS, NYC. Seite 791 und 798: Überarbeitet durch Perlin (alt: From Michael Cagnet, Maurice Franzon, and Jean Claude Thierr, Atlas of Optical Phenomena, Springer Verlag, New York, 1962. Reproduced with permission). Seite 799(oben): Quelle ungeklärt. Seite 799(unten): Professoren P.M. Motta & S. Correr/Science Photo Library/FOCUS. Seite 802: Überarbeitet durch Perlin (alt: From Michael Cagnet, Maurice Franzon, and Jean Claude Thierr, Atlas of Optical Phenomena, Springer Verlag, New York, 1962. Reproduced with permission). Seite 806: Dept. of Physics, Imperial College/Science Photo Library/FOCUS. Seite 807: Damien Lovegrove/Science Photo Library/FOCUS.

## Kapitel 38

Seite 814: Photo Deutsches Museum München.

## Kapitel 39

Seite 846: A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda und T. Kawasaki/Advanced Research Laboratory, Hitachi, Ltd., Kokubunji, Tokyo; H. Ezawa, Department of Physics, Gakushuin University, Mejiro, Tokyo, Japan. Seite 847(links): Überarbeitet durch Perlin (alt: Courtesy Riber Division of Instruments, Inc.). Seite 847(rechts): Überarbeitet durch Perlin (From PSSC film "Matter Waves," courtesy Education Development Center, Newton, Massachusetts.). Seite 853: © IBMRL/Visuals Unlimited.

## Kapitel 40

Seite 873: From "Scientific American", January 1993, page 122. Foto: Michael Steigerwald, Bell Labs–LucentTechnologies. Seite 874: From "Scientific American", September 1995, page 67. Foto: H. Temkin, Texas Tech University. Seite 880: Überarbeitet durch Perlin (alt: W. Finkelburg, Structure of Matter, Springer-Verlag, 1964. Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung.).

## Kapitel 41

Seite 890: Warren Nagourney. Seite 899: CNRI/Science Photo Library/FOCUS. Seite 911: A. Schick/Bibelausstellung Sylt.

## Kapitel 42

Seite 937: Courtesy AT&T. Seite 939: Intel GmbH.

# H Index

- Abbildungsmaßstab, 756  
 Aberration  
   chromatische, 764  
   sphärische, 764  
 Abgeschlossenes System, 159, 171  
 Abschneidefrequenz, 837  
 Absolutbetrag, 13  
 Absoluter Nullpunkt, 412  
 Absorption, 835  
 Absortionslinien, 879  
 Adiabatischer Prozess, 429  
 Äquipotenzialfläche, 530  
 Äquivalenzdosis, 913  
 Aktivität, 906  
 Akzeptor, 931  
 Allgemeine Relativitätstheorie, 814  
 Alpha-Teilchen, 900  
 Alpha-Zerfall, 909  
 Ampère, André Marie, 640  
 Ampère-Faradaysches Gesetz, 680  
 Ampère-Maxwellsches Gesetz, 680, 685  
 Ampèresches Gesetz, 611, 639, 640, 643, 685  
 Ampere, 482, 561, 608, 639  
 Amperemeter, 599, 626  
 Amplitude, 339, 365  
 Analysator, 738  
 Angelegte Kraft, 141  
 Angeregte Zustände, 862  
 Aperiodischer Grenzfall, 696  
 Arbeit, 129, 140, 141, 143, 148, 420, 426, 467  
   Anheben und Absenken, 135, 148  
   Einheiten, 131  
   Federkraft, 149  
   Gravitationskraft, 134, 148  
   konstante Kraft, 148  
   resultierende, 131  
   Rotation, 238  
   veränderliche Kraft, 149  
   Vorzeichen, 131  
 Arbeitssubstanz, 462  
 Archimedisches Prinzip, 324  
 Arcsin, arccos und arctan, 38  
 Assoziativgesetz, 55  
 Atmosphäre, 317  
 Atomuhren, 7  
 Atomzahl, 900  
 Außerordentlicher Strahl, 745  
 Auflösbarkeit, 799  
 Auflösung  
   Optik, 799  
 Auflösungsvermögen, 763, 807, 808  
 Auftriebskraft, 324  
 Aufwärtstransformator, 715  
 Auge, 721  
   Beugungserscheinungen, 790  
   Empfindlichkeit, 721  
   Nahpunkt, 761  
 Aurora, 617  
 Ausdehnung  
   isotherme, 436, 458  
   thermische, 417  
 Auslenkung, 140, 149  
 Auslenkungsamplitude, 392  
 Äußere Kraft, 87  
 Austauschkopplung, 676, 677, 685  
 Austrittsarbeit, 837  
 Auto, Beschleunigung, 195  
 Avogadro-Zahl, 434, 562  
  
 Bahndrehimpuls, 670, 685  
   bei einem Elektron, 893  
   magnetische Quantenzahl, 670  
 Bahndrehimpulsquantenzahl, 881  
 Bahnkurven, 311  
 Bahnmoment, magnetisches, 670  
 Bahndipolmoment, magnetisches, 685  
 Ballistisches Pendel, 207  
 Balmer Gleichung, 876  
 Balmer, Johann, 876  
 Balmer-Serie, 880  
 Banddispersion, 928  
 Bandstruktur in Festkörpern, 919  
 Basiseinheiten, 2  
 Batterie, 549, 582  
 Beam-Splitter, 844  
 Becquerel  
   SI-Einheit, 906  
 Becquerel, Henri, 906  
 Bernoulli, Daniel, 331  
 Bernoulli-Gleichung, 331, 335  
 Beschleunigung, 19, 29, 62, 79  
   beim Abrollen von geneigter Ebene, 250  
   konstante, 22  
   radiale Komponente, 227  
   tangentielle Komponente, 227  
 Beschleunigungsamplitude, 341  
 Besetzungswahrscheinlichkeit, 924  
 Besetzungszahlinversion, 937  
 Beta-Zerfall, 910  
 Betrag, 13  
 Betrag-Winkel-Schreibweise, 35  
 Beugung, 770  
   am Doppelspalt, 801  
   am Einzelspalt, 791  
   an Kanten, 790  
   an kreisrunder Öffnung, 798  
   an Linsen, 798  
   und Interferenz, 802  
   und Spaltbreite, 770  
   von Wasserwellen, 770  
 Beugungsgitter, 804  
 Beugungslinie  
   Halbwertsbreite, 805  
 Beugungsmuster, 790  
   Geometrie, 792, 793, 796  
   Hüllkurve, 801  
   Intensität, 794, 796  
 Beugungsterm, 802  
  
 Bewegung  
   gleichmäßig beschleunigte, 22, 25, 29, 30  
   horizontale, 66  
   periodische, 339  
   vertikale, 67  
 Bewegungsgleichungen  
   Rotation und Translation, 224  
 Bezugslinie  
   bei der Rotation, 218  
 Bezugssystem, 75  
   inertiales, 84, 107, 814  
   Ruhsystem, 821  
 Bild  
   in der Optik, 752  
   reelles, 752  
   virtuelles, 752  
 Bildröhre, 611  
 Bildweite, 753  
 Bimetallthermometer, 417  
 Bindungsenergie  
   pro Nukleon, 903  
   von Atomkernen, 903  
 Binning, Gerd, 853  
 Biot-Savartsches Gesetz, 633, 635, 637, 640, 643  
 Blasenkammer, 608  
 Bogenmaß, 218  
 Bohrradius, 877  
 Bohrsche Hypothesen, 876  
 Bohrsches Atommodell, 877  
 Bohrsches Magneton, 669, 684, 893  
 Boltzmann-Konstante, 435, 674  
 Boltzmannsche Entropie-Gleichung, 473  
 Bragg, W. L., 811  
 Braggscher Winkel, 811  
 Braggsches Gesetz, 811  
 Brechung, 741  
   Bildentstehung, 759  
 Brechungsgesetz, 741, 767  
   und Huygenssches Prinzip, 767  
 Brechungsindex, 741  
   Definition, 767  
   Tabelle, 741  
   und Phasendifferenz, 768  
   und Wellenlänge, 768  
 Brechungswinkel, 741  
 Brennebene, 773  
 Brennpunkt  
   Kugelspiegel, 755  
   reeller, 755  
   virtueller, 755  
 Brennpunktstrahlen, 758  
 Brennstoffzellen, 582  
 Brennweite  
   Kugelspiegel, 755  
 Brewster, Sir David, 749  
 Brewster-Winkel, 748  
 Brewstersches Gesetz, 749  
 Buckyballs, 846

- <sup>14</sup>C-Methode, 911
- Cadmiumselenid, 872
- Carnot-Kältemaschine, 468
- Carnot-Maschine, 462
  - Arbeit, 463
  - Entropieänderung, 464
  - Wirkungsgrad, 464
- Carnot-Zyklus, 462
- CAT-Scanner, 899
- Celsius-Skala, 415
- Chip, 939
- Chromatische Dispersion, 742
- Compton, Arthur, 840
- Compton-Effekt, 840
- Compton-Länge, 841
- Compton-Streuung, 840
- Compton-Verschiebung, 840
- Compton-Wellenlänge, 841
- Cooper-Paare, 578
- Corioliskraft, 359
- Coulomb, 482
- Coulombsches Gesetz, 481, 512, 519
- Curie
  - SI-Einheit, 906
- Curie-Konstante, 674
- Curie-Temperatur, 676, 685
- Curisches Gesetz, 674, 685
  
- Dämpfungskoeffizient, 355
- Dampf, 422
- Davison, C. J., 845
- De Broglie, Louis, 845
- De Broglie-Wellenlänge, 845
- De Haas, W. J., 891
- Dehnung, 285
- Deklination, 667, 684
- Depletion zone, 933
- Dezibel, 397
- Diamagnetismus, 672, 673, 685
- Diamantgitter, 918
- Dichte, 316
- Dielektrizitätskonstante, 482
- Diels, Jean-Claude, 844
- Differenzielle Maxwell-Gleichungen, 722
- Differenzvektor, 33
- Diffusionsstrom, 933
- Diode, 571, 576
- Dipol
  - Drehmoment, 508
  - elektrischer, 494, 536
  - Feld, 497
  - im elektrischen Feld, 507
  - magnetischer, 666
  - potenzielle Energie, 508
- Dipolmoment, 537
  - effektives magnetisches, 895
  - elektrisches, 498
  - induziertes, 537
  - magnetisches, 627, 893
    - der Erde, 667
  - permanentes, 537
- Dispersion, 808
  - Beugungsgitter, 807
  - chromatische, 742
- Dispersionsprisma, 743
- Dissipation, 575
  - elektrischer Energie, 589
- Distributivgesetz, 44
- Divergenz, 51, 56
- Donator, 930
- Doppelbrechung, 746
- Doppelspalt
  - Beugung, 801
- Doppelspaltexperiment, 843
- Doppelspaltversuch von Young, 771
- Doppler-Effekt, 404, 410
- Dotierung, 576, 929
  - Fremdatom, 929
  - n*-dotiert, 929
  - p*-dotiert, 929
- Drehachse, *siehe* Rotationsachse
- Drehbewegung, *siehe* Rotation
- Drehimpuls, 185, 254, 255, 668
  - bei beliebiger Bewegung, 254
  - Beispiele, 263
  - Definition, 254
  - Erhaltung, 262, 263
  - Mehrteilchen-System, 258
  - starrer Körper, 259
  - und Bezugspunkt, 255
- Drehmoment, 349, 624
  - als Vektor, 252
  - auf beliebigem Weg, 252
  - Definition, 233
  - resultierendes, 234
- Drehspulinstrumente, 626
- Drehwinkel, 219
  - als Vektor, 223
  - Vorzeichen, 219
- Dreidimensionale, 144
- Driftbewegung
  - der Leitungselektronen, 572
- Driftgeschwindigkeit
  - der Ladungsträger in Leitern, 564
  - Messung, 613
- Druck, 285, 316, 319, 335
  - absoluter, 319
  - atmosphärischer, 321
  - hydrostatischer, 318
- Druckamplitude, 392
- Drucksensor, 317
- Durchbruch
  - elektrischer in Luft, 506
- Durchlasskoeffizient, 853
- Durchlassrichtung, 934
- Durchlassstrom, 934
- Durchschnittsbeschleunigung, 19, 29, 62, 79
- Durchschnittsgeschwindigkeit, 13, 29, 60, 79
  
- Ebene
  - geneigte, 249
  - komplexe, 53
  - reflektierende, 811
- Effektivgeschwindigkeit, 29
- Effektivwert, 711
- Eigenlänge, 824
- Eigenzeitintervall, 820
- Eindimensionale, 143
- Einfallender Strahl, 741
- Einfallsebene, 741
- Einfallswinkel, 741
- Einheit, 2, 16
- Einheitensystem
  - internationales, 2
- Einheitsvektor, 39, 55
  - Schreibweise, 40, 55
- Einstein, Albert, 814
- Einstein-de Haas-Experiment, 891
- Einsteinsche Postulate, *siehe* Postulate, Relativitätstheorie
- Eisenfeilspäne, 633, 666
- Elastizität, 284
- Elastizitätsmodul, 285, 286, 289
- Elektrische Gitarre, 651
- Elektrisches Feld, 492
  - differenzielles, 632
  - einer Punktladung, 495
  - induziertes, 656, 658, 663
- Elektrizität, 478
- Elektromagnetische Kanone, 639
- Elektromagnetische Welle, 720
  - Ausbreitungsgeschwindigkeit, 724
  - elektrisches Feld, 726
  - Energietransport, 730
  - Erzeugung im Schwingkreis, 724
  - Komponenten, 724
  - magnetisches Feld, 729
  - Merkmale, 724
  - polarisierte, 736
  - Zeigerdarstellung, 776
- Elektromagnetismus, 478, 606
- Elektromotoren, 624
- Elektron, 478, 480, 611
  - Entdeckung, 612
- Elektron-Loch-Rekombination, 935
- Elektronenfall, 861
- Elektronenmikroskope, 799
- Elektronenschale, 885
- Elektronenspin, 892
- Elektronenvolt, 529
- Elektrostatik, 479, 512
  - Kugelschalentheoreme, 482
- Elektrostatische Konstante, 481
- Elementarladung, 505
- Elementarwellen, 766
  - und Beugung, 770
- Elementarzelle, 810, 918
- Emission, 835
  - spontane, 863
- Emissionslinien, 806, 879
- Endgeschwindigkeit, 116, 117, 125
- Energie, 128
  - elastische potenzielle, 157, 174
  - innere, 171, 428, 448
  - kinetische, 128, 148, 345
    - der Rotation, 229
    - Rollbewegung, 248
  - mechanische, 159, 174, 346
  - potenzielle, 152, 156, 163, 173, 301, 313, 345
    - eines magnetischen Dipols, 627
    - elastische, 152

- elektrische, 526, 529
- der Gravitation, 156, 174, 301
- grafische Darstellung, 174
- thermische, 153, 174, 420
- Energieband, 919
- Energiedissipation
  - in einem Widerstand, 575
- Energiedosis, 912
- Energieerhaltung, 171
- Energieerhaltungssatz, 171, 174
  - der Mechanik, 159, 174
- Energielücke, 919
- Energieniveau, 862
  - Darstellung, 862
  - des Wasserstoffatoms, 879
- Energiequantenzahl, 878
- Energiequantisierung, 856, 878
- Energietransport, 373
- Energieumwandlung, 194
- Energiewerte
  - entartete, 875
- Entropie, 456
  - eines reversiblen Prozesses, 460
- Entropieänderung, 457
- Entropiepostulat, 456, 461
- Erdbeschleunigung, 30, 299, 313, 351
- Erdmagnetfeld, 668, 684
- Erdmagnetismus, 667
- Erdrotation, 298, 358
- Ereignis, physikalisches, 814, 816
- Ereignishorizont, 299
- Erhaltungssatz
  - Drehimpuls, 262
- Ersatzschaltbild, 586
- Esaki, Leo, 853
- Euler-Formel, 54, 56
- Euro
  - Beispiel einer Quantisierung, 834
- Fahrenheit-Skala, 415
- Fallbeschleunigung, 299
- Faradaysches Gesetz, 648
- Faradaysches Induktionsgesetz, 646, 647, 656, 663
- Fata Morgana, 752
- Feder
  - ideale, 140
- Federkonstante, 140, 149, 341
- Federkraft, 139, 140, 149
- Feldeffekttransistor, 938
- Felder, 47, 55
  - gekreuzte, 611
  - skalare, 47
- Feldlinien
  - elektrische, 493
  - magnetische, 609, 633
  - Quelle, 666
  - Senke, 666
- Feldstärke, 632
  - magnetische, 633
- Feldstrom, 933
- Femtometer, 902
- Fender Stratocaster, 651
- Fermi
  - Längeneinheit, 902
  - Fermi-Dirac-Statistik, 924
  - Fermi-Energie, 921
  - Fermi-Geschwindigkeit, 921
  - Fermi-Kante, 924
  - Fermi-Niveau, 921
  - Fernrohr, 763
  - Fernwirkung, 492
  - Ferromagnetismus, 672, 676, 685
  - Festkörper, 285
  - FET, 938
  - Flächengesetz, 306
  - Flächenvektor, 513
  - Fluchtgeschwindigkeit, 304
  - Fluid, 116, 125, 316
    - ideales, 327
  - Fluoreszenz, 863
  - Fluss
    - des elektrischen Felds, 512, 513
    - magnetischer, 647, 648, 663
    - durch eine Spule, 648
  - Flusslinien, 578
  - Flussröhre, 330
  - Fotokopierprozess, 479
  - Foucault, 358
  - Foucaultsches Pendel, 358
  - Freier Fall, 26, 30
  - Frequenz, 338, 366, 385
  - Fresnel, Augustin, 790
  - Fullerene, 846
  - Funktion
    - komplexe, 53
    - konjugiert komplexe, 54
    - vektorwertige, 47
  - Galilei-Transformation, 827
  - Galvanometer, 626
  - Gangunterschied, 377
  - Gasgesetz, ideales, 435
  - Gaskonstante, 435
  - Gastemperatur, ideale, 415
  - Gastheorie, kinetische, 434
  - Gasthermometer
    - bei konstantem Volumen, 414
  - Gauß, Carl Friedrich, 608
  - Gaußsche Fläche, 512, 513, 517
  - Gaußsche Oberfläche, 666
  - Gaußscher Satz, 512, 517, 519, 639, 666, 684
  - Gaußscher Integralsatz, 722
  - Gegenkraft, 107
  - Geiger, Hans, 899
  - Generator, 582
  - Geomagnetische Pole, 610, 667, 668
  - Geometrische Optik, 740
    - Gültigkeit, 771
  - Geometrisches Objekt
    - und Beugung, 790
  - Gerlach, Walther, 895
  - Germer, L. H., 845
  - Gesamtarbeit, 131, 148
  - Gesamtkraft, 83, 106
  - Geschlossener Weg, 153
  - Geschlossenes System, 181, 187, 191, 204
  - Geschwindigkeit, 16, 29, 60, 79
    - mittlere, 13, 445
    - wahrscheinlichste, 445
  - Geschwindigkeitsamplitude, 340
  - Geschwindigkeitsparameter, 820
  - Geschwindigkeitsverteilung
    - Maxwellsche, 444
  - Gesetz der Umlaufzeiten, 307
  - Gesichtsfeld, 763
  - Gewicht, 92, 107, 298, 313
    - scheinbares, 325
  - Giaever, Ivar, 853
  - Gitarre
    - elektrische, 651
  - Gitter, *siehe* Beugungsgitter, 918
    - Dispersion, 807
    - kubisch flächenzentriertes 918
    - Stäbe/Uhren (Relativitätstheorie), 816
  - Gitterkonstante
    - Optik, 804
  - Gitterspektrographen, 806
  - Gitterstruktur
    - Diamantgitter, 918
    - kubisch flächenzentrierte, 918
  - Gleichgewicht, 86, 174, 272
    - Drehmomente, 274
    - indifferentes, 165
    - instabiles, 165
    - Kräfte, 274
    - labiles, 165
    - neutrales, 165
    - statisches, 273, 282
    - thermodynamisches, 412
  - Gleichgewichtsabstand, 284
  - Gleichgewichtszustand, 272
  - Gleichmäßige Strömung, 327
  - Gleichrichter, 934
  - Gleichungen
    - unterbestimmte, 283
  - Gleichzeitigkeit
    - und Lorentz-Transformation, 828
    - und Relativitätstheorie, 817
  - Gleitreibungskoeffizient, 112, 125
  - Gleitreibungskraft, 110, 125
  - Grad, 38
  - Gradient, 50, 56
  - Gravitation
    - potenzielle Energie, 156, 174, 301
  - Gravitations- oder Erdbeschleunigung, 26, 30, 297, 313
  - Gravitationskonstante, 481
  - Gravitationskraft, 92, 107, 274, 293
  - Gravitationszentrum, 274, 289
  - Gray, SI-Einheit, 912
  - Grenzenergie, 872
  - Grenzfrequenz, 837
  - Grenzwellenlänge, 837
  - Grenzwinkel der Totalreflexion, 746
  - Grundzustand, 862
  - Hüllkurve (Beugungsmuster), 801
  - Haftreibung, 281
  - Haftreibungskoeffizient, 111, 125
  - Haftreibungskraft, 110, 125, 281
  - Halbleiter, 481, 576, 918, 927

- direkte, 928
- indirekte, 928
- Halbleiter-Gleichrichter, 934
- Halbleiter-Injektionslaser, 937
- Halbleiterbauelemente, 576
- Halbleiterepitaxie, 873
- Halbwertszeit, 906
- Hall-Effekt, 612
- Hall-Spannung, 613
- Harmonische Folge, 384
- Harmonische Schwingung, 339, 340, 354
- Harmonischer Oszillator
  - linearer, 342, 360
- Hauptmaximum, 773, 790
- Hauptquantenzahl, 881
- Hauptsatz der Thermodynamik
  - nullter, 413
  - erster, 428
  - zweiter, 462
  - alternative Version, 465, 469
- Hauptstrahlen, 758
- Hebelarm, 234
- Heisenberg, Werner, 851
- Heisenbergsche Unschärferelation, 851
- Hookesches Gesetz, 140
- Horizontale Reichweite, 67, 79
- Hufeisenmagneten, 609
- Huygens, Christiaan, 766
- Huygenssches Prinzip, 766
- Hydraulische Presse, 323
- Hysterese, 678
- Hystereseschleife, 678
  
- Ideale Gasgleichung, 435
- Ideales Fluid, 327
- Imaginärteil, 53
- Impedanz, 707
- Impedanzanpassung, 716
- Impuls
  - eines Teilchensystems, 185
  - eines Teilchens, 185
  - linearer, 185
- Impulsänderung, *siehe* Kraftstoß
- Impulserhaltungssatz, 187, 205, 935
- Induktion, 646, 653
  - und Energietransfer, 653
- Induktionsfeld
  - elektrisches, 656
- Induktivität, 660, 663
  - einer Zylinderspule, 661
  - SI-Einheit, 663
- Inertialsystem, *siehe* Bezugssystem, inertiales
- Inklination, 667, 684
- Inklinationsmesser, 667
- Innenwiderstand, 583
- Intensität, 731
- Interferenz, 375, 394, 766
  - an dünnen Schichten, 779
  - an keilförmiger Schicht, 784
  - destruktive, 769
  - konstruktive, 376, 769
  - und Beugung, 802
- Interferenzbedingung, 773
- Interferenzlinien am Gitter, 804
  
- Interferenzmuster, 386, 772
- Interferenzstreifen, 772
  - Intensität, 775
  - Lokalisierung, 772
- Interferenzterm, 802
- Interferometer, 785
- Inverse trigonometrische Funktionen, 38
- Ionenstrahl, 618
- Ionisierungsenergie, 890
- Irreversibler Prozess, 456
  - versus reversibler Prozess, 457
- Isolatoren, 480, 918
- Isotherme Ausdehnung, 436, 458
- Isotop, 900
- Isotopenhäufigkeit, 901
- Isotopeneffekt, 578
  
- Jo-Jo, 251
- Josephson, Brian, 853
- Joule, 128
  
- Kältemaschine, 468
  - perfekte, 468
- Körper
  - schwimmender, 325
- Kaliumchromsulfat, 675
- Kalorie, 420
- Kaltschweißen, 111
- Kanone
  - elektromagnetische, 639
- Kaon, 823
- Kapazität, 548
  - Berechnung, 550
  - einer Kugel, 553
- Kastenpotenzial
  - eindimensionales, 861
  - mehrdimensionales, 874
  - endliches, 869
  - Energiewerte, 862
  - unendlich hohes, 861
  - Wellenfunktionen, 865
- Kathodenstrahlröhre, 611
- Kausalzusammenhang, 831
- Kelvin, 412, 413
- Kelvin-Skala, 412
- Kennlinie, 571
- Kepler, Johannes, 306
- Keplersche Gesetze, 306, 313
- Kern
  - eines Atoms, 480
- Kernfusion, 904
- Kernkraft, 904
- Kernladungszahl, 894, 900
- Kernspaltung, 903
- Kernspinresonanz, 898
- Kernspinresonanz-Spektroskopie, 898
- Kernspinresonanz-Tomographie, 898
- Kernzerfall, 900
- Kilowattstunde, 146
- Kinematik, 12
- Kirchhoffsche Maschenregel, 585
- Kirchhoffscher Satz, 591
- Kohärenz
  - teilweise, 774
  
- vollständige, 774
- Kommutativ, 55
- Kommutativgesetz, 43, 45
- Kommutator, 626
- Kompass, 610, 667
- Komponente, 35, 39, 55
  - skalare, 39, 55, 58, 79
- Komponentenschreibweise, 35
- Kompressibilität, 316
- Kompression
  - isotherme, 436
- Kompressionsmodul, 286, 289, 389
- Kondensation, 423
- Kondensator, 548, 660
  - äquivalenter, 554, 556
  - bei Parallelschaltung, 554
  - bei Reihenschaltung, 554, 556
  - Lockvorgang, 600
  - Parallelschaltung, 554
  - Reihenschaltung, 554, 555
- Konfiguration, 470
  - wahrscheinlichste, 472
- Kontaktspannung, 933
- Kontinuitätsgleichung, 329, 335
- Koordinaten, 58, 79
- Koordinatensystem, 34
  - rechtshändiges, 39, 55
- Korrespondenzprinzip, 866, 886
- Kräfte diagramm, 86, 107, 283
- Kräftegleichgewicht, 273, 274
- Kraft, 82, 106
  - äußere, 159, 194
  - und Änderung der inneren Energie, 195
  - analytische Bestimmung, 164
  - angelegte, 141
  - elektrostatische, 481
  - innere, 87
  - konservative, 153, 173, 526
  - nichtkonservative, 153, 173
  - resultierende, 83, 106
  - veränderliche, 140, 143, 145
- Kraft-Gegenkraft-Paar, 97, 201
- Krafteinheit, 83
- Kraftstoß, 201
- Kreisbewegung
  - gleichförmige, 73, 79, 119, 126
- Kreisfrequenz, 339, 366
  - LC-Schwingkreis, 694
  - natürliche, 699
- Kreisprozess, 427, 430, 462
  - thermodynamischer, 427
- Kreuzprodukt, 45, 55
- Kriechfall, 696
- Kristall, 918
- Kristallebenen, 811
- Kristallgitter, 918
- Kristallstrukturanalyse, 811
- Kugelkondensator, 552
- Kugelschalentheorem, 293, 300, 482
- Kugelspiegel, 754
  - Abbildungen, 756
  - Abbildungsgleichung, 756

- Länge  
 Eigenlänge, 824  
 Relativität, 824  
 Längenausdehnungskoeffizient, 418  
 Längenkontraktion, 824, 825  
 und Lorentz-Transformation, 829  
 Längenmessung, 785  
 Ladung  
 elektrische, 478  
 magnetische, 606  
 Ladungsträgerdichte, 564, 918, 927  
 Ladungstransport, 560  
 Lai, Ming, 844  
 Land, Edwin, 737  
 Laplace Operator, 52  
 Laserstrahlung  
 Eigenschaften, 775  
 Lastinduktivität, 703  
 Lastkapazität, 701  
 Lastwiderstand, 699  
 Lateralvergrößerung, 756, 757  
 LC-Schwingkreis, 693, 723  
 Lebensdauer, mittlere, 906  
 LED, 935  
 Leerlaufspannung, 583  
 Leistung, 146, 149, 172, 174  
 durchschnittliche, 146, 149, 172, 174  
 elektrische, 574, 588  
 momentane, 146, 149, 172, 174  
 Rotation, 239  
 Leistungsanpassung, 716  
 Leistungsfaktor, 711  
 Leistungszahl, 468  
 Leiter, 480  
 stromdurchflossen, 639, 643  
 Leiterschleife, 648  
 Leitfähigkeit  
 elektrische, 568  
 Leitungsband, 927  
 Leitungselektronen, 480, 560, 921  
 Driftbewegung, 572  
 Stoßzeit, 573  
 Lenz, Heinrich Friedrich, 650  
 Lenzsche Regel, 633, 650, 663  
 Lichtemission, 935  
 Lichtgeschwindigkeit, 5, 362, 726  
 Postulat, 815  
 Zahlenwert, 815  
 Lichtquantum, 834  
 Lichtstärke, 763  
 Linienbreite, 805  
 Liniendiagramm, 700  
 Linienformen, 808  
 Linienspektrum, 806  
 Linse  
 Beugungseffekte, 798  
 Linsenfernrohr, 763  
 Loch  
 im Halbleiter, 927  
 Longitudinalwelle, 363  
 Lorentz-Faktor, 820  
 Lorentz-Transformation, 827  
 für Ereignispaare, 828  
 Loschmidtsche Zahl, 434  
 Luftwiderstand, 68  
 Lumineszenz, 863  
 Lumineszenzdiode, 935  
 Lupe, 761  
 Lyman-Serie, 880  
 Machscher Kegel, 409  
 Machscher Winkel, 409  
 Magnet  
 Nordpol, 666  
 Südpol, 666  
 Magnet Eisenstein, 666, 679  
 Magnetfeld, 606, 632, 634, 641  
 der Erde, 667  
 differenzielles, 632  
 einer Stromverteilung, 640  
 eines geraden Leiters, 633, 643  
 eines Kreisbogens, 643  
 eines Stroms, 632, 634  
 in einem Leiter, 642  
 induziertes, 679, 683  
 kritisches, 578  
 um einen Leiter, 641  
 veränderliches, 658  
 Magnetfeldlinien, 666  
 Magnetische Domänen, 676  
 Magnetische Flasche, 617  
 Magnetisierung, 674, 685  
 Magnetisierungskurve, 675, 676  
 Magnetisierungsstrom, 714  
 Magnetismus, 478  
 von Elektronen, 668  
 Magnetit, 478  
 Magnetometer, 667  
 Majoritätsträger, 930  
 Makrozustand, 472  
 Manometer, 322  
 Marsden, Ernest, 899  
 Maschine  
 Carnot-, 462  
 ideale, 462  
 perfekte, 464  
 Stirling-, 465  
 Masse, 9, 85, 106  
 effektive, 928  
 schwere, 92  
 träge, 85  
 Massenüberschuss, 910  
 Massendichte, 370  
 Masseneinheit  
 atomare, 903  
 Massenflussrate, 330  
 Massenschwerpunkt, 275  
 Massenspektrometer, 618  
 Massenzahl, 900  
 Materiewelle, 845, 879  
 Maximalbetrag, 111  
 Maximalwert, 125  
 Maxwell, James Clerk, 640, 679  
 Maxwell-Gleichungen, 478  
 integrale, 721  
 Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung,  
 444  
 Maxwellsche Wellengleichung, 728  
 Maxwellsches Induktionsgesetz, 679, 685  
 Metalle, 918  
 Meter, Definition, 786  
 Michelson, A. A., 785  
 Michelson-Interferometer, 785  
 Mikroskop, 762  
 Auflösung, 799  
 Mikrozustand, 470  
 Millikan, Robert A., 505  
 Millikan-Versuch, 505  
 Minoritätsträger, 930  
 Mittelatlantischer Rücken, 668  
 Mittelpunktstrahlen, 758  
 Modell freier Elektronen, 572  
 Mol, 434  
 Molmasse, 434, 562  
 Momentanbeschleunigung, 19, 29, 62, 79  
 Momentangeschwindigkeit, 16, 29, 60, 79  
 Monopol  
 magnetisch, 606  
 MOSFET, 938  
 mri, 898  
 mrt, 898  
 Multimeter, 599  
 Multiplikation von Vektoren, 43  
 Multiplizität, 471  
 Musikalische Töne, 400  
 Myonen, 821  
*n*-dotierter Halbleiter, 929  
 Nabla-Operator, 50, 56  
 Nahpunkt, 761  
 Nanokristallite, 872  
 Natriumchlorid  
 Kristallstruktur, 810  
 Nebenmaxima, 790  
 Nebenmaxima (Interferenz), 773  
 Negative Richtung, 12, 29  
 Nennspannung, 583  
 Neutronen, 480  
 Neutronenstern, 264  
 Neutronenzahl, 900  
 Newton, 83  
 Newton, Isaac, 82  
 Newtonsche Mechanik, 82, 106  
 Newtonsches Axiom  
 zweites  
 Bewegung des Schwerpunkts, 181,  
 182  
 für die Rotation, 234  
 für Rakete, 191  
 für Teilchensystem, 186  
 Impulsschreibweise, 185  
 in Winkelschreibweise, 256  
 Rollbewegung, 250  
 und Drehimpuls, 259  
 Newtonsches Gesetz  
 drittes, 97, 107  
 drittes (Wechselwirkungsgesetz oder  
 Reaktionsprinzip; Aktion ist  
 gleich Reaktion), 97  
 erstes, 82, 107  
 erstes (Trägheitsprinzip), 83  
 zweites, 86, 107, 185

- zweites (Aktionsprinzip), 86, 185  
 Newtonsches Gravitationsgesetz, 293, 303  
 Nichtinertialsystem, 84, 107  
 Nichtleiter, 480, 918  
 Nordlicht, 617  
 Nordpol, 609  
   magnetischer, 668  
 Normalenvektor, 625  
 Normalkraft, 94, 107, 277  
 Normierungsbedingung, 867  
 Nukleon, 900  
 Nuklid, 900  
   supermassiv, 901  
 Nuklidkarte, 901  
 Nullpunkt, 12, 29  
   absoluter, 412  
 Nullpunktsenergie, 867  
 Nullter Hauptsatz der Thermodynamik, 413
- Oberfläche  
   reibungsfreie, 82  
 Objekt (in der Optik), 753  
 Objektiv, 762  
 Objektweite, 753  
 Ohm, 567  
 Ohmmeter, 599  
 Ohmsches Gesetz, 570  
   mikroskopische Deutung, 572  
 Okular, 762  
 Optische Achse, 745, 755  
 Optische Anisotropie, 745  
 Optische Fasern, 747  
 Ordentlicher Strahl, 745  
 Ordnung  
   unvollständige, 806  
 Ordnung einer Interferenzlinie, 805  
 Ordnungszahl, 894, 900  
 Ort-Zeit-Kurve, 13  
 Ortsfunktion, 13  
 Ortsvektor, 58, 79  
 Oszillator  
   linearer harmonischer, 342, 360
- p*-dotierter Halbleiter, 929  
*p*-*V*-Diagramm, 426  
 Parallelschaltung  
   äquivalenter Kondensator, 554  
   von Kondensatoren, 554  
   von Widerständen, 592  
 Parallelstrahlen, 758  
 Paramagnetismus, 672, 674, 675, 685  
 Parameterkurve, 60  
 Partielle Ableitung, 49, 55  
 Partielle Differentialgleichungen, 721, 749  
 Pascal, 317  
 Pascalsches Prinzip, 322  
 Paschen-Serie, 880  
 Pendel  
   einfaches, 348  
   physikalisches, 350  
 Periode, 79, 338, 342, 365  
   im Periodensystem, 890  
 Permanentmagnete, 606  
 Pferdestärke, 146
- Phase, 339, 365, 369  
 Phasendifferenz, 341  
   effektive, 769  
   und Brechungsindex, 768  
   und optische Weglänge, 772  
 Phasenkonstante, 376  
 Phasenverschiebung  
   bei Reflexion, 780  
   Faktoren, 780  
   und Brechungsindex, 780  
 Photo Multiplier Tube, 845  
 Photodiode, 936  
 Photoelektrische Gleichung, 837  
 Photoelektrischer Effekt, 836  
 Photoelektron, 836  
 Photon, 834  
 Photonenabsorption, 835  
 Photonenemission, 835  
 Photonenenergie, 835  
 Photonenimpuls, 839  
 Physikalisches Pendel, 350  
 Piezoelektrizität, 853  
 Pion, 815  
 Plancksche Konstante, 669  
 Plancksches Wirkungsquantum, 835  
 Plancksches Strahlungsgesetz, 856  
 Planetenbewegung, 306  
 Plattenkondensator, 548, 551, 660  
 Plattentektonik, 668  
*pn*-Übergang, 932  
 Pointillismus, 799  
 Poisson, S. D., 790  
 Poissonscher Fleck, 791  
 Polarisisation  
   durch Reflexion, 748  
   durch Streuung, 738  
 Polarisationsfilter, 737  
   gekreuzte, 738  
 Polarisationsrichtung, 737  
 Polarisator, 738  
 Polariserte Strahlung, 736  
   Intensität, 737  
 Polarisierung, 537  
 Polaroid-Filter, 737  
 Polschuh, 609  
 Positive Richtung, 29  
 Postulate  
   Relativitätstheorie, 814  
 Potenzial  
   elektrisches, 527, 529, 658  
   elektrisches einer Ladungsverteilung,  
     538  
   elektrisches einer Punktladung, 533  
   elektrisches eines Dipols, 536  
 Potenzialbarriere, 852  
 Potenzialdifferenz, 528, 550, 551  
   zwischen Punkten im elektrischen Feld,  
     531  
 Potentialschwelle, 852  
 Potenzialtopf, 166  
   unendlich hoher, 861  
 Potenzreihenentwicklungen, 54  
 Poynting, John Henry, 730  
 Poynting-Vektor, 730
- Primärspule, 714  
 Projektil, 65  
 Protonen, 480  
 Protonenspin, 898  
 Protonensynchrotron, 621  
 Protonenzahl, 900  
 Prozess  
   adiabatischer, 429  
   bei konstantem Volumen, 429  
   freie Ausdehnung, 430  
   irreversibel, 456  
   isothermer, 436  
   konstanter Druck, 437  
   konstantes Volumen, 437  
 thermodynamischer, 426  
 Punktquelle  
   isotrope, 731
- Quantenübergang, 862  
 Quantendraht, 873  
 Quantenfilm, 873  
 Quantenmechanik, 82  
 Quantenpunkt, 873  
   selbstorganisierter, 873  
 Quantensprung, 862  
 Quantenzahl, 861  
   des Wasserstoffatoms, 880  
   magnetische, 881  
 Quantisierte Größen, 834  
 Quantum, 834  
 Quecksilberbarometers, 321  
 Quecksilbersäule, 317  
 Quellenfeld, 51  
 Querschnittsfläche  
   effektive, 116, 125
- Röntgenbeugung, 810  
 Röntgenspektrum, 811  
 Röntgenstrahlung, 810  
   Streuung, 810  
 Rückstellkraft, 140  
 rad, SI-Einheit, 912  
 Radianen, 38  
 Radionuklid, 900  
 Rakete, 191  
 Raketengleichung  
   erste, 192  
   zweite, 193  
 Raster-Tunnelmikroskop, 853  
 Raum und Zeit  
   in der Relativitätstheorie, 827  
 Raumladungszone, 933  
 Raumzeit-Koordinaten, 816, 817  
   Transformation, 826  
 Rayleigh-Jeans-Gesetz, 855  
 Rayleigh-Kriterium der Auflösbarkeit, 799  
 RBE-Faktor, 913  
*RC*-Kreise, 599  
   Zeitkonstante, 601  
 Realteil, 53  
 Rechte-Hand-Regel, 45, 223, 252, 608, 625,  
 628, 633, 635, 638, 641  
   Magnetismus, 638  
   Vektorprodukte, 638  
 Rechtshändiges Koordinatensystem, 39, 55



- Referenzkonfiguration, 156  
Referenzpunkt, 156, 174  
Reflexion, 382, 741  
    Phasenverschiebung, 780  
    Polarisation durch, 748  
    Strahlungsdruck, 733  
Reflexionsgesetz, 741  
Reflexionswinkel, 741  
Reflexminderung, 766  
Refraktor, 763, *siehe* Fernrohr  
Regenbogen, 743  
Reibung, 94, 110, 125  
Reibungsfreie Oberfläche, 82  
Reibungskraft, 94, 107, 110, 125, 355  
Reichweite, 67  
    horizontale, 67, 79  
Reifen, 230  
Reihenschaltung  
    äquivalenter Kondensator, 556  
    Kondensator, 554, 555  
    von Kondensatoren, 556  
    von Widerständen, 587  
Relativbewegung, 75, 77  
Relativitätspostulat, 814  
Relativitätstheorie, 814  
    Allgemeine, 814  
    Postulate, 814  
    Spezielle, 82, 814  
rem, Einheit, 913  
Resonanz, 357  
    elektromagnetische, 699  
    in einem Wechselstromkreis, 708  
    magnetische, 898  
Resonanzfrequenzen, 383  
Richtung, 13  
    der Kraft, 234  
    negative, 12, 29  
    positive, 29  
Ringstrom, 671  
Ringstrommodell, 671  
RLC-Kreis, 706  
rms-Geschwindigkeit, 439, 445  
rms – Root mean square, 439  
Rohrer, Heinrich, 853  
Rollbewegung  
    als Mischung aus Translation und  
        Rotation, 246  
    als reine Rotation, 247  
    kinetische Energie, 248  
    reine, 246  
    und Reibung, 249  
    von geneigter Ebene, 249  
Rosinenpudding-Modell des Atoms, 900  
Rotation, 51, 56, 229, 239  
    Arbeit, 238  
    Bewegungsgleichungen, 224  
    Gegenüberstellung mit Translation, 260  
    gleichmäßig beschleunigte, 223  
    kinetische Energie, 229  
    reine, 218  
    und Translation (Gegenüberstellung),  
        239  
    zweites Newtonsches Axiom, 234  
Rotationsachse, 218  
    feste, 218  
Rotationsvariable  
    Einheiten, 228  
Rowland-Ring, 676, 678  
Ruhezustand, 821  
Ruhezustand  
    entspannter Zustand, 140  
Rutherford, Ernest, 899  
Rydberg-Konstante, 878  
Sättigung, 674  
Salto  
    Drehimpulserhaltung, 266  
Satellit, 310  
Satz von Pythagoras, 637  
Schallgeschwindigkeit, 388  
Schallintensität, 396, 410  
Schallpegel, 397  
Schallwelle, 388, 391  
Schaltkreis  
    induktiver, 708  
    integrierter, 939  
    kapazitiver, 708  
Scheinkraft, 359  
Scheinwiderstand, 707  
Scheitelpunktstrahlen, 758  
Scheitelwert, 688  
Scherspannung, 285  
Scherung, 286  
Schleife, 654  
Schmelzen, 422  
Schmelzwärme, 423  
Schockwellen, 408, 410  
Schrödinger-Gleichung, 849  
Schub, 192  
Schubmodul, 286, 289  
Schwarzes Loch, 299, 309  
Schwebung, 402, 410  
Schwellenenergie, 872  
Schwerpunkt  
    Bewegung, 181  
    Bewegung beim Stoß, 206  
    Bewegung des Schwerpunkts, 206  
    Definition, 176  
    homogener Körper, 178  
    Stoß, 206  
    Strategien zur Berechnung, 180  
    und Symmetrie, 178  
    Vielteilchen-System, 177  
    Zweiteilchen-System, 176  
Schwimmender Körper, 325  
Schwingung, 360  
    elektromagnetische, 688  
    erzwungene elektrische, 699  
    gedämpfte elektromagnetische, 688  
    harmonische, 339, 340, 354  
    mechanische, 339, 340, 354  
        Differenzialgleichung  
Schwingungsbüchse, 381  
Schwingungsdauer, 338  
Schwingungsebene, 736  
Schwingungsfall, 696  
Schwingungsknoten, 380  
Schwingungsmodus, 385, 400  
Seifenhäutchen  
    Interferenzeffekte, 782  
Seilwelle  
    fortlaufende, 372  
    Reflexion, 780  
Sekundärspule, 714  
Selbstinduktion, 661, 663  
SI-Einheit, 2  
    magnetischer Fluss, 647  
Sievert  
    SI-Einheit, 913  
Silizium  
    als Halbleiter, 576  
Sinus, Kosinus und Tangens, 38  
Skalare, 32  
Skalare und Vektoren, 55  
Skalarprodukt, 43, 55, 302  
skalarwertige Funktion, 47  
Snelliussches Gesetz, 741, 767  
Solarzellen, 582  
Solenoid, 660  
Sonnenlicht  
    Kohärenz, 774  
    mittlere Wellenlänge, 771  
Spaltenergie, 909  
Spannung, 285, 289, 582  
    Definition, 583  
    Effektivwert, 711  
    hydraulische, 285, 286  
    induzierte, 646, 650, 657  
Spannungspfeil, 582  
Spannungsquelle, 582  
    ideale, 583  
Spannungsregel  
    in verzweigten Stromkreisen, 586  
Spannungstransformation, 715  
Spektralbereich, sichtbarer, 721  
Spektrum  
    des Wasserstoffatoms, 879  
    elektromagnetisches, 720  
Sperrichtung, 934  
Sperrschicht, 933  
Sperrstrom, 934  
Spezielle Relativitätstheorie, 82, 814  
Spiegel, 753  
    ebener, 753  
    Krümmungsmittelpunkt, 754  
Spin, 668, 892  
spin down, 669  
spin up, 669  
Spin up – Spin down, 894  
Spindipolmoment, magnetisch, 684  
Spindrehimpuls, 668, 684  
Spinmoment, magnetisch, 668  
Spinquantenzahl, 892  
    magnetische, 669, 892  
Spinumklappung, 898  
Stabilitätsinsel, 901  
Stabmagnet, 609, 666  
Starrer Körper, 218  
Statistische Mechanik, 470  
Steifigkeit, 140  
Steigung, 13  
Steinerscher Satz, 231

- Stern, Otto, 895  
 Stern-Gerlach-Experiment, 895  
 Stirling-Maschine, 465  
 Stirlingsche Formel, 473  
 Stoßzeit  
   der Leitungselektronen, 573  
 Stokesscher Integralsatz, 722  
 Stoppotenzial, 836  
 Stoß  
   auf bewegte Objekte, 211  
   auf ruhendes Objekt, 209  
   Definition, 200  
   eindimensionaler, 205  
   elastischer, 205  
     eindimensionaler, 209  
   Energieerhaltung, 205  
   inelastischer, 205  
   kinetische Energie, 205  
   Serie, 202  
   Stoßprozess, 205  
   streifender, 213  
   und Stoßprozess, 205  
   und Zusammenprall, 200  
   vollständig inelastischer, 205, 206  
   zweidimensionaler, 213  
   zwischen Körpern gleicher Masse, 210  
   zwischen Körpern verschiedener Masse, 210  
 Stoßzeit, 203  
 Strömung  
   gleichmäßige, 327  
   inkompressible, 327  
   nichtviskose, 327  
   wirbelfreie, 328  
 Strahl, 388, 724  
 Strahlenbündel, 725  
 strahlende Rekombination, 935  
 Strahlenverlaufdiagramm, 758  
 Strahlteiler, 785, 844  
 Strahlung  
   kosmische, 560  
 Strahlungsdruck, 733  
 Strahlungskraft, 734  
 Streckgrenze, 285  
 Streuung, 738  
   Röntgenstrahlen am Kristall, 810  
 Strömung, nichtviskose 327  
 Strömungswiderstand, 116, 125  
 Strom  
   Effektivwert, 711  
   elektrischer, 481, 560  
   induzierter, 646, 650  
   photoelektrischer, 836  
 Strom-Längen-Element, 633–635  
   differenzielles, 632  
 Stromdichte, 563  
 Stromkreis, 549  
   komplex, 598  
   unverzweigter, 584, 585  
   verzweigter, 591  
   Verzweigungspunkt, 591  
   Zweig, 591  
 Stromlinie, 332, 563  
 Stromrichtung, 582  
   konventionelle, 561  
 Stromstärke  
   SI-Einheit, 639  
 Stromtransformation, 715  
 Südpol, 609  
 Superposition  
   elektromagnetischer Wellen, 766  
 Superpositionsprinzip, 294, 375, 482  
   der Kräfte, 83  
 Supraleiter, 481, 577  
   Typ-I, 578  
   Typ-II, 578  
   Typ-III, 578  
 Symmetrie  
   und Schwerpunkt, 178  
 Symmetriebetrachtungen, 297  
 Synchrotron, 620, 621  
 System, 87  
   abgeschlossenes, 159, 171, 174  
   geschlossenes, 204  
   isoliertes, 159, 174, 187, 191, 204  
   visuelles, 752  
 Taylor, G. I., 844  
 Teilchen, 12  
   Lebensdauer, 821  
 Temperatur, 413  
   kritische, 577  
   versus Temperaturänderung, 417  
 Temperatur-Entropie-Diagramm, 463  
 Temperaturkoeffizient, 918, 929  
   des spezifischen Widerstands, 570  
   negativer, 577  
 Temperaturkoeffizienten des spezifischen  
   Widerstandes  
   negativer, 576  
 Temperaturmessung, 414  
 Tesla, 608  
 Thermometer, 413  
 Thermosäulen, 582  
 Thermoskop, 412  
 Thomson, George P., 845  
 Thomson, J. J., 899  
 Threshold-Energie, 872  
 Tintenstrahldrucker, 479, 506  
 Torr, 317  
 Torsionspendel, 347  
 Totalreflexion  
   innere, 746  
 Trägheitsmoment  
   Definition, 229  
   Körper aus wenigen Teilchen, 230  
   Übersicht, 230  
 Trägheitsprinzip  
   erstes Newtonsches Gesetz, 83  
 Trajektorie, 67, 79  
 Transformation  
   Raumzeit-Koordinaten, 826  
 Transformator, 714  
   idealer, 714  
 Transistor, 576, 938  
 Translation  
   Gegenüberstellung mit Rotation, 260  
   reine, 218  
   und Rotation (Gegenüberstellung), 239  
 Translationsenergie, kinetische, 441  
 Transmissionskoeffizient, 853  
 Transversalwelle, 363  
 Trigonometrische Funktionen, 38  
   inverse, 38  
 Tripelpunkt von Wasser, 413  
 Tripelpunkttemperatur, 413  
 Tripelpunktzelle, 413, 414  
 Tunneldiode, 853  
 Tunneleffekt, 852, 909  
 Tunnelmikroskop, 853  
 Überdruck, 320  
 Übergangsebene  
   bei *pn*-Übergang, 932  
 Überschallgeschwindigkeiten, 409  
 Überschussladung, 479  
 Übersetzungsverhältnis, 715  
 Uhr  
   mikroskopische, 821  
   Synchronisation, 816  
 Umkehrpunkt, 165, 174  
 Umlaufbahnen, 310  
 Umrechnungsfaktor, 3  
 Umwandlungswärme, 422  
   Schmelzwärme, 423  
   spezifische, 423  
   Verdampfungswärme, 423  
 Urkilogramm, 9  
 Urmeter, 5  
 Ursprung, 12, 29  
 Vakuumpermeabilität, 632  
 Valenzband, 927  
 Valenzelektronen, 922  
 Van-Allen-Strahlungsgürtel, 560, 617  
 Vektor, 32, 492  
   axial, 223  
 Vektor- oder Kreuzprodukt, 55  
 Vektoraddition, 33, 55  
 Vektordiagramm, 379  
 Vektorfeld, 492  
 Vektorfelder, 47  
 Vektorgröße, 13, 29, 32  
 Vektorkomponenten, 39, 55, 58, 79  
 Vektorprodukt, 45, 252, 607, 638  
 Vektorsumme, 32, 55  
 Verdampfen, 423  
 Verdampfungswärme, 423  
 Verschiebung, 12, 29, 58, 79  
 Verschiebungsstrom, 682, 685  
 Verschiebungsvektor, 32  
 Verzögerung, 19  
 Verzweigte Stromkreise, 591  
 Volt, 528, 583  
 Voltmeter, 599, 626  
 Volumenausdehnungskoeffizient, 418  
 Volumenflussrate, 330  
 von Laue, Max, 810  
 Wärme, 420, 467  
   latente, 423  
   molare spezifische, 422  
   spezifische, 421

- bei konstantem Druck, 450
- bei konstantem Volumen, 448
- Wärmeausdehnung, 417
- Wärmebad (Wärmereservoir), 426
- Wärmeenergie, 153, 174, 420
- Wärmekapazität, 420
- Wärmemaschine, 462
- Wafer, 939
- Wahrscheinlichkeitsdichte, 849, 866
  - radiale, 882
- Wahrscheinlichkeitswelle, 843
- Wahrscheinlichste Geschwindigkeit, 445
- Wasserstoffatom, 876
  - Grundzustandswellenfunktion, 881
- Wasserstofflinien, 880
- Watt, 2, 146, 574
- Weber, 647
- Wechselspannung, 698
- Wechselstrom, 698
- Wechselstromgenerator, 698
- Weg
  - geschlossener, 153
- Weglänge, mittlere freie, 442
  - der Leitungselektronen, 573
- Weglängenunterschied, 772
- Wegunabhängigkeit, 153, 303
- Welle
  - ebene, 388, 724
  - elliptisch polarisierte, 736
  - linear polarisierte, 736
  - stehende, 381
  - Quantisierung, 860
- zirkular polarisierte, 736
- Wellenfronten, 388, 725
- Wellenfunktion, 848
  - Randbedingung, 883
- Wellengeschwindigkeit, 366, 370
- Wellengleichung
  - eindimensionale, 728
- Wellenlänge, 365, 385
  - optische, 772
- Wellennatur versus Teilchennatur, 847
- Wellentheorie
  - von Young, 771
- Wellentheorie des Lichts
  - von Huygens, 766
- Wellenzahl, 365
- Widerstand
  - äquivalenter bei Reihenschaltung, 587
  - elektrischer, 567
  - induktiver, 704
  - kapazitiver, 701
  - spezifischer, 567, 568, 918, 929
    - Temperaturkoeffizient, 570
    - temperaturabhängigkeit, 569
- Widerstandskoeffizienten, 116, 125
- Widerstandsregel
  - in verzweigten Stromkreisen, 585
- Wiensches Strahlungsgesetz, 855
- Winkelamplitude, 349
- Winkelbeschleunigung
  - konstante, 223
  - mittlere, 220
  - momentane, 220
- Winkeldispersion, 807
- Winkelgeschwindigkeit, 307
  - als Vektor, 222
  - mittlere, 219
  - momentane, 219
  - Vorzeichen, 219
- Winkelposition, 218
- Winkelvergrößerung, 762
- Wirbelfeld, 51
- Wirbelstrom, 655
- Wirklast, 699
- Wirkungsgrad
  - realer Maschinen, 469
- Wirkungsgrad einer Carnot-Maschine, 464
- Wirkungsgrad, thermischer, 464
- Wurfbewegung, 65, 66, 79
- Wurfparabel, 67
- Young, Thomas, 771, 843
- Youngscher Modul, 286
- Zeigeraddition
  - allgemeiner Fall, 778
- Zeigerdarstellung
  - Beugung, 795
  - elektromagnetische Welle, 776
- Zeigerdiagramm, 700
- Zeit
  - Eigenzeit, 820
  - Relativität, 819
- Zeitdilatation, 820
  - Nachweis, 821
  - und Längenkontraktion, 825
  - und Lorentz-Transformation, 829
- Zeitintervall, 819
- Zeitkonstante
  - Kapazitive, 601
  - Zeitkonstante
    - von RC-Kreisen, 601
- Zeitmessung
  - radiometrische, 911
- Zeitnormal, 6
- Zeitpfeil, 456
- Zentripetalbeschleunigung, 73, 79, 119, 126, 298
- Zentripetalkraft, 120, 126
- Zerfall
  - radioaktiver, 905
- Zerfallsenergie, 909
- Zerfallsgesetz, radioaktives, 906
- Zerfallskonstante, 905
- Zerfallsrate, 906
- Zerlegung eines Vektors in seine
  - Komponenten, 35
- Zitteraal, 596
- Zug, 285
- Zugfestigkeit, 285
- Zugkraft, 95, 279
- Zugspannung, 95, 107, 285
- Zustand
  - angeregter, 862
  - entarteter, 875
  - entspannter, 149
  - fest, 422
  - flüssig, 422
  - gasförmig, 422
  - Quantisierung, 860
- Zustandsdichte, 923
- Zustandseigenschaften, 457
- Zustandsfunktion, 460
- Zweige, von Stromkreisen, 591
- Zykloide, 246
- Zyklotron, 620
- Zyklotronresonanz, 621
- Zylinder, 230
- Zylinderkondensator, 552
- Zylinderspule, 648, 649, 660