Namensregister

Abraham, Max (1875-1922), 73
Aepinus, Franz Ulrich Theodor (1724-1802), 150
Airy, George B. (1801-1892), 144, 147
Alhazen (ibn al Haitham) (965-1038), 145
Ampère, André Marie (1775-1836), 153, 155
Arago, Dominique François Jean (1786-1853), 147, 153

Bernoulli, Daniel (1700-1782), 150
Biot, Jean Baptiste (1774-1862), 48, 147, 153
Bose, George Matthias, 149
Bradley, James (1692-1762), 146
Brewster, David (1781-1868), 89, 147
Browne, Thomas, 148

Cabeo, Niccolo (1585-1650), 154
Canton, John (1718-1772), 150
Cavendish, Henry (1731-1810), 150
Clausius, Rudolf Julius Emmanuel (1822-1888), 32, 157
Coulomb, Charles Augustin de (1736-1806), 6, 150, 152, 157

d'Alembert, Jean Baptiste le Rond (1717-1783), 98
Davy, Humphrey (1778-1829), 153, 154
Desaguliers, Jean Théophile (1683-1744), 149
Descartes, René (1596-1650), 144–146, 148
Dirac, Paul Adrien Maurice (1902-1984), x, 160
Doppler, Christian (1803-1853), 123
Dufay, Charles (1698-1739), 149

Einstein, Albert (1879-1955), 112, 124, 159
Euler, Leonhard (1707-1783), 146

Faraday, Michael (1791-1867), 59, 154–157
Fermat, Pierre (1601-1665), 145, 146
Fitzgerald, George Francis (1851-1901), 111, 158
Fizeau, Armand Hippolyte (1819-1896), 148, 155
Foucault, Léon (1819-1868), 155
Fourier, Jean Baptiste Joseph (1768-1830), 79, 80
Franklin, Benjamin (1706-1790), 149, 150
Freiberg, Dietrich von (1250-1310), 144, 145
Fresnel, Augustin Jean (1788-1827), 147, 148

Galilei, Galileo (1564-1642), 148
Gassendi, Pierre (1592-1655), 148
Gauss, Carl Friedrich (1777-1855), viii, 7
Gilbert, William (1540-1603), 148, 151
Giorgi, Giovanni (1871-1950), i, 8
Gounelle, E., 155
Gray, Stephen (1666-1736), 149
Green, George (1793-1841), 37, 151, 152

Name Index

Guericke, Otto von (1602-1686), 149, 150

Hagen, Gotthilf (1797-1884), 90
Heaviside, Oliver (1850-1925), 157
Heisenberg, Werner (1901-1976), 160
Heitler, Walter (1904-1981), 160
Heron von Alexandrien / Hero of Alexandria (2. Jhdt. vor oder nach Chr. / 2nd century BC or AD), 144, 145
Hertz, Heinrich Rudolf (1857-1894), 158
Hooke, Robert (1635-1703), 145
Huygens, Christian (1629-1695), 145–147

Jeans, James Hopwood (1877-1946), 160
Jordan, Pascual (1902-1980), 160

Kamal, al-Din al Farisi (-1320), 144, 145
Kelvin, William Thomson (1824-1907), 151, 152, 155
Kepler, Johannes (1571-1630), 145
Kirchhoff, Gustav Robert (1824-1887), 63, 153, 155
Kleist, Ewald Jürgen von (ca. 1700-1748), 149
Kohlrausch, Rudolf (1801-1858), 50, 155
Kopernikus, Nikolaus (1473-1543), 148
Kronecker, Leopold (1823-1891), iv

Lagrange, Joseph (1736-1813), 146
Lambert, Johann Heinrich (1728-1777), 152
Landau, Lev Davidovich (1908-1968), 73
Laplace, Pierre-Simon Marquise de (1749-1827), 147, 151, 153
Larmor, Sir Joseph (1857-1942), 139, 158
Lenard, Philipp (1862-1947), 160
Lichtenberg, Georg Christoph (1744-1799), 149
Liénard, Alfred-Marie (1869-1958), 137, 157
Lifshitz, Eugenii Mikhailovich (1915-1985), 73
Lorentz, Hendrik Antoon (1853-1928), 6, 9, 98, 111, 157–159
Lorenz, Ludvig Valentin (1829-1891), 98, 157

Malus, Étienne Luis (1775-1812), 147
Maupertuis, Pierre-Louis-Moreau (1698-1759), 146
Maxwell, James Clerk (1831-1879), 5, 45, 68, 156–158
Mayer, Tobias (1723-1762), 152
Michell, John (1724-1793), 152
Michelson, Albert Abraham (1852-1931), 110, 111, 158
Minkowski, Hermann (1864-1909), 73, 111, 159
Mössbauer, Rudolf (1929-), 162

Morley, Edward Williams (1838-1923), 110, 111, 158
Mossotti, Ottaviano Fabrizio (1791-1863), 32, 151, 157
Musschenbroek, Pieter van (1692-1761), 149, 152

Neckam, Alexander (1157-1217), 151
Neumann, Franz Ernst (1798-1895), 155, 157
Newton, Isaac (1643-1727), 145–148, 152

Ørsted, Hans Christian (1777-1851), 153, 154
Ohm, Georg Simon (1787-1854), 62, 153

Pais, Abraham (1918-2000), 159
Pauli, Wolfgang (1900-1958), 160
Peregrinus, Petrus (Pierre de Maricourt) (13. Jhdt.), 151, 154
Planck, Max (1858-1947), 160
Poincaré, Henri (1854-1912), 158, 159
Poisson, Siméon-Denis (1787-1840), 13, 147, 151, 152
Poynting, John Henry (1852-1914), 70, 157
Priestley, Joseph (1733-1804), 150
Ptolemaios, Klaudius (2. Jhdt. n. Chr.), 145

Rayleigh, John William Strutt (1842-1919), 160
Riemann, Bernhard (1826-1866), 155, 157
Robison, John (1739-1805), 150
Römer, Olaf (1644-1710), 146
Rubens, Heinrich (1865-1922), 90

Sanuto, Livio (etwa 1530-1580), 151
Savart, Félix (1791-1841), 48, 153
al-Schirazi, Mahmud ibn (1236-1311), 144, 145
Schwarzschild, Karl (1873-1916), 158
Snellius / Snell, Willibrord van Royen (1581-1626), 87, 145
Sommerfeld, Arnold Johannes Wilhelm (1868-1951), 73
Stokes, George Gabriel (1819-1903), viii, 148
Stoney, Johnstone (1826-1911), 154
Sturgeon, William (1783-1850), 153

Taylor, Brook (1685-1731), 152
Thales v. Milet (640-546), 144, 148
Thomson, Joseph John (1856-1940), 157
Thomson, William (Lord Kelvin) (1824-1907), 151, 152, 155, 157

Voigt, Woldemar (1850-1919), 158
Volta, Alessandro Graf (1745-1827), 152

Wall, 149
Watson, William (1715-1787), 149
Weber, Wilhelm (1804-1894), 50, 155
Wheatstone (1802-1875), 155
Wheeler, William, 154
Wideröe, Rolf (1902-), 60
Wiechert, Emil (1861-1928), 137, 157
Wien, Wilhelm (1864-1928), 160
Wiener, Otto Heinrich (1867-1927), 158
Wilcke, Johann Carl (1732-1796), 150, 154, 157
Wilson, Benjamin (1721-1788), 149
Winkler, Johann Heinrich, 149

Young, Thomas (1773-1829), 144, 146, 147

Sachregister

Aberration, 146, 147
Abstand, 115
  lichtartig, 116
  raumartig, 115
  zeitartig, 115
Additions-Theorem
  Geschwindigkeiten, 117
Amperegesetz, 47

Batterie, 152
Bernstein, 144, 148
Betatron, 60
Beugung, 147
Bewegungsgleichungen, 126
Biot-Savart Gesetz, 48
Blitz, 144
Bohrsches Magneton, 53
Brechung, 87–91
Brechzahl, 87
Brewsterscher Winkel, 89, 147
Brille, 145

Clausius-Mossotti-Beziehung, 33
Coulomb-Gesetz, 150
Coulomb-Kraft, 6, 14

d'Alembert-Operator, 98, 119
dielektrische Verschiebung, 29
Dielektrizitätskonstante, 29
  Clausius, Mossotti, 32
Dipol
  elektrischer
    Drehmoment, 19
    Energie, 19
    Feld, 17
    Kraft, 19
    Potential, 17
  magnetischer
    Drehmoment, 53
    Feld, 52
    Kraft, 53
Dipolmoment
  elektrisches, 17–18, 25
  magnetisches, 52
    Ringstrom, 52
    Spin, 53
Dipolstrahlung
  elektrische, 104
  magnetische, 106
Dirac delta, x, 4
Divergenz, vi
Doppelbrechung, 146, 147
Doppler-Effekt, 123
Doppler-Verschiebung, 123
Drehimpulserhaltung, 134
Drehmoment
  auf elektrischen Dipol, 20
  auf magnetischen Dipol, 53

Eichtransformation, 98
Eichung
  Coulomb, 98, 156
  Lorenz, 98, 157
Eigenzeit, 115, 116
Einheiten, i–iii, 7–9
Elastizitätstheorie, 148
Elektromagnet, 153
elektromotorische Kraft, 62
Elektron, 154
Elektronenradius
  klassisch, 14
Elektrostatik, 11–46
  Geschichte, 148–151
Energie
  Dipol
    elektrischer, 20
    magnetischer, 65
  elektrostatische, 14, 41
  Induktivität, 63
  Quadrupol
    elektrischer, 20
Energie-, Impulserhaltung, 134
Energie-Impuls-Tensor, 131–136
Energiebilanz, 70–71
Energiedichte, 131
  ebene Welle, 79
  elektromagnetische, 71
  elektrostatische, 14
Energiestrom
  ebene Welle, 79
Energiestromdichte, 71, 131
Erhaltungssätze, 132–136

Feld
  Dipol
    elektrischer, 17
    magnetischer, 52
  einer Stromverteilung, 48–49
  Ladungsverteilung, 12
  magnetisches, divergenzfrei, 154
Felder
  Punktladung, 122
Feldlinien

Sichtbarmachung, 154
Feldstärke
elektrische, 12
magnetische, 55
Feldtensor, 120–121
dualer, 121
Flächen-Integrale, viii
Flächenladungsdichte, 4
Fluss
dielektrische Verschiebung, 29
elektrischer, 12
magnetischer, 47, 60
Fourier-Integral, 79–80
Fourier-Reihe, 79–80

Galilei-Invarianz, 109
Gaussscher Satz, viii
Gradient, vi
Greenscher Satz, ix
Gruppengeschwindigkeit, 96

Hafele-Keating-Experiment, 161
Hagen und Rubens-Gesetz, 90
Hertzscher Dipol, 104
Hohlleiter, 92–96

Impuls
elektromagnetischer, 157
Impuls-Bilanz, 72–75
Impulsdichte, 131
Strahlungs-, 72
Induktion
magnetische, 47–50
Induktionsgesetz, 59–60, 154
Induktivität, 61–66
Influenz, 149, 150
Influenzladung, 37
Integral-Sätze, viii

Kapazitäten, 35
Kirchhoffsche Regeln, 63
Knotenpunktsgesetz, 63
Komponenten
kontravariante, 111
kovariante, 112
Kondensator, 35
Kugel-, 36
Platten-, 37
Kontinuitätsgleichung, 5, 118
Korkenzieher-Regel, 47
Kraft
auf elektrischen Dipol, 20
auf magnetischen Dipol, 53
Coulomb-, 6
Lorentz-, 6
zwischen Strömen, 153
zwischen Stromkreisen, 50, 65
Kraftdichte, 6
Dielektrikum, 42
elektromagnetische, 70, 72–75, 131
Kronecker delta, iv
Kugel
dielektrische, 31
Kugelflächenfunktionen, xi, 23
Additionstheorem, 26
Kugelkoordinaten, 21
Divergenz, 22
Gradient, 21
Laplace-Operator, 22
Volumenelement, 21

Längenkontraktion, 114
Ladung
Influenz-, 37
Ladungsdichte, 3
freibewegliche, 29, 68
Polarisations-, 29, 68
Ladungserhaltung, 5, 67, 133, 149
Lagrange-Funktion, 128–130
Laplace-Operator, vi, ix
Legendre-Funktionen
zugeordnete, xi
leitende Ebene, 38
leitende Kugel, 39
Leiter, 149
elektrische, 34
Kraft auf, 35
Levi-Civita-Symbol, v
Liénard-Wiechert-Potential, 137
Lichtgeschwindigkeit, 6, 146, 155
Konstanz, 112
Vakuum, 78
Linien-Integrale, viii
Lochkamera, 145
Lorentz-Invarianz, 109
Lorentz-Kraft, 6, 153, 157
Lorentz-Kraftdichte, 124
Lorentz-Transformation, 109–114
eigentliche, 113

Maßsysteme, i–iii, 7–9
Magnetisierung, 55
Magnetit, 144
Magnetostatik, 11, 47–57
Geschichte, 151–152
Maschengesetz, 63
Maxwell-Gleichungen, 5, 67–69, 120
in Materie, 69
Mechanik
relativistische, 124–127

metallische Reflexion, 90
metrischer Tensor, 112
Michelson-Morley-Versuch, 110
Minkowski-Kraft, 124
Minkowski-Raum, 111
Monopol
  elektrischer, 25
  magnetischer, 51, 57, 151
Multipol
  elektrischer, 24–27
    Potential, 25

Nabla Operator, vi

Optik, Geschichte, 148

Parabolspiegel, 145
Permeabilität, 56
Phasengeschwindigkeit, 95
Plasma-Schwingungen, 86
Plasmafrequenz, 86
Poisson-Gleichung, 13
Polarisation, 28
Polstärke, 57
Potential
  avanciertes, 101
  elektrisches, 11
  Ladungs-, Stromverteilung, 100–102
  Ladungsverteilung, 12
  magnetisches, 57, 152
  retardiertes, 101, 119, 157
  skalares, 97
Potentiale, 97–99
Poynting-Vektor, 70, 79, 131, 157
Punktladung, 4, 12
  Abstrahlung, 139
  Feld, 137

Quadrupol
  elektrischer
    Energie, 19
    Potential, 17
Quadrupolmoment
  elektrisches, 17–19, 25
Quadrupolstrahlung
  elektrische, 106

Randbedingung
  elektrisches Feld, 30
  magnetisches Feld, 56
Raumwinkelelement, 21
Reflexion, 87–91
Regenbogen, 144, 145
Relativitätstheorie
  allgemeine, 159
  Geschichte, 158–159
  spezielle, 109–136
Ringstrom, 51
Rotation, vi
Ruheenergie, 126

Schwerpunktsbewegung, 134
Skalarprodukt, iv
Snelliussches Brechungsgesetz, 87, 145
Spannungsquelle, 62
Spannungstensor, 131, 157
  elektromagnetischer, 72
  elektrostatisch, 45
Spatprodukt, v
Spule
  lange, 62
  magnetische, 49, 56–57
Stokesscher Satz, viii
Strahlungsfeld, 103
Strahlungswiderstand, 106
Strom
  elektrischer, 4
Stromdichte
  elektrische, 5
  freibewegliche Ladungs-, 55, 68
  Magnetisierungs-, 55, 68
  Polarisations-, 68
Stromkreis, 62–63
Suszeptibilität
  elektrische, 29
  magnetische, 56

TE-Mode, 93
TEM-Mode, 94
TM-Mode, 93
Totalreflexion, 90
Transformation der Felder, 121
Transversalwelle, 147

Vektoralgebra, iv
Vektoranalysis, vi
Vektorgradient, vi
vektorielles Produkt, iv
Vektorpotential, 49–50, 97, 155
Verschiebungsstrom, 156
Vierer-Impuls, 125
Vierer-Potential, 118
Viererskalar, 115–116
Viererstromdichte, 117
Vierertensor
  antisymmetrischer, 120
  symmetrischer, 132
Vierervektor, 116–119
Volumen-Integrale, viii

Welle
an Oberfläche, 90
ebene, 78–79
elektromagnetische, 77–83
im Leiter, 84–86
longitudinale, 86
Wellen
linear polarisiert, 82
zirkular polarisiert, 82
Wellengleichung, 77–78
Wellenleiter, 92–96
Wellenpaket, 95
Weltgeschwindigkeit, 116
Widerstand, 153
ohmscher, 62
Wirkung, 128, 146

Zeitdilatation, 113
Gravitation, 161
Zeitmittelwerte, 82–83

Subject Index

aberration, 146, 147
action, 128, 146
addition theorem
    velocities, 117
amber, 144, 148
Ampere's law, 47
angular momentum conservation, 134

battery, 152
betatron, 60
Biot-Savart law, 48
Bohr's magneton, 53
boundary condition
    electric field, 30
    magnetic field, 56
Brewster's angle, 89, 147

capacities, 35
capacitor, 35
    plate, 37
    spherical, 36
charge
    influence, 37
charge conservation, 5, 67, 133, 149
charge density, 3
    freely moving, 29, 68
    polarization, 29, 68
charge density per area, 4
circuit
    electric, 62–63
Clausius-Mossotti relation, 33
coil
    long, 62
    magnetic, 49, 56–57
components
    contravariant, 111
    covariant, 112
conducting plane, 38
conducting sphere, 39
conductor, 149
    electric, 34
    force on, 35
conservation laws, 132–136
corkscrew rule, 47
Coulomb force, 6, 14
Coulomb law, 150
curl, vi
current
    electric, 4
current density
    electric, 5
    free charges, 55
    freely moving, 68
    magnetization, 55, 68
    polarization, 68
current law, 63

d'Alembert operator, 98, 119
del operator, vi
density of energy current, 131
density of force, 6
dielectric constant, 29
    Clausius, Mossotti, 32
dielectric displacement, 29
diffraction, 147
dipolar moment
    electric, 17–18, 25
    magnetic, 52
        current loop, 52
        Spin, 53
dipole
    electric
        angular momentum, 19
        energy, 19
        field, 17
        force, 19
        potential, 17
    magnetic
        field, 52
        force, 53
        torque, 53
dipole radiation
    electric, 104
    magnetic, 106
Dirac delta, x, 4
displacement current, 156
distance, 115
    light-like, 116
    space-like, 115
    time-like, 115
divergence, vi
Doppler effect, 123
Doppler shift, 123
double-refraction, 146, 147

elasticity, theory of, 148
electro-magnet, 153
electromotive force, 62
electron, 154
electron radius
    classical, 14
electrostatics, 11–46

history, 148–151
energy
dipole
electric, 20
magnetic, 65
electrostatic, 14, 41
inductance, 63
quadrupole
electric, 20
energy balance, 70–71
energy current
plane wave, 79
energy current density, 71
energy density, 131
electromagnetic, 71
electrostatic, 14
plane wave, 79
energy momentum tensor, 131–136
energy, momentum conservation, 134
equation of continuity, 5, 118
equation of motion, 126
eye glasses, 145

field
charge distribution, 12
dipole
magnetic, 52
magnetic, divergency free, 154
of current distribution, 48–49
field lines
made visible, 154
field strength
electric, 12
magnetic, 55
field tensor, 120–121
dual, 121
fields
point charge, 122
flux
dielectric displacement, 29
electric, 12
magnetic, 47, 60
force
between circuits, 50, 65
between currents, 153
Coulomb, 6
Lorentz, 6
on electric dipole, 20
on magnetic dipole, 53
force density
dielectric matter, 42
electromagnetic, 70, 72–75, 131
four-momentum, 125
four-potential, 118
four-scalar, 115–116
four-tensor
antisymmetric, 120
symmetric, 132
four-vector, 116–119
current density, 117
Fourier integrals, 79–80
Fourier series, 79–80

Galilei invariance, 109
gauge
Coulomb, 98, 156
Lorenz, 98, 157
gauge transformation, 98
Gauss' theorem, viii
gradient, vi
Green's theorem, ix
group velocity, 96

Hafele-Keating experiment, 161
Hagen-Rubens law, 90
Hertz dipole, 104

index of refraction, 87
inductance, 61–66
induction
magnetic, 47–50
influence, 149, 150
influence charge, 37
integral theorems, viii

Kirchhoff's rules, 63
Kronecker delta, iv

Líenard-Wiechert potential, 137
Lagrange function, 128–130
Laplacian, vi, ix
law of induction, 59–60, 154
Legendre functions
associated, xi
Levi-Civita symbol, v
light velocity, 155
constance, 112
lightning, 144
line integrals, viii
loop of current, 51
Lorentz contraction, 114
Lorentz force, 6, 153, 157
Lorentz force density, 124
Lorentz invariance, 109
Lorentz transformation, 109–114
proper, 113

magnetite, 144
magnetization, 55
magnetostatics, 11, 47–57

history, 151–152
MAXWELL's equations, 5, 67–69, 120
in matter, 69
mechanics
relativistic, 124–127
metallic reflection, 90
metric tensor, 112
MICHELSON-MORLEY experiment, 110
MINKOWSKI force, 124
MINKOWSKI space, 111
momentum
electromagnetic, 157
momentum balance, 72–75
momentum density, 131
electromagnetic, 72
monopole
electric, 25
magnetic, 51, 57, 151
movement of center of mass, 134
multipole
electric, 24–27
potential, 25

optics, history, 148

parabolic mirror, 145
permeability, 56
phase velocity, 95
pinhole camera, 145
plasma frequency, 86
plasma oscillations, 86
point charge, 4, 12
field, 137
radiation, 139
POISSON's equation, 13
polarization, 28
potential
advanced, 101
charge distribution, 12
charge, current distribution, 100–102
electric, 11
magnetic, 57, 152
retarded, 157
retarted, 101, 119
scalar, 97
potentials, 97–99
POYNTING vector, 70, 79, 131, 157
proper time, 115, 116

quadrupolar moment
electric, 17–19, 25
quadrupole
electric
energy, 19
potential, 17
quadrupole radiation
electric, 106

radiation field, 103
radiation resistance, 106
rainbow, 144, 145
reflection, 87–91
refraction, 87–91
relativity
general theory, 159
special theory, 109–136
relativity, theory of
history, 158–159
resistor, 153
OHMIC, 62
rest energy, 126

scalar product, iv
scalar triple product, v
Snell's law, 87, 145
solid angle
element of, 21
sphere
dielectric, 31
spherical coordinates, 21
divergence, 22
gradient, 21
Laplacian, 22
volume element, 21
spherical harmonics, xi, 23
addition theorem, 26
STOKES' theorem, viii
strength of pole, 57
stress tensor, 131, 157
electromagnetic, 72
electrostatic, 45
surface integrals, viii
susceptibility
electric, 29
magnetic, 56
systems of units, i–iii, 7–9

TE-mode, 93
TEM-mode, 94
time averages, 82–83
time dilatation, 113
gravitational, 161
TM-mode, 93
torque
on electric dipole, 20
on magnetic dipole, 53
total reflection, 90
transformation of fields, 121

units, i–iii, 7–9

vector algebra, iv
vector analysis, vi
vector gradient, vi
vector potential, 49–50, 97, 155
vector product, iv
velocity of light, 6, 146
    vacuum, 78
voltage law, 63
voltage source, 62
volume integrals, viii

wave
    at surface, 90
    circularly polarized, 82
    electromagnetic, 77–83
    in conductor, 84–86
    linearly polarized, 82
    longitudinal, 86
    plane, 78–79
    transversal, 147
wave equation, 77–78
wave guide, 92–96
wave packet, 95
world velocity, 116

Inhalt Elektrodynamik — Contents Electrodynamics

A Grundgleichungen Basic Equations **3**

1 Grundgleichungen der Elektrodynamik Basic Equations of Electrodynamics **3**
1.a Ladungen und Ströme Charges and Currents . . . 3
1.a.α Ladungsdichte Charge Density . . . 3
1.a.β Strom und Stromdichte Current and Current Density . . . 4
1.a.γ Ladungserhaltung und Kontinuitätsgleichung Conservation of Charge and Equation of Continuity . . . 5
1.b Maxwell-Gleichungen Maxwell's Equations . . . 5
1.c Coulomb- und Lorentz-Kraft Coulomb and Lorentz Force . . . 6

2 Dimensionen und Einheiten Dimensions and Units **7**
2.a Gausssches Maßsystem Gaussian Units . . . 7
2.b Andere Einheitensysteme Other Systems of Units . . . 7
2.c Motivation für Gausssche Einheiten Motivation for Gaussian Units . . . 9

B Elektrostatik Electrostatics **11**

3 Elektrisches Feld, Potential, Energie des Feldes Electric Field, Potential, Energy of the Field **11**
3.a Statik Statics . . . 11
3.b Elektrisches Feld und Potential Electric Field and Potential . . . 11
3.b.α Elektrisches Potential Electric Potential . . . 11
3.b.β Elektrischer Fluss und Ladung Electric Flux and Charge . . . 12
3.b.γ Potential einer Ladungsverteilung Potential of a Charge Distribution . . . 13
3.c Coulombkraft und Feldenergie Coulomb Force and Field Energy . . . 14

4 Elektrischer Dipol und Quadrupol Electric Dipole and Quadrupole **16**
4.a Das Feld für $r > R$ The Field for $r > R$ . . . 16
4.b Transformationseigenschaften Transformation Properties . . . 17
4.c Dipol Dipole . . . 18
4.d Quadrupol Quadrupole . . . 18
4.d.α Symmetrien Symmetries . . . 18
4.d.β Symmetrischer Quadrupol Symmetric Quadrupole . . . 19
4.e Energie, Kraft und Drehmoment auf einen Multipol im äußeren Feld Energy, Force and Torque on a Multipole in an external Field . . . 19

5 Multipol-Entwicklung in Kugelkoordinaten Multipole Expansion in Spherical Coordinates **21**
5.a Poisson-Gleichung in Kugelkoordinaten Poisson Equation in Spherical Coordinates . . . 21
5.a.α Der Gradient The Gradient . . . 21
5.a.β Die Divergenz The Divergence . . . 22
5.a.γ Der Laplace-Operator The Laplacian . . . 22
5.b Kugelflächenfunktionen Spherical Harmonics . . . 23
5.c Radialgleichung und Multipol-Momente Radial Equation and Multipole Moments . . . 24
5.d Punktladung am Ort $\mathbf{r}'$, zylindersymmetrische Ladungsverteilung Point Charge at $\mathbf{r}'$, Cylindric Charge Distribution . . . 26

6 Elektrisches Feld in Materie Electric Field in Matter **28**
6.a Polarisation und dielektrische Verschiebung Polarization and Dielectric Displacement . . . 28
6.b Grenzflächen zwischen Dielektrika Boundaries between Dielectric Media . . . 30
6.c Dielektrische Kugel im homogenen elektrischen Feld Dielectric Sphere in a Homogeneous Electric Field . . . 31

6.d Dielektrizitätskonstante nach Clausius und Mossotti Dielectric Constant according to Clausius and Mossotti 32

7 Elektrizität auf Leitern Electricity on Conductors 34
7.a Elektrische Leiter Electric Conductors 34
7.a.α Randbedingungen an der Leiteroberfläche Boundary Conditions at the Surface of the Conductor 34
7.a.β Kraft auf Leiter (im Vakuum) Force acting on the Conductor (in Vacuo) 35
7.b Kapazitäten Capacities 35
7.c Influenzladungen Influence Charges 37
7.c.α Leiterfreier Raum Space free of Conductors 38
7.c.β Leitende Ebene Conducting Plane 38
7.c.γ Leitende Kugel Conducting Sphere 39

8 Energie, Kräfte und Spannungen im Dielektrikum Energy, Forces and Stress in Dielectric Media 41
8.a Elektrostatische Energie Electrostatic Energy 41
8.b Kraftdichte im isotropen Dielektrikum Force Density in Isotropic Dielectric Matter 42
8.c Maxwellscher Spannungstensor Maxwell's Stress Tensor 45

C Magnetostatik Magnetostatics 47

9 Magnetische Induktion und Vektorpotential Magnetic Induction and Vector Potential 47
9.a Amperegesetz Ampere's Law 47
9.b Magnetischer Fluss Magnetic Flux 47
9.c Feld einer Stromverteilung Field of a Current Distribution 48
9.d Vektorpotential Vector Potential 49
9.e Kraft zwischen zwei Stromkreisen Force Between Two Circuits 50

10 Ringströme als magnetische Dipole Loops of Current as Magnetic Dipoles 51
10.a Lokalisierte Stromverteilung und magnetischer Dipol Localized Current Distribution and Magnetic Dipole 51
10.b Magnetisches Dipolmoment eines Ringstroms Magnetic Dipolar Moment of a Current Loop . 52
10.c Kraft und Drehmoment auf einen Dipol im äußeren magnetischen Feld Force and Torque on a Dipole in an External Magnetic Field 53
10.c.α Kraft Force 53
10.c.β Drehmoment Torque 53

11 Magnetismus in Materie. Feld einer Spule Magnetism in Matter. Field of a Coil 55
11.a Magnetismus in Materie Magnetism in Matter 55
11.b Feld einer Spule Field of a coil 56

D Induktionsgesetz Law of Induction 59

12 Faradaysches Induktionsgesetz Faraday's Law of Induction 59

13 Induktivitäten und Stromkreise Inductances and Electric Circuits 61
13.a Induktivitäten Inductances 61
13.b Stromkreis-Elemente Elements of Circuits 62
13.c Kirchhoffsche Regeln Kirchhoff's Rules 63
13.d Energie von Induktivitäten Energy of Inductances 63
13.d.α Konstante Induktivitäten Constant Inductances 64
13.d.β Gegeneinander bewegte Stromkreise Moving Loops of Currents 64
13.d.γ Konstante magnetische Flüsse Constant Magnetic Fluxes 64
13.d.δ Kraft zwischen zwei Stromkreisen Force between two Electric Circuits 65

13.d.ϵ Energie eines magnetischen Dipols im äußeren Magnetfeld Energy of a Magnetic Dipole in an External Magnetic Induction . . . 65
13.d.ζ Permanente magnetische Momente Permanent Magnetic Moments . . . 65

E Maxwell-Gleichungen Maxwell's Equations 67

14 Vollständige Maxwell-Gleichungen Complete Set of Maxwell's Equations 67
14.a Widerspruchsfreiheit der Maxwell-Gleichungen Consistency of Maxwell's Equations . . . 67
14.b Maxwell-Gleichungen für freibewegliche Ladungen und Ströme Maxwell's Equations for Freely Moving Charges and Currents . . . 68

15 Energie- und Impuls-Bilanz Energy and Momentum Balance 70
15.a Energie Energy . . . 70
15.b Impuls-Bilanz Momentum Balance . . . 72

F Elektromagnetische Wellen Electromagnetic Waves 77

16 Elektromagnetische Wellen im Vakuum und in homogenen isotropen Isolatoren Electromagnetic Waves in Vacuum and in Homogeneous Isotropic Insulators 77
16.a Wellengleichung Wave Equation . . . 77
16.b Ebene Wellen Plane Waves . . . 78
16.c Überlagerung ebener periodischer Wellen Superposition of Plane Periodic Waves . . . 79
16.c.α Einschub über Fourier-Reihen und Integrale Insertion on Fourier Series and Integrals 79
16.c.β Zurück zu den Maxwell-Gleichungen Back to Maxwell's Equations . . . 80
16.c.γ Zeitmittelwerte und Zeitintegrale Time averages and time integrals . . . 82

17 Elektromagnetische Wellen in homogenen Leitern Electromagnetic Waves in Homogeneous Conductors 84
17.a Transversal-Schwingungen bei niedrigen Frequenzen Transverse Oscillations at Low Frequencies . . . 84
17.b Transversal-Schwingungen bei hohen Frequenzen Transverse Oscillations at High Frequencies 85
17.c Longitudinale = Plasma-Schwingungen Longitudinal = Plasma Oscilations . . . 86

18 Reflexion und Brechung an einer ebenen Grenzfläche Reflection and Refraction at a Planar Surface 87
18.a Problemstellung und Ausbreitungsrichtung Problem and Direction of Propagation . . . 87
18.b Grenzbedingungen, Amplituden Boundary Conditions, Amplitudes . . . 88
18.c Diskussion für $\mu_1 = \mu_2$ Discussion for $\mu_1 = \mu_2$ . . . 89
18.c.α Isolator, $|\sin\alpha_2| < 1$: Brechung Insulator, $|\sin\alpha_2| < 1$: Refraction . . . 89
18.c.β Isolator, $|\sin\alpha_2| > 1$: Totalreflexion Insulator, $|sin\alpha_2| > 1$: Total Reflection . . . 90
18.c.γ Metallische Reflexion, $\alpha = 0$ Metallic Reflection, $\alpha = 0$ . . . 90
18.c.δ Oberflächenwellen am Leiter Surface Waves along a Conductor . . . 90

19 Hohlleiter Wave Guides 92
19.a Hohlleiter Wave Guides . . . 92
19.b Lösung für rechteckigen Querschnitt Solution for a Rectangular Cross Section . . . 95
19.c Wellenpakete Wave Packets . . . 95

G Elektrodynamische Potentiale Electrodynamic Potentials 97

20 Elektrodynamische Potentiale, Eichtransformationen Electrodynamic Potentials, Gauge Transformations 97
20.a Potentiale Potentials . . . 97
20.b Eichtransformationen Gauge Transformations . . . 98

21 Die elektromagnetischen Potentiale einer allgemeinen Ladungs- und Stromverteilung Electromagnetic Potentials of a general Charge and Current Distribution 100
21.a Berechnung der Potentiale Calculation of the Potentials . . . 100
21.b Eichbedingung Gauge Condition . . . 101

22 Ausstrahlung harmonischer Schwingungen Radiation from Harmonic Oscillations 103
22.a Strahlungsfeld Radiation Field . . . 103
22.a.α Nahzone (Statische Zone) Near Zone (Static Zone) . . . 103
22.a.β Fernzone (Strahlungszone) Far Zone (Radiation Zone) . . . 103
22.b Elektrische Dipolstrahlung (Hertzscher Dipol) Electric Dipole Radiation (Hertz Dipole) . . . 104
22.c Magnetische Dipolstrahlung und elektrische Quadrupolstrahlung Magnetic Dipole radiation and Electric Quadrupole Radiation . . . 106
22.c.α Magnetische Dipolstrahlung Magnetic Dipole Radiation . . . 106
22.c.β Elektrische Quadrupolstrahlung Electric Quadrupole Radiation . . . 107

H Lorentz-Invarianz der Elektrodynamik Lorentz Invariance of Electrodynamics 109

23 Lorentz-Transformation Lorentz Transformation 109
23.a Galilei- und Lorentz-Transformation Galilei and Lorentz Transformation . . . 109
23.b Lorentz-Transformation Lorentz Transformation . . . 111
23.b.α Zeitdilatation Time Dilatation . . . 113
23.b.β Längenkontraktion Lorentz Contraction . . . 114

24 Vierergrößen und Vierervektoren Four-Scalars and Four-Vectors 115
24.a Abstand und Eigenzeit als Vierergrößen Distance and Proper Time as Four-Scalars . . . 115
24.a.α Raumartiger Abstand $s^2 < 0$ Space-like distance $s^2 < 0$ . . . 115
24.a.β Zeitartiger Abstand $s^2 > 0$ Time-like distance $s^2 > 0$ . . . 115
24.a.γ Lichtartiger Abstand $s^2 = 0$ Light-like distance $s^2 = 0$ . . . 116
24.b Weltgeschwindigkeit als Vierervektor World Velocity as Four-Vector . . . 116
24.c Viererstromdichte Current Density Four-Vector . . . 117
24.d Viererpotential Four-Potential . . . 118

25 Elektromagnetischer Feldtensor Electromagnetic Field Tensor 120
25.a Feldtensor Field Tensor . . . 120
25.b Maxwell-Gleichungen Maxwell's Equations . . . 120
25.b.α Die inhomogenen Gleichungen The Inhomogeneous Equations . . . 120
25.b.β Die homogenen Gleichungen The Homogeneous Equations . . . 121
25.c Transformation der elektrischen und magnetischen Felder Transformation of the Electric and Magnetic Fields . . . 121
25.d Felder einer gleichförmig bewegten Punktladung Fields of a Point Charge in Uniform Motion 122
25.e Doppler-Effekt Doppler Effect . . . 123

26 Relativistische Mechanik Relativistic Mechanics 124
26.a Lorentz-Kraftdichte Lorentz Force Density . . . 124
26.b Lorentz-Kraft auf eine Punktladung Lorentz Force Acting on a Point Charge . . . 124
26.c Energie und Impuls eines Massenpunktes Energy and Momentum of a Mass Point . . . 125
26.d Bewegungsgleichung Equation of Motion . . . 126

27 Lagrange-Formulierung Lagrangian Formulation 128
27.a Lagrange-Funktion einer massiven Ladung im elektromagnetischen Feld Lagrangian of a Massive Charge in the Electromagnetic Field . . . 128
27.b Lagrangedichte des elektromagnetischen Feldes Lagrangian Density of the Electromagnetic Field . . . 129

28 Energie-Impuls-Tensor und Erhaltungsgrößen Energy Momentum Tensor and Conserved Quantities 131
28.a Der Tensor The Tensor . . . 131
28.b Erhaltungssätze Conservation Laws . . . 132
28.b.α Ladung Charge . . . 133
28.b.β Energie und Impuls Energy and Momentum . . . 134
28.b.γ Drehimpuls und Schwerpunktsbewegung Angular Momentum and Movement of Center of Mass . . . 134

29 Feld einer beliebig bewegten Punktladung Field of an arbitrarily Moving Point-Charge 137
29.a Liénard-Wiechert-Potential Liénard-Wiechert Potential . . . 137
29.b Die Felder The Fields . . . 137
29.c Gleichförmige Bewegung Uniform Motion . . . 139
29.d Beschleunigte Ladung momentan in Ruhe Accelerated Charge Momentarily at Rest . . . 139
29.e Abstrahlung, $\beta \neq 0$ Emitted Radiation $\beta \neq 0$ . . . 140

I Rückblick und Ausblick Review and Outlook 143

30 Kurze Geschichte der Elektrodynamik Short History of Electrodynamics 143
30.a Theorie des Lichts bis Fresnel Theory of Light to Fresnel . . . 144
30.b Elektrostatik Electrostatics . . . 148
30.c Magnetostatik Magnetostatics . . . 151
30.d Aufbruch zur Elektrodynamik Set out for Electrodynamics . . . 152
30.e Elektrodynamik und Wellen Electrodynamics and Waves . . . 154
30.f Relativitätstheorie Theory of Relativity . . . 158
30.g Von der klassischen zur Quanten-Elektrodynamik From Classical to Quantum Electrodynamics 159

31 Gravitations-Zeitdilatation Gravitational Time Dilatation 161
31.a Lichtquant im Gravitationsfeld Light Quantum in the Gravitational Field . . . 161
31.b Äquivalenz-Prinzip Principle of Equivalence . . . 162

Anhänge Appendices i

A Umrechnung zwischen Maßsystemen der Elektrodynamik Connection between different Systems of Units i

B Formeln zur Vektorrechnung Formulae for Vector Calculus iv
B.a Vektoralgebra Vector Algebra . . . iv
B.a.α Summationskonvention und orthonormale Basis Summation Convention and Orthonormal Basis . . . iv
B.a.β Skalarprodukt Scalar Product . . . iv
B.a.γ Vektorielles Produkt Vector Product . . . iv
B.a.δ Mehrfachprodukte Multiple Products . . . v
B.b Vektoranalysis Vector Analysis . . . vi
B.b.α Räumliche Differentiation, Nabla-Operator Differentiation in Space, Del Operator . . . vi
B.b.β Zweifache Ableitung, Laplace-Operator Second Derivatives, Laplacian . . . vi
B.b.γ Ableitung von Produkten Derivatives of Products . . . vii
B.c Spezielle Ausdrücke Special Expressions . . . vii
B.d Integral-Sätze Integral Theorems . . . viii
B.d.α Linien-Integrale Line Integrals . . . viii
B.d.β Flächen-Integrale Surface Integrals . . . viii
B.d.γ Volumen-Integrale Volume Integrals . . . viii
B.d.δ Volumen-Integrale über Produkte Volume Integrals of Products . . . ix
B.e Der Laplace-Operator von $1/r$ und Verwandtes The Laplacian of $1/r$ and Related Expressions ix
B.e.α Der Laplace-Operator von $1/r$ The Laplacian of $1/r$ . . . ix

B.e.β Darstellung eines Vektorfeldes als Summe eines rotationsfreien und eines divergenzfreien Feldes Representation of a Vector Field as a Sum of an Irrotational and a Divergence-free Field x

C Kugelflächenfunktionen Spherical Harmonics xi

C.a Eigenwert-Problem und Separation der Variablen Eigenvalue Problem and Separation of Variables xi

C.b Zugeordnete LEGENDRE-Funktionen Associated LEGENDRE Functions xi

C.c Orthogonalität und Normierung Orthogonality and Normalization xiii

C.d Bemerkung zur Vollständigkeit Remark on Completeness xiv

Namensregister Name Index xvii

Sachregister xix

Subject Index xxiii

Inhalt Contents xxvii