

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XIV
Vorwort	XV
1 Einführung	1
1.1 Kräfte zwischen ruhenden Ladungen: Elektrostatik	1
1.2 Kräfte zwischen bewegten Ladungen: Magnetische Kräfte	8
1.3 Das elektromagnetische Feld	16
Literaturhinweise zu Kapitel 1	17
2 Grundlagen der Elektrostatik	19
2.1 Die Elementarladung	19
2.2 Das Coulombsche Gesetz	22
2.3 Das elektrische Feld	25
2.4 Das elektrische Potential	27
2.5 Das elektrische Feld als Gradient des Potentials	31
2.6 Der Gaußsche Satz der Elektrostatik	40
Literaturhinweise zu Kapitel 2	45
3 Verschiedene Anwendungen der Gesetze der Elektrostatik	47
3.1 Gleichgewicht im elektrostatischen Feld	47
3.2 Das elektrostatische Feld einer ebenen Ladungsschicht	48
3.3 Das elektrische Feld eines Plattenkondensators	50
3.4 Unendlich langer, geladener Draht und Koaxialkabel	53
3.5 Das elektrische Feld einer homogen geladenen Kugel	56
3.6 Leiter in einem statischen elektrischen Feld	58
3.7 Spitzen in starken elektrischen Feldern	60
3.8 Das Rastertunnelmikroskop	63
3.9 Der Faradaysche Käfig	64
3.10 Influenz	66
3.11 Das elektrische Feld zwischen geladenen Leitern	69
3.12 Die Energie des elektrischen Feldes	71
3.13 Die Abschirmung elektrischer Potentiale in leitenden Medien	76
Literaturhinweise zu Kapitel 3	81

4	Isolatoren im elektrischen Feld	83
4.1	Die Gleichungen der Elektrostatik in einem Dielektrikum . . .	83
4.2	Die Polarisierbarkeit von Atomen in elektrischen Wechselfeldern	89
4.3	Die Dielektrizitätskonstante eines Plasmas	91
4.4	Die Orientierungspolarisation	93
4.5	Die Dielektrizitätskonstante eines dichten Mediums	98
4.6	Elektrische Polarisierung in festen Körpern	103
	Literaturhinweise zu Kapitel 4	106
5	Der elektrische Strom	107
5.1	Stromdichte, Strom und Ladungserhaltung	107
5.2	Elektrische Leitfähigkeit und das Ohmsche Gesetz	109
5.3	Mikroskopisches Modell für das Ohmsche Gesetz	110
5.4	Elektronenleitung in festen Körpern	112
5.5	Ionenleitung in Elektrolytlösungen	116
5.6	Die elektrische Leistung eines Stromes in einem Widerstand	122
5.7	Elektromotorische Kraft	123
5.8	Austrittsarbeit, Kontaktspannung und Thermospannung	126
5.9	Stromkreise und Stromverzweigungen (Kirchhoffsche Regeln)	131
	Literaturhinweise zu Kapitel 5	134
6	Das magnetische Feld	135
6.1	Das Ampèresche Gesetz	137
6.2	Das Biot-Savartsche Gesetz	143
6.3	Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern	147
	Literaturhinweise zu Kapitel 6	154
7	Die Bewegung von geladenen Teilchen im magnetischen Feld	157
7.1	Die magnetische Kraft auf einen stromführenden Draht	157
7.2	Der Hall-Effekt	158
7.3	Der magneto-hydrodynamische Generator (MHD-Generator)	160
7.4	Bewegte metallische Leiter (Generatorprinzip)	161
7.5	Kraftwirkungen auf einen magnetischen Dipol	163
7.6	Bahnen freier Ladungen im Magnetfeld	166
7.7	Bahnen geladener Teilchen im Magnetfeld der Erde	170
	Literaturhinweise zu Kapitel 7	172
8	Induktionserscheinungen	173
8.1	Das Faradaysche Induktionsgesetz	173
8.2	Die Lenzsche Regel	174
8.3	Beispiele zum Induktionsgesetz	175
8.4	Die Selbstinduktion	182

8.5	Die Energie des magnetischen Feldes	187
8.6	Der elektrische Schwingkreis	189
8.7	Erzwungene elektrische Schwingungen	192
8.8	Wechselstromleistung	194
	Literaturhinweise zu Kapitel 8	198
9	Materie im Magnetfeld	199
9.1	Die Magnetisierung der Materie	200
9.2	Die Feldgleichungen der Magnetostatik in Materie	210
9.3	Diamagnetisches Verhalten von Supraleitern	212
	Literaturhinweise zu Kapitel 9	215
10	Elektromagnetische Wellen	217
10.1	Erweiterung des Ampèreschen Gesetzes für zeitlich veränderliche Felder: der Verschiebungsstrom	217
10.2	Die Maxwellschen Gleichungen	219
10.3	Die Wellenausbreitung im Vakuum	221
10.4	Die Energiedichte einer elektromagnetischen Welle	227
10.5	Elektromagnetische Wellen im Dielektrikum	228
10.6	Reflexion einer Welle an einer Isolatoroberfläche	230
10.7	Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Leitern	232
10.8	Geführte elektrische Wellen	237
10.9	Strahlung von einem oszillierenden elektrischen Dipol	242
10.10	Die Streuung elektromagnetischer Strahlung an Atomen	245
	Literaturhinweise zu Kapitel 10	247
11	Raum und Zeit: Einführung in das Relativitätsprinzip	249
11.1	Das Relativitätsprinzip in der klassischen Mechanik	249
11.2	Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wirkung	251
11.3	Das Relativitätsprinzip in der Elektrodynamik	253
11.4	Die Invarianz des Raum-Zeit-Abstandes	256
11.5	Die Lorentz-Transformation	262
11.6	Die Lorentz-invariante Addition von Geschwindigkeiten	264
11.7	Die Relativität der Gleichzeitigkeit von Ereignissen und deren Reihenfolge	266
11.8	Längenkontraktion	267
11.9	Die Zeitdilatation	268
11.10	Relativistischer Dopplereffekt und Aberration	268
11.11	Relativistische Dynamik – eine Einführung	274
12	Relativistische Dynamik mit Vierervektoren	279
12.1	Vierervektoren	279
12.2	Vierergeschwindigkeit eines Teilchens	281
12.3	Energie-Impulsvierervektor	281
12.4	Lorentz-Transformation des Energie-Impuls-Vierervektors	284

12.5	Zweikörper-Zerfall eines Teilchens	285
12.6	Teilchenproduktion an der Erzeugungs-Schwelle	286
12.7	Der Compton-Effekt	290
12.8	Vierervektoren in der Elektrodynamik	293
12.9	Die Bewegungsgleichung in relativistischer Schreibweise	295
12.10	Schlussbemerkung	297
	Literaturhinweise zu Kapitel 11 und 12	298

Anhang **299**

A	Maßsysteme der Elektrodynamik	299
B	SI-Einheiten	302
C	Vorsätze	303
D	Wichtige physikalische Konstanten	304
E	Abgeleitete Einheiten	306
E.1	Länge	306
E.2	Masse	306
E.3	Zeit	306
E.4	Temperatur	306
E.5	Winkel	306
E.6	Kraft, Druck	307
E.7	Energie, Leistung, Wärmemenge	307
E.8	Elektromagnetismus	307

Sachverzeichnis **309**

Abbildungsverzeichnis

1.1	Blitzeinschlag	4
1.2	Die Katze	5
1.3	Goldblatt-Elektrometer	5
1.4	Paraffinkugel in Wasser	6
1.5	Elektrisches Feld einer Punktladung	8
1.6	Kraftlinien einer Punktladung	8
1.7	Kraftwirkungen zwischen zwei Stabmagneten.	9
1.8	Stabmagnet und Hufeisenmagnet	9
1.9	Lorentz-Kraft	10
1.10	Richtung der Lorentz-Kraft	11
1.11	Der elektrische Strom	12
1.12	Lorentz-Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter	12
1.13	Ablenkung einer Magnetnadel	13
1.14	Eisenfeilspänen um einen stromdurchflossenen Draht	13
1.15	Magnetische Feldstärke um einen stromführenden Draht	14
1.16	Lorentz-Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern	14
2.1	Millikan Versuch	19
2.2	Elektron-Positron-Paarbildung	21
2.3	Coulombsche Drehwaage	23
2.4	Kraft auf eine Probeladung	23
2.5	Gesamtkraft zweier Ladungen auf eine Probeladung	24
2.6	Berechnung der elektrischen Feldstärke	25
2.7	Beiträge zur elektrischen Feldstärke	26
2.8	Das Potential eines Protons	28
2.9	Arbeit im Feld	29
2.10	Beiträge zum Potential	30
2.11	Potential eines elektrischen Dipols	32
2.12	Polarkoordinaten	34
2.13	Äquipotentialflächen eines elektrischen Dipols	35
2.14	HCl-Molekül	35
2.15	H ₂ O-Molekül	36
2.16	CO ₂ -Molekül	37
2.17	Wasserstoffatom im elektrischem Feld	37

2.18	Polarisierbarkeit des CO ₂ -Moleküls	39
2.19	Teilchenfluss durch Flächenelemente	40
2.20	Flächenelemente	41
2.21	Zur Berechnung des Flusses des elektrischen Feldes	42
2.22	Projektion eines Flächenelementes	42
2.23	Punktladung außerhalb einer geschlossenen Fläche	44
3.1	Gleichgewichtslagen im elektrischen Feld	48
3.2	Elektrisches Feld einer Ladungsschicht	49
3.3	Plattenkondensator	50
3.4	Plattenkondensator, elektrisches Feld und Potential	51
3.5	Der Drehkondensator.	52
3.6	Parallelschaltung zweier Kondensatoren	52
3.7	Serienschaltung zweier Kondensatoren	52
3.8	Der unendlich lange, geladene Draht	54
3.9	Das Koaxialkabel	55
3.10	Die homogen geladene Kugel	56
3.11	Das elektrische Feld einer Kugel	57
3.12	Das Innere eines Leiters	58
3.13	Zwei Metallkugeln auf gleichem Potential	59
3.14	Eine nicht kugelförmige Leiteroberfläche	60
3.15	Das Feldionen-Mikroskop	61
3.16	Aufnahme eines Feldionen-Mikroskops	62
3.17	Tunneleffekt	63
3.18	Schematische Skizze eines Rastertunnelmikroskops	64
3.19	Siliziumoberfläche	64
3.20	Feld im Inneren eines Leiters I	65
3.21	Feld im Inneren eines Leiters II	65
3.22	Van-de-Graaff-Generator – Funktionsweise	66
3.23	Van-de-Graaff-Generator	67
3.24	Leiter im Feld eines Plattenkondensators	67
3.25	Influenzladungen	68
3.26	Elektrisches Feld zwischen einer Punktladung und einer Metallplatte	70
3.27	Ein Kondensator mit der Ladung Q	72
3.28	Kraft zwischen den Platten eines Kondensators	75
3.29	Das elektrische Feld eines Plattenkondensators	76
3.30	Eine geladene Metallkugel in einem Elektrolyten	76
3.31	Das elektrostatische Feld einer geladenen Kugel	77
3.32	Geladene Kugel im Elektrolyten: Ionendichte	78
3.33	Geladene Kugel im Elektrolyten: Gaußsche Fläche	78
3.34	Geladene Kugel im Elektrolyten: Potential	79

4.1	Ein Dielektrikum innerhalb eines Plattenkondensators	84
4.2	Fluss der Polarisation durch eine geschlossene Fläche	87
4.3	Die atomare Polarisierbarkeit	90
4.4	Plasmaschicht	91
4.5	Elektrischer Dipol in einem homogenen Feld	93
4.6	Elektrischer Dipol in einem inhomogenen Feld	94
4.7	Elektrischer Dipol parallel zum inhomogenen Feld	95
4.8	Elektrischer Dipol im Feld (potentielle Energie)	96
4.9	Polarisation eines Gases im elektrischen Feld	96
4.10	Parelektrische Suszeptibilität einiger Gase	97
4.11	Atom in einem isotropen Isolator	99
4.12	Elektrisches Feld im Innern eines Hohlraums	100
4.13	Das elektrische Feld im Innern eines kugelförmigen Hohlraums	101
4.14	Das elektrische Feld einer homogen polarisierten Kugel	102
4.15	Einheitszelle eines Quarz-Kristalls	103
4.16	OH^- -Verunreinigung in einem NaCl-Gitter	104
4.17	Spontane Polarisation in Bariumtitanat	105
4.18	Die Suszeptibilität von Bariumtitanat	106
5.1	Ladungsverteilung innerhalb einer Vakuumröhre	108
5.2	Leitfähigkeit einiger Metalle und Halbleiter	113
5.3	Entdeckung der Supraleitung	114
5.4	Spezifische elektrische Leitfähigkeit einer NaCl-Lösung	117
5.5	Dissoziation eines NaCl-Moleküls in Wasser	118
5.6	Prinzip der Elektrophorese (nach TISELIUS).	120
5.7	Elektrophorogramm eines menschlichen Blutserums	121
5.8	Beweglichkeit eines Protein-Moleküls	122
5.9	Potentialdifferenz längs eines Leiterstückes	123
5.10	Vakuumröhre als elektromotorische Kraft	123
5.11	Elektrochemische Spannungsreihe.	125
5.12	Daniell-Element	125
5.13	Austrittsarbeit	127
5.14	Zur Berührungsspannung	128
5.15	Zur Thermospannung	129
5.16	Ein Kupfer-Konstantan-Thermoelement.	129
5.17	Peltier-Effekt	130
5.18	Ein einfacher elektrischer Stromkreis.	131
5.19	Zur Kirchhoffschen Knotenregel.	132
5.20	Serien- und Parallelschaltung von Ohmschen Widerständen.	133
5.21	Komplizierter Stromkreis	133
5.22	Wheatstonesche Brückenschaltung.	134

6.1	Magnetische Feldlinien (zwei stromdurchflossene Leiter	136
6.2	Magnetfeld von Spule und Stabmagnet	137
6.3	Berechnung der Zirkulation des Magnetfeldes	138
6.4	Magnetfeld eines stromdurchflossenen Drahtes	140
6.5	Magnetfeldes innerhalb eines Koaxialkabels I	141
6.6	Magnetfeldes zwischen stromdurchflossenen Platten	142
6.7	Anwendung des Ampèreschen Gesetzes	142
6.8	Biot-Savartsches Gesetz	144
6.9	Magnetfeldes einer ringförmigen Stromschleife	145
6.10	Magnetfeld einer rechteckigen Stromschleife	145
6.11	Ein stromdurchflossener Draht in relativistischer Behandlung .	148
6.12	Bewegter Kondensator	151
6.13	Elektrische Feldlinien bei einer Punktladung	152
7.1	Zur Berechnung der magnetischen Kraft	157
7.2	Der Hall-Effekt.	159
7.3	Prinzip des magnetohydrodynamischen Generators.	160
7.4	Demonstration des Prinzips des MHD-Generators	161
7.5	Generatorprinzip	162
7.6	Demonstrationsversuch zum Generatorprinzip	162
7.7	Ein einfacher Spannungsgenerato	162
7.8	Drehmoment auf eine rechteckige Stromschleife	163
7.9	Prinzipieller Aufbau eines Drehspulgalvanometers.	166
7.10	Prinzipieller Aufbau eines Zyklotrons.	167
7.11	Prinzip eines Massenspektrometers	168
7.12	Geladenes Teilchen im homogenen Magnetfeld	169
7.13	Geladenes Teilchen im inhomogenen Magnetfeld	169
7.14	Geladene Teilchen im Magnetfeld der Erde	170
7.15	Van-Allen-Strahlungsgürtel	171
8.1	Drahtschleife im magnetischen Feld	174
8.2	Zur Richtung des Induktionsstromes	175
8.3	Induktion	176
8.4	Das geomagnetische Feld	176
8.5	Erzeugung hoher gepulster Magnetfelder	177
8.6	Prinzip eines Drehstrom-Motors.	177
8.7	Prinzip eines Typs von Magnetschwebbahnen.	178
8.8	Transrapid	178
8.9	Drahtschleife und Magnetfeld	179
8.10	Wirbelstromdämpfung	180
8.11	Prinzipieller Aufbau eines Betatrons	180
8.12	Magnetischer Fluss durch eine Drahtschleife	183
8.13	Ein- und Ausschaltverhalten einer Spule	183

8.14	Einschalt- und Ausschaltstrom einer Spule	184
8.15	Selbstinduktivität einer langen Spule	185
8.16	Induktivität eines Koaxialkabels	186
8.17	Elektrischer Schwingkreis.	189
8.18	Schwingkreis	190
8.19	Schwingkreis und Hohlraumresonator	191
8.20	Elektrischer Schwingkreis	193
8.21	Wechselstromleistung	195
8.22	Wechselstromleistung für ein Netzwerk	196
9.1	Stern-Gerlach-Versuch	200
9.2	Bestimmung des Magnetfeldes in Materie	202
9.3	Orientierte magnetische Momente	203
9.4	Magnetisierungskurve einer Weicheisenprobe	207
9.5	Riesenmagnetwiderstand	209
9.6	Elektromagnet mit Eisenkern	211
9.7	Meißner-Effekt	213
9.8	Permanent-Magnet im Schwebезustand (Hochtemperatur-Supraleiter)	214
10.1	Zur Herleitung des Verschiebungsstroms	218
10.2	Zum Ampèreschen Gesetz	218
10.3	Fluss durch eine Gaußsche Fläche	222
10.4	Harmonische, ebene elektromagnetische Welle	222
10.5	Kurvenintegral	224
10.6	Feld und Energiedichte der ebenen, harmonischen Welle	227
10.7	Poynting-Vektor	228
10.8	Reflexion einer Welle an einer Isolatoroberfläche	230
10.9	Elektromagnetische Wellen in Leitern	232
10.10	Zum Skinneffekt	234
10.11	Reflexion von Radiowellen	236
10.12	Zu den Reichweiten für Radiowellen	236
10.13	Elektronendichte bzw. Plasmafrequenz der Ionosphäre	237
10.14	Elektromagnetische Wellen in einem Koaxialkabel	238
10.15	Koaxialkabel: Feld- und Stromverteilung	239
10.16	Elektromagnetischen Welle an Metalloberflächen	240
10.17	Feldverteilung in einem Rechteck-Hohlleiter	241
10.18	Elektrische Feldlinien eines vertikalen Hertzschen Dipols	243
11.1	Michelson-Interferometer	254
11.2	Interferenzstreifen beim Michelson-Interferometer	254
11.3	Zur Definition des Raum-Zeit-Abstands.	257
11.4	Zur Zeitdilatation	260
11.5	Zur Herleitung des relativistischen Dopplereffekts.	270

Tabellenverzeichnis

2.1	Atomare Polarisierbarkeiten einiger Elemente.	38
4.1	Dielektrizitätskonstante einiger Substanzen.	86
5.1	Der spezifische elektrische Widerstand einiger Substanzen . .	110
5.2	Sprungtemperatur der supraleitenden Elemente	114
5.3	Sprungtemperatur von supraleitenden metallischen Legierungen	115
5.4	Sprungtemperaturen von Hochtemperatur-Supraleitern	115
5.5	Thermokräfte	130
6.1	Relativistischer Zusammenhang – Beispiel	150
7.1	Ladungsträger- und Teilchendichten einiger Metalle (pro m^3). .	159
7.2	Vergleich von magnetischem und elektrischem Dipol.	164
9.1	Eigenschaften einiger ferromagnetischer Substanzen	201
A.1	Coulombsche Gesetz und das Ampèresche Gesetz im SI- System und in den CGS-Systemen.	300
A.2	Coulombsche Gesetz und das Ampèresche Gesetz im SI- System und in den CGS-Systemen.	301