
Inhaltsverzeichnis

Einleitung	XV
1 Die Maxwell'schen Feldgleichungen	1
1.1 Ladungen, Ströme und Ladungserhaltung	1
1.2 Lorentz-Kraft	9
1.3 Maxwell-Gleichungen	11
1.3.1 Gauß'sches Gesetz	12
1.3.2 Faraday'sches Induktionsgesetz	13
1.3.3 Ampère-Maxwell-Gesetz	16
1.3.4 Divergenzfreiheit der magnetischen Flussdichte	18
1.3.5 Maxwell-Gleichungen in integraler Form	18
1.3.6 Die Maxwell-Gleichungen in differentieller Form	20
1.3.7 Superpositionsprinzip	20
1.3.8 Anmerkungen zu den Einheiten	21
Aufgaben zu Kapitel 1	25
2 Ruhende elektrische Ladungen und die Verteilung der	
Elektrizität auf Leitern	27
2.1 Elektrostatisches Potential und Poisson-Gleichung	27
2.2 Potential und Feld für vorgegebene Ladungsverteilungen	29
2.2.1 Einfache Anordnungen von Ladungen	29
2.2.2 Feldlinien	37
2.2.3 Randbedingung des elektrischen Feldes an einer Oberfläche	40
2.2.4 Dipolschicht und Kondensator	42
2.3 Felder von ruhenden Ladungen in Gegenwart von Leitern	46
2.3.1 Methode der Bildladungen	48
2.3.2 Maxwell'scher Spannungstensor	51
2.3.3 Felder in der Nähe von Spitzen	54
2.4 Energie des elektrischen Feldes	56
2.4.1 Die Wechselwirkungsenergie zweier Ladungsverteilungen	58

2.4.2	Die Selbstenergie einer homogen geladenen Kugel	60
2.4.3	Theorem von Thomson	62
2.5	Multipolentwicklung	64
2.5.1	Entwicklung nach Momenten der Ladungsverteilung . . .	65
2.5.2	Energie einer Ladungsverteilung im äußeren Feld	68
	Aufgaben zu Kapitel 2	73
3	Randwertprobleme in der Elektrostatik	77
3.1	Lösung der Poisson-Gleichung mit Randbedingung	77
3.1.1	Eindeutigkeit der Lösung der Poisson-Gleichung mit Randbedingung	77
3.1.2	Lösung des Randwertproblems durch Green'sche Funktionen	79
3.2	Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten	87
3.2.1	Polarkoordinaten und Separationsansatz	87
3.2.2	Radialteil	88
3.2.3	Azimutaler Teil	89
3.2.4	Polarer Teil	90
3.2.5	Lösungsfunktion der Laplace-Gleichung	96
3.3	Kugelsymmetrische Probleme	98
3.3.1	Eigenschaften der Kugelflächenfunktionen	98
3.3.2	Entwicklung von $ \mathbf{x} - \mathbf{x}' ^{-1}$ nach Kugelflächenfunktionen	99
3.3.3	Multipolentwicklung nach Kugelflächenfunktionen	100
3.3.4	Leitende Kugel im homogenen Feld	102
3.4	Zylindersymmetrische Probleme	104
3.4.1	Laplace-Gleichung in Zylinderkoordinaten	105
3.4.2	Fourier-Bessel-Entwicklung	106
3.4.3	Entwicklung der Green'schen Funktion nach Zylinderfunktionen	109
3.5	Probleme in zwei Dimensionen	113
3.5.1	Potentialtheorie	113
3.5.2	Funktionentheoretische Methoden	116
	Aufgaben zu Kapitel 3	120
4	Magnetostatik im Vakuum	123
4.1	Grundgleichungen der Magnetostatik	123
4.1.1	Maxwell-Gleichungen	123
4.1.2	Ampère'sches Gesetz	124
4.1.3	Biot-Savart-Gesetz	125
4.1.4	Magnetfeld eines unendlich langen Drahtes	126
4.2	Magnetischer Dipol	128
4.2.1	Berechnung von Momenten einer Stromverteilung	128
4.2.2	Magnetisches Dipolfeld	129
4.2.3	Dipolmoment einer Stromschleife	130
4.2.4	Potential und Feld einer kreisförmigen Schleife	132

4.2.5	Potentiale und Felder von Spulen	138
4.3	Drehimpuls, Kraft und Drehmoment	143
4.3.1	Drehimpuls und magnetisches Moment	143
4.3.2	Kraft und Drehmoment auf eine Stromschleife	144
4.3.3	Ampère'sches Kraftgesetz	147
4.4	Magnetische Multipolentwicklung	149
4.4.1	Momente des skalaren Potentials	149
4.4.2	Vektorielle Kugelflächenfunktionen	150
	Aufgaben zu Kapitel 4	153
5	Elektromagnetische Vorgänge in Materie	157
5.1	Die mikroskopischen Gleichungen	158
5.2	Die Mittelung der mikroskopischen Größen	161
5.2.1	Die mittlere Ladungsverteilung	161
5.2.2	Die mittlere Stromdichte	162
5.2.3	Mittelung der Felder	163
5.2.4	Die makroskopischen Maxwell-Gleichungen	163
5.2.5	Randbedingungen an den Grenzflächen zweier Medien ..	167
5.3	Ohm'sches Gesetz	170
5.3.1	Drude-Modell der elektrischen Leitung	170
5.3.2	Joule'sche Wärme	171
5.3.3	Hall-Effekt	173
5.4	Das Elektron im elektromagnetischen Feld	175
5.4.1	Lagrange- und Hamilton-Funktion des Elektrons	176
5.4.2	Bewegung eines Teilchens im äußeren Feld	178
5.4.3	London-Gleichungen	182
5.5	Dielektrische Eigenschaften	185
5.5.1	Atomare Polarisierbarkeit	185
5.5.2	Dielektrische Funktion	189
5.6	Energie- und Impuls-Bilanz	192
5.6.1	Energiebilanz	192
5.6.2	Impulsbilanz und Spannungstensor	193
	Aufgaben zu Kapitel 5	195
6	Elektrostatik in Materie	199
6.1	Grundgleichungen und Stetigkeitsbedingungen	199
6.2	Anwendung der Stetigkeitsbedingungen	201
6.2.1	Konfigurationen mit Dielektrika, Leitern und Ladungen	201
6.2.2	Dielektrikum im Plattenkondensator	204
6.2.3	Bildladungen in Dielektrika	205
6.2.4	Dielektrische Kugel in einem äußeren Feld E_0	206
6.2.5	Die Clausius-Mossotti-Formel	210
6.3	Energie im Dielektrikum	212
6.3.1	Herleitung der Feldenergie im Dielektrikum	212

6.3.2	Energie und Kraft bei Änderung der Dielektrizitätskonstante	214
	Aufgaben zu Kapitel 6	216
7	Magnetostatik in Materie	219
7.1	Grundgleichungen der Magnetostatik	219
7.1.1	Übergangsbedingungen an Materialoberflächen	220
7.1.2	Helmholtz'scher Zerlegungssatz	221
7.1.3	Potentiale und Felder in Ferromagneten	225
7.1.4	Anwendungen	227
7.2	Induktion	234
7.2.1	Energie des Magnetfeldes	234
7.2.2	Induktionskoeffizienten	240
7.2.3	Magnetischer Fluss und Induktivität	242
7.2.4	Die Selbstinduktivitäten ausgewählter Konfigurationen	243
7.3	Formen des Magnetismus	249
7.3.1	Diamagnetismus	253
7.3.2	Paramagnetismus	256
7.3.3	Ferromagnetismus	258
	Aufgaben zu Kapitel 7	265
8	Felder von bewegten Ladungen	267
8.1	Vektorpotential und skalares Potential in Lorenz-Eichung	267
8.2	Retardierte Potentiale	269
8.2.1	Die inhomogene Wellengleichung	269
8.2.2	Retardierte Potentiale und Felder einer Punktladung	274
8.2.3	Coulomb-Eichung	283
8.3	Strahlung einer bewegten Ladungsverteilung	288
8.3.1	Maxwell-Gleichungen für die Fourierkomponenten	288
8.3.2	Periodische Bewegung	289
8.3.3	Nahzone	293
8.3.4	Fernzone	293
8.4	Die Strahlungsanteile der Multipole	295
8.4.1	Elektrische Dipolstrahlung	295
8.4.2	Dipolstrahlung einer Antenne	302
8.4.3	Magnetische Dipol- und elektrische Quadrupol-Strahlung	306
8.4.4	Polarisationspotentiale	311
8.5	Strahlungsrückwirkung	313
8.5.1	Allgemeinerer Zugang zur Strahlungsrückwirkung im nicht relativistischen Fall	316
8.5.2	Endliche Ladungsverteilung	316
	Aufgaben zu Kapitel 8	318

9	Quasistationäre Ströme	323
9.1	Die quasistationäre Näherung	323
9.1.1	Die Näherung für den induktiven Teil eines Netzwerkes	324
9.1.2	Die Näherung für den kapazitiven Teil des Netzwerkes	325
9.1.3	Kirchoff'sche Regeln	326
9.2	Schwingungsgleichung	329
9.2.1	Freie Schwingungen	331
9.2.2	Erzwungene Schwingungen	332
9.2.3	Energetische Verhältnisse	334
9.2.4	Gekoppelte Stromkreise	336
9.2.5	Telegrafengleichung	338
9.3	Magnetohydrodynamik	341
9.3.1	Die Grundgleichungen	341
9.3.2	Magnetische Diffusion	343
9.3.3	Magnetohydrodynamische Wellen	344
	Aufgaben zu Kapitel 9	344
10	Elektromagnetische Wellen	347
10.1	Ebene Wellen in einem homogenen Medium	347
10.2	Polarisation elektromagnetischer Wellen	348
10.2.1	Lineare und zirkulare Polarisation	348
10.2.2	Stokes'sche Parameter	350
10.3	Reflexions- und Brechungsgesetz für Isolatoren	353
10.3.1	Brechungsgesetz von Snellius	353
10.3.2	Übergangsbedingungen für elektromagnetische Wellen	354
10.3.3	Fresnel'sche Formeln	355
10.3.4	Brewster-Winkel	360
10.3.5	Totalreflexion	360
10.3.6	Geometrische Optik	361
10.4	Wellen in Leitern	364
10.4.1	Die Gleichungen für die Wellenausbreitung in Metallen	364
10.4.2	Zylinderförmiger Draht (Skinneffekt)	367
10.5	Wellen in Hohlraumresonatoren und Hohlleitern	369
10.5.1	Stehende Wellen in einem Hohlraumresonator	369
10.5.2	Elektromagnetische Wellen in Hohlleitern	372
	Aufgaben zu Kapitel 10	380
11	Röntgen-Streuung	381
11.1	Streuung von Licht an Elektronen	383
11.1.1	Streuung an freien Elektronen	383
11.1.2	Streuung an schwach gebundenen Elektronen	387
11.1.3	Streuung an einer Ladungsverteilung	389
11.1.4	Streuung am Gitter	393
11.2	Dynamische Theorie der Röntgen-Beugung	397
11.2.1	Elektromagnetische Wellen im Kristall	397

11.2.2	Verfahren zur Lösung der fundamentalen Gleichungen ..	401
11.2.3	Brechung im Einstrahl-Fall	403
11.2.4	Der Zweistrah-Fall	404
11.3	Laue- und Bragg-Fall	409
11.3.1	Beugung in einer Dimension	410
11.3.2	Laue-Geometrie	414
11.3.3	Die Bragg-Geometrie	417
11.4	Dynamische Beugung sphärischer Wellen	419
11.4.1	Laue-Fall	422
11.4.2	Die Intensitätsprofile im Bragg-Fall	425
11.4.3	Auswertung des Integrals R_m	427
11.4.4	Die gesamte Wellenfunktion	429
	Aufgaben zu Kapitel 11	432
12	Spezielle Relativitätstheorie	435
12.1	Invarianzeigenschaften und das Relativitätsprinzip	436
12.1.1	Konstruktion einer Transformation	438
12.1.2	Ergänzungen zur Lorentz-Transformation	440
12.1.3	Zur Äthertheorie	442
12.1.4	Michelson-Morley-Experiment	444
12.1.5	Versuch von Fizeau	447
12.2	Die Lorentz-Transformation	448
12.2.1	Klassifikation der Lorentz-Gruppe	452
12.2.2	Die eigentliche orthochrone Lorentz-Gruppe	454
12.3	Raum-Zeit-Begriff	456
12.3.1	Synchronisation von Uhren	456
12.3.2	Raum-Zeit-Diagramm	457
12.3.3	Beobachtung schnell bewegter Körper	465
12.4	Zusammensetzung von Lorentz-Transformationen	469
12.4.1	Lorentz-Transformation für beliebige Orientierung der Relativgeschwindigkeit	469
12.4.2	Addition von Geschwindigkeiten	471
12.4.3	Multiplikation zweier Boosts	475
12.4.4	Doppler-Effekt	477
12.5	Maxwell-Gleichungen in kovarianter Form	481
12.5.1	Tensoreigenschaften	481
12.5.2	Kovariante Tensoren der Elektrodynamik	483
12.5.3	Feldstärketensor	486
12.5.4	Maxwell-Gleichungen	488
12.5.5	Transformation des elektrischen und magnetischen Feldes	489
12.5.6	Ladungstransport in bewegten Leitern	493
	Aufgaben zu Kapitel 12	497

13 Relativistische Mechanik	501
13.1 Newtons Lex Secunda	501
13.1.1 Geschwindigkeit, Impuls und Beschleunigung	501
13.1.2 Strahlungsleistung und Strahlungsrückwirkung	505
13.1.3 Lorentz-Kraft	508
13.1.4 Energie-Impulstensor	510
13.2 Lagrange-Formalismus	512
13.2.1 Relativistische Lagrange-Funktion	512
13.2.2 Kovariante Formulierung des Hamilton-Prinzips	514
13.2.3 Elektromagnetische Feldgleichungen	517
13.3 Kinematische Effekte	519
13.3.1 Energie-Impuls-Erhaltungssatz	519
13.3.2 Compton-Streuung	520
13.3.3 Die Bewegung des Elektrons um den Kern	522
Aufgaben zu Kapitel 13	525
A Vektoren, Vektoranalysis und Integralsätze	527
A.1 Vektorrechnung im euklidischen Raum	527
A.1.1 Vektoren	527
A.1.2 n-dimensionale Vektoren	530
A.1.3 Levi-Civita-Symbol	537
A.1.4 Determinanten	539
A.1.5 Dreidimensionale Vektoren	541
A.2 Vektoranalysis und lokale Koordinaten	544
A.2.1 Krummlinige Koordinaten	544
A.2.2 Differentialoperationen	546
A.3 Orthogonale krummlinige Koordinatensysteme	552
A.3.1 Zylinderkoordinaten	552
A.3.2 Kugelkoordinaten	555
A.3.3 Elliptische Koordinaten	559
A.4 Vektorfelder und Integralsätze	561
A.4.1 Gauß'scher Satz und Divergenz	561
A.4.2 Rotation und Stokes'scher Satz	565
A.4.3 Die Green'schen Sätze	569
A.4.4 Green-Funktion des Laplace-Operators	569
A.4.5 Mittelwertsatz	570
A.4.6 Lösung der Poisson-Gleichung mit Green-Funktionen	571
A.4.7 Ergänzungen zum Helmholtz'schen Zerlegungssatz	573
Aufgaben zum Anhang A	575
B Mathematische Hilfsmittel	577
B.1 Elemente der Funktionentheorie	577
B.1.1 Analytische Funktionen	577
B.1.2 Eigenschaften analytischer Funktionen	578
B.1.3 Die konforme Abbildung	581

B.2	Legendre-Polynome	583
B.2.1	Rodrigues-Formel	583
B.2.2	Die erzeugende Funktion der Legendre-Polynome	584
B.2.3	Eigenschaften der Legendre-Polynome	586
B.2.4	Zugeordnete Legendre-Polynome	588
B.3	Kugelflächenfunktionen	589
B.4	Bessel-Funktionen	593
B.4.1	Bessel'sche Differentialgleichung	593
B.4.2	Eigenschaften der Bessel-Funktionen	594
B.5	Integrale	597
B.5.1	Elliptische Integrale	597
B.5.2	Integrale zur Potentialtheorie	598
B.5.3	Faltung	599
B.6	Distributionen	600
B.6.1	Die Dirac'sche Delta-Funktion	600
B.6.2	Stufenfunktion	605
	Aufgaben zum Anhang B	606
C	Maßeinheiten in der Elektrodynamik	609
C.1	Maßsysteme	609
C.2	Wechsel der Einheiten	612
C.2.1	Rationale Einheitensysteme	613
C.2.2	Physikalische Konstanten	616
	Sachverzeichnis	619