
Inhaltsverzeichnis

Einleitung	XV
1 Die Maxwell'schen Feldgleichungen	1
1.1 Ladungen, Ströme und Ladungserhaltung	1
1.2 Lorentz-Kraft	9
1.2.1 Kraft auf eine ruhende Ladung	9
1.2.2 Kraft auf eine bewegte Ladung	11
1.3 Maxwell-Gleichungen	12
1.3.1 Gauß'sches Gesetz	13
1.3.2 Faraday'sches Induktionsgesetz	14
1.3.3 Ampère-Maxwell-Gesetz	16
1.3.4 Divergenzfreiheit der magnetischen Flussdichte	19
1.3.5 Maxwell-Gleichungen in integraler Form	19
1.3.6 Die Maxwell-Gleichungen in differentieller Form	20
1.3.7 Superpositionsprinzip	21
1.4 Anmerkungen zu den Einheiten	22
1.4.1 Maßsysteme	22
1.4.2 Die Elektrodynamik und ihr Umfeld	24
Aufgaben zu Kapitel 1	26
2 Ruhende elektrische Ladungen und die Verteilung der Elektrizität auf Leitern	29
2.1 Elektrostatisches Potential und Poisson-Gleichung	29
2.2 Potential und Feld für vorgegebene Ladungsverteilungen	31
2.2.1 Einfache Anordnungen von Ladungen	31
2.2.2 Feldlinien	39
2.2.3 Randbedingung des elektrischen Feldes an einer Oberfläche	41
2.2.4 Dipolschicht und Kondensator	43
2.3 Felder von ruhenden Ladungen in Gegenwart von Leitern	47
2.3.1 Methode der Bildladungen	50

2.3.2	Maxwell'scher Spannungstensor	53
2.3.3	Felder in der Nähe von Spitzen	56
2.4	Energie des elektrischen Feldes	58
2.4.1	Die Wechselwirkungsenergie zweier Ladungsverteilungen	60
2.4.2	Die Selbstenergie einer homogen geladenen Kugel	62
2.4.3	Theorem von Thomson	64
2.5	Multipolentwicklung	66
2.5.1	Entwicklung nach Momenten der Ladungsverteilung ...	67
2.5.2	Energie einer Ladungsverteilung im äußeren Feld	70
	Aufgaben zu Kapitel 2	75
3	Randwertprobleme in der Elektrostatik	79
3.1	Lösung der Poisson-Gleichung mit Randbedingung	79
3.1.1	Eindeutigkeit der Lösung der Poisson-Gleichung	79
3.1.2	Lösung durch Green'sche Funktionen	81
3.2	Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten	89
3.2.1	Polarkoordinaten und Separationsansatz	89
3.2.2	Radialteil	90
3.2.3	Azimutaler Teil	90
3.2.4	Polarer Teil	92
3.2.5	Lösungsfunktion der Laplace-Gleichung	97
3.3	Kugelsymmetrische Probleme	99
3.3.1	Eigenschaften der Kugelflächenfunktionen	99
3.3.2	Entwicklung von $ \mathbf{x} - \mathbf{x}' ^{-1}$ nach Kugelflächenfunktionen	101
3.3.3	Multipolentwicklung nach Kugelflächenfunktionen	101
3.3.4	Leitende Kugel im homogenen Feld	104
3.4	Zylindersymmetrische Probleme	105
3.4.1	Laplace-Gleichung in Zylinderkoordinaten	106
3.4.2	Fourier-Bessel-Entwicklung	107
3.4.3	Entwicklung der Green'schen Funktion nach Zylinderfunktionen	110
3.5	Probleme in zwei Dimensionen	114
3.5.1	Potentialtheorie	114
3.5.2	Funktionentheoretische Methoden	116
	Aufgaben zu Kapitel 3	121
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	129
4.2.2	Magnetisches Dipolfeld	130

4.2.3	Dipolmoment einer Stromschleife	131
4.2.4	Potential und Feld einer kreisförmigen Schleife	132
4.2.5	Potentiale und Felder von Spulen	138
4.2.6	Die halbbunendliche Spule und der Monopol	141
4.3	Drehimpuls, Kraft und Drehmoment	144
4.3.1	Drehimpuls und magnetisches Moment	144
4.3.2	Kraft und Drehmoment auf eine Stromschleife	145
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	155
5	Elektromagnetische Vorgänge in Materie	159
5.1	Die mikroskopischen Gleichungen	160
5.2	Die Mittelung der mikroskopischen Größen	163
5.2.1	Die mittlere Ladungsverteilung	163
5.2.2	Die mittlere Stromdichte	164
5.2.3	Mittelung der Felder	165
5.2.4	Die makroskopischen Maxwell-Gleichungen	165
5.2.5	Randbedingungen an den Grenzflächen zweier Medien ..	169
5.3	Ohm'sches Gesetz	172
5.3.1	Drude-Modell der elektrischen Leitung	172
5.3.2	Joule'sche Wärme	174
5.3.3	Hall-Effekt	176
5.4	Das Elektron im elektromagnetischen Feld	178
5.4.1	Lagrange- und Hamilton-Funktion des Elektrons	178
5.4.2	Bewegung eines Teilchens im äußeren Feld	181
5.4.3	London-Gleichungen	185
5.5	Dielektrische Eigenschaften	188
5.5.1	Atomare Polarisierbarkeit	188
5.5.2	Dielektrische Funktion	191
5.6	Energie- und Impuls-Bilanz	194
5.6.1	Energiebilanz	194
5.6.2	Impulsbilanz und Spannungstensor	196
	Aufgaben zu Kapitel 5	198
6	Elektrostatik in Materie	201
6.1	Grundgleichungen und Stetigkeitsbedingungen	201
6.2	Anwendung der Stetigkeitsbedingungen	203
6.2.1	Konfigurationen mit Dielektrika, Leitern und Ladungen	203
6.2.2	Dielektrikum im Plattenkondensator	206
6.2.3	Bildladungen in Dielektrika	207
6.2.4	Dielektrische Kugel im äußeren Feld E_0	208
6.2.5	Die Clausius-Mossotti-Formel	212

6.3	Energie im Dielektrikum	215
6.3.1	Herleitung der Feldenergie im Dielektrikum	215
6.3.2	Energie und Kraft bei Änderung der Dielektrizitätskonstante	217
	Aufgaben zu Kapitel 6	220
7	Magnetostatik in Materie	223
7.1	Grundgleichungen der Magnetostatik	223
7.1.1	Übergangsbedingungen an Materialoberflächen	224
7.1.2	Helmholtz'scher Zerlegungssatz	225
7.1.3	Potentiale und Felder in Ferromagneten	229
7.1.4	Anwendungen	230
7.1.5	Magnetostatisches Kraftgesetz	238
7.2	Induktion	239
7.2.1	Energie des Magnetfeldes	240
7.2.2	Induktionskoeffizienten	246
7.2.3	Magnetischer Fluss und Induktivität	247
7.2.4	Die Selbstinduktivitäten ausgewählter Konfigurationen	249
7.3	Formen des Magnetismus	255
7.3.1	Diamagnetismus	258
7.3.2	Paramagnetismus	262
7.3.3	Ferromagnetismus	264
	Aufgaben zu Kapitel 7	271
8	Felder von bewegten Ladungen	273
8.1	Vektor- und skalares Potential in Lorenz-Eichung	273
8.2	Retardierte Potentiale	275
8.2.1	Die inhomogene Wellengleichung	275
8.2.2	Geichförmig bewegte Ladungen	288
8.2.3	Coulomb-Eichung	291
8.3	Strahlung einer bewegten Ladungsverteilung	295
8.3.1	Maxwell-Gleichungen für die Fourier-Komponenten ...	295
8.3.2	Helmholtz-Potentiale für Quellen- und Wirbelfelder ...	296
8.3.3	Periodische Bewegung	298
8.3.4	Entwicklung nach Multipolen und Zonen	299
8.3.5	Nahzone	301
8.3.6	Fernzone	301
8.4	Die Strahlungsanteile der Multipole	303
8.4.1	Elektrische Dipolstrahlung	303
8.4.2	Dipolstrahlung einer Antenne	309
8.4.3	Magnetische Dipol- und elektrische Quadrupol-Strahlung	314
8.4.4	Polarisationspotentiale	319
8.5	Strahlungsrückwirkung	321
8.5.1	Strahlungsrückwirkung im nichtrelativistischen Fall ...	323
8.5.2	Endliche Ladungsverteilung	324

Aufgaben zu Kapitel 8	325
9 Quasistationäre Ströme	331
9.1 Die quasistationäre Näherung	331
9.1.1 Die Näherung für den induktiven Teil eines Netzwerkes	332
9.1.2 Die Näherung für den kapazitiven Teil des Netzwerkes	333
9.1.3 Kirchhoff'sche Regeln	334
9.2 Schwingungsgleichung	337
9.2.1 Freie Schwingungen	339
9.2.2 Erzwungene Schwingungen	339
9.2.3 Energetische Verhältnisse	342
9.2.4 Gekoppelte Stromkreise	344
9.2.5 Telegrafengleichung	346
9.3 Magnetohydrodynamik	349
9.3.1 Die Grundgleichungen	349
9.3.2 Magnetische Diffusion	351
9.3.3 Magnetohydrodynamische Wellen	351
Aufgaben zu Kapitel 9	352
10 Elektromagnetische Wellen	355
10.1 Ebene Wellen in einem homogenen Medium	355
10.2 Polarisierung elektromagnetischer Wellen	356
10.2.1 Lineare und zirkuläre Polarisierung	356
10.2.2 Stokes'sche Parameter	358
10.3 Reflexions- und Brechungsgesetz für Isolatoren	361
10.3.1 Brechungsgesetz von Snellius	361
10.3.2 Übergangsbedingungen für elektromagnetische Wellen	362
10.3.3 Fresnel'sche Formeln	363
10.3.4 Brewster-Winkel	367
10.3.5 Totalreflexion	368
10.3.6 Geometrische Optik und Wellenoptik	369
10.4 Wellen in Leitern	380
10.4.1 Die Gleichungen für die Wellenausbreitung in Metallen	380
10.4.2 Zylinderförmiger Draht (Skinneffekt)	383
10.5 Wellen in Hohlraumresonatoren und Hohlleitern	385
10.5.1 Stehende Wellen in einem Hohlraumresonator	385
10.5.2 Elektromagnetische Wellen in Hohlleitern	388
Aufgaben zu Kapitel 10	396
11 Röntgen-Streuung	397
11.1 Streuung von Licht an Elektronen	399
11.1.1 Streuung an freien Elektronen	399
11.1.2 Streuung an schwach gebundenen Elektronen	402
11.1.3 Streuung an einer Ladungsverteilung	405
11.1.4 Streuung am Gitter	409

11.2	Dynamische Theorie der Röntgen-Beugung	413
11.2.1	Elektromagnetische Wellen im Kristall	413
11.2.2	Verfahren zur Lösung der fundamentalen Gleichungen ..	418
11.2.3	Brechung im Einstrahl-Fall	419
11.2.4	Der Zweistrahlfall	419
11.3	Laue- und Bragg-Fall	425
11.3.1	Beugung in einer Dimension	426
11.3.2	Laue-Geometrie	430
11.3.3	Die Bragg-Geometrie	433
11.4	Dynamische Beugung sphärischer Wellen	435
11.4.1	Laue-Fall	437
11.4.2	Die Intensitätsprofile im Bragg-Fall	441
11.4.3	Auswertung des Integrals R_m	443
11.4.4	Die gesamte Wellenfunktion	444
11.5	Takagi-Taupin-Gleichungen	448
11.5.1	Idealkristalle	448
11.5.2	Leicht verzerrtes Kristallgitter	451
	Aufgaben zu Kapitel 11	452
12	Spezielle Relativitätstheorie	455
12.1	Invarianzeigenschaften und das Relativitätsprinzip	456
12.1.1	Konstruktion der Lorentz-Transformation	457
12.1.2	Zur Äthertheorie	462
12.1.3	Michelson-Morley-Experiment	464
12.1.4	Versuch von Fizeau	466
12.2	Die Lorentz-Transformation	467
12.2.1	Klassifikation der Lorentz-Gruppe	470
12.2.2	Die eigentliche orthochrone Lorentz-Gruppe	471
12.3	Raum-Zeit-Begriff	472
12.3.1	Synchronisation von Uhren	473
12.3.2	Raum-Zeit-Diagramm	474
12.3.3	Beobachtung schnell bewegter Körper	481
12.4	Zusammensetzung von Lorentz-Transformationen	484
12.4.1	LT für beliebige Orientierung der Relativgeschwindigkeit	484
12.4.2	Addition von Geschwindigkeiten	487
12.4.3	Multiplikation zweier Boosts	491
12.4.4	Doppler-Effekt	493
	Aufgaben zu Kapitel 12	496
13	Kovariante Elektrodynamik	499
13.1	Maxwell-Gleichungen in kovarianter Form	499
13.1.1	Tensoreigenschaften	499
13.1.2	Kovariante Tensoren der Elektrodynamik	501
13.1.3	Feldstärketensor	504
13.1.4	Maxwell-Gleichungen	505

13.1.5	Transformation des elektromagnetischen Feldes	507
13.2	Kovariante Elektrodynamik in Medien	508
13.2.1	Maxwell-Gleichungen in Materie	508
13.2.2	Materialgleichungen	509
13.2.3	Ladungstransport in bewegten Leitern	511
13.2.4	Maxwell-Gleichungen für nicht magnetische Materie	515
13.2.5	Ohm'sches Gesetz	515
13.3	Unipolarinduktion	516
13.3.1	Induktion und EMK	517
13.3.2	Der Unipolargenerator	518
13.3.3	Bewegung eines unendlich langen Quaders	520
	Aufgaben zu Kapitel 13	522
14	Relativistische Mechanik	525
14.1	Newtons Lex Secunda	525
14.1.1	Geschwindigkeit, Impuls und Beschleunigung	525
14.1.2	Strahlungsleistung und Strahlungsrückwirkung	529
14.1.3	Lorentz-Kraft	532
14.1.4	Energie-Impulstensor	534
14.2	Lagrange-Formalismus	536
14.2.1	Relativistische Lagrange-Funktion	536
14.2.2	Kovariante Formulierung des Hamilton-Prinzips	539
14.2.3	Elektromagnetische Feldgleichungen	541
14.2.4	Das freie elektromagnetische Feld und seine Quantisierung	544
14.2.5	Der Drehimpuls	547
14.3	Kinematische Effekte	550
14.3.1	Energie-Impuls-Erhaltungssatz	550
14.3.2	Compton-Streuung	551
14.3.3	Die Bewegung des Elektrons um den Kern	553
	Aufgaben zu Kapitel 14	555
A	Vektoren, Vektoranalysis und Integralsätze	559
A.1	Vektorrechnung im euklidischen Raum	559
A.1.1	Vektoren	559
A.1.2	n-dimensionale Vektoren	562
A.1.3	Levi-Civita-Symbol	569
A.1.4	Determinanten	571
A.1.5	Dreidimensionale Vektoren	573
A.2	Vektoranalysis und lokale Koordinaten	576
A.2.1	Krummlinige Koordinaten	576
A.2.2	Differentialoperationen	578
A.3	Orthogonale krummlinige Koordinatensysteme	583
A.3.1	Zylinderkoordinaten	584
A.3.2	Kugelkoordinaten	587

A.3.3	Elliptische Koordinaten	590
A.4	Vektorfelder und Integralsätze	592
A.4.1	Gauß'scher Satz und Divergenz	593
A.4.2	Rotation und Stokes'scher Satz	597
A.4.3	Die Green'schen Sätze	601
A.4.4	Green-Funktion des Laplace-Operators	601
A.4.5	Mittelwertsatz	602
A.4.6	Lösung der Poisson-Gleichung mit Green-Funktionen	602
A.4.7	Ergänzungen zum Helmholtz'schen Zerlegungssatz	604
	Aufgaben zum Anhang A	607
B	Mathematische Hilfsmittel	611
B.1	Elemente der Funktionentheorie	611
B.1.1	Analytische Funktionen	611
B.1.2	Eigenschaften analytischer Funktionen	612
B.1.3	Die konforme Abbildung	615
B.2	Legendre-Polynome	617
B.2.1	Rodrigues-Formel	617
B.2.2	Die erzeugende Funktion der Legendre-Polynome	618
B.2.3	Eigenschaften der Legendre-Polynome	620
B.2.4	Zugeordnete Legendre-Polynome	622
B.3	Kugelflächenfunktionen	623
B.4	Bessel-Funktionen	626
B.4.1	Bessel'sche Differentialgleichung	626
B.4.2	Eigenschaften der Bessel-Funktionen	628
B.5	Integrale	631
B.5.1	Elliptische Integrale	631
B.5.2	Integrale zur Potentialtheorie	632
B.5.3	Faltung	633
B.6	Distributionen	634
B.6.1	Die Dirac'sche Delta-Funktion	634
B.6.2	Stufenfunktion	639
	Aufgaben zum Anhang B	640
C	Maßeinheiten in der Elektrodynamik	641
C.1	Mechanische Einheiten	641
C.2	Systeme der Elektrodynamik	642
C.2.1	Systeme der Elektrodynamik mit 3 Basiseinheiten	643
C.2.2	Systeme in der Elektrodynamik mit 4 Basiseinheiten	647
C.2.3	Zum Wechsel zwischen Systemen und Einheiten	650
C.3	Euklidische Metrik mit imaginärer Zeit	654
	Sachverzeichnis	657