

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis *XIII*

Tabellenverzeichnis *XVII*

Vorwort *XIX*

Vorwort der Voraufgabe *XXI*

- 1 Einleitung** *1*
 - 1.1 Felder in Mechanik und Elektrodynamik *1*
 - 1.2 Aufbau des Bands „Elektrodynamik“ *3*
 - 1.3 Gültigkeitsgrenzen der Elektrodynamik *5*

- 2 Experimentelle Begründung der Maxwell-Gleichungen** *7*
 - 2.1 Elektrostatik *7*
 - 2.1.1 Ladung und elektrisches Feld *7*
 - 2.2 Magnetostatik *15*
 - 2.2.1 Ladungserhaltung und Kontinuitätsgleichung *15*
 - 2.2.2 Wechselwirkung zwischen Strömen: Ampère'sches Gesetz *18*
 - 2.2.3 Die Wirkung mehrerer Ströme: Superposition der Kräfte bzw. Felder *22*
 - 2.2.4 Differential- und Integraldarstellung *24*
 - 2.2.5 Vektorpotential *26*
 - 2.3 Maxwell-Gleichungen *28*
 - 2.3.1 Faraday'sches Induktionsgesetz *28*
 - 2.3.2 Ampère'sches Gesetz und Ladungsverteilung *31*
 - 2.3.3 Quasistationäre Ströme und Maxwell'sche Verschiebungsströme *31*
 - 2.3.4 Maxwell-Gleichungen im Vakuum *33*
 - 2.3.5 Potentiale und Eichung *35*
 - Kontrollfragen *41*
 - Aufgaben *42*

- 3 Ladungen in elektromagnetischen Feldern** *47*
 - 3.1 Fundamentale Wechselwirkungen *47*
 - 3.2 Relativitätsprinzip *49*

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

3.3	Das Konzept der Feldtheorie	50
3.4	Freies Teilchen	52
3.5	Viererpotential	56
3.6	Kovariante Bewegungsgleichungen	57
3.7	Anschluss an die Elektrodynamik	58
3.8	Eichinvarianz	63
3.9	Lorentz-Transformation der Felder	65
3.10	Feldinvarianten	67
	Kontrollfragen	68
	Aufgaben	69
4	Maxwell-Gleichungen	71
4.1	Homogene Feldgleichungen	71
4.2	Feldwirkung	73
4.3	Vierervektor des Stroms	76
4.4	Inhomogene Maxwell-Gleichungen	78
4.5	Vollständige Bewegungsgleichungen	80
4.6	Kontinuitätsgleichung	81
4.7	Energiedichte und Energiestrom	82
4.8	Resümee	84
	Kontrollfragen	85
	Aufgaben	86
5	Elektrostatik im Vakuum	89
5.1	Elektrostatische Feldgleichungen	89
5.2	Felder von Punktladungen und Ladungsverteilungen	92
5.2.1	Elektrisches Feld	92
5.2.2	Skalares Potential	94
5.2.3	Green'sche Funktion	94
5.3	Beispiele der Feldberechnung	95
5.3.1	Gleichförmig bewegte Punktladung	95
5.3.2	Dipol aus ungleichnamigen Ladungen	97
5.3.3	Radialsymmetrische Ladungsverteilungen	100
5.3.4	Geladene Flächen	102
5.4	Fernfeld lokalisierter Ladungsverteilungen	105
5.4.1	Kartesische Multipolentwicklung	105
5.4.2	Sphärische Multipolentwicklung	106
5.5	Elektrische Energie von Ladungssystemen	109
5.5.1	Wechselwirkende diskrete Ladungen	109
5.5.2	Wechselwirkende Dipole	111
5.6	Kräfte im elektrischen Feld	113
5.6.1	Kräfte auf Einzelladungen	113
5.6.2	Kräfte auf Ladungssysteme	114
5.6.3	Dipole in externen Feldern	115
	Kontrollfragen	116
	Aufgaben	117

6	Elektrostatik in Materie	121
6.1	Elektrostatisches Feld von Leitern	121
6.2	Potential von Leitern	123
6.2.1	Leiter bei vorgegebenem Potential	123
6.2.2	Green'sche Sätze	124
6.2.3	Leiter bei vorgegebener Ladung	126
6.3	Green'sche Funktion	127
6.3.1	Generelle Problemstellung	127
6.3.2	Spiegelladungsmethode	128
6.3.3	Reihenentwicklungsmethode	131
6.3.4	Variationsverfahren	134
6.4	Raumladungsfreie Probleme	136
6.4.1	Plattenkondensator	136
6.4.2	Kapazitätskoeffizienten	139
6.4.3	Kanten	140
6.4.4	Inversionsmethode	142
6.4.5	Konforme Abbildungen	143
6.5	Dielektrika	153
6.5.1	Potential	153
6.5.2	Verschiebungsfeld	154
6.5.3	Materialgleichungen	155
6.5.4	Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen	156
6.5.5	Beispiele	158
	Kontrollfragen	169
	Aufgaben	170
7	Magnetostatik	173
7.1	Biot-Savart'sches Gesetz	173
7.2	Magnetisches Moment	176
7.3	Magnetische Multipole	179
7.4	Magnetische Monopole	180
7.5	Lineare Stromschleifen	182
7.6	Magnetische Feldenergie	184
7.7	Kräfte im Magnetfeld	185
7.8	Magnetostatik in Materie	188
7.8.1	Magnetisierung	188
7.8.2	Magnetische Suszeptibilität und Permeabilität	190
7.8.3	Magnetisierungsstromdichte	192
7.8.4	Magnetfeld und magnetische Induktion	193
7.9	Magnetische Materialien	194
7.9.1	Diamagnetische Materialien	194
7.9.2	Paramagnetische Materialien	194
7.9.3	Ferromagnetische Materialien	194
7.10	Verhalten an Grenzflächen	196
7.11	Klassische Supraleitertheorie	198
	Kontrollfragen	201
	Aufgaben	202

x | *Inhaltsverzeichnis*

8	Zeitabhängige elektromagnetische Felder	205
8.1	Maxwell-Gleichungen in Materie	205
8.2	Materialgleichungen	207
8.2.1	Suszeptibilität und lineare Antwort	207
8.2.2	Atomare Modelle für die Suszeptibilität	215
8.2.3	Leitfähigkeiten	217
8.2.4	Das klassische Drude-Modell für die Leitfähigkeit	218
8.2.5	Plasmaschwingungen	219
8.2.6	Magnetische Suszeptibilität	221
8.3	Bilanzgleichungen	223
8.3.1	Energiebilanz	223
8.3.2	Impulsbilanz und Spannungstensor	226
8.3.3	Drehimpulsbilanz	230
8.4	Rand- und Stetigkeitsbedingungen	231
8.5	Freie elektromagnetische Wellen	232
8.5.1	Wellen im Vakuum und in dispersionsfreier Materie	232
8.5.2	Monochromatische Wellen	238
8.5.3	Wellen in dielektrischen Medien	241
8.5.4	Wellen in leitfähigen Materialien	244
8.5.5	Komplexe Wellenvektoren	245
8.5.6	Brechung und Reflexion	252
8.5.7	Klassischer Tunneleffekt	261
8.6	Quasistationäre Felder	261
8.6.1	Felddiffusion	261
8.6.2	Skineffekt	264
8.6.3	Wirbelstromverluste	266
8.7	Telegrafengleichung	267
	Kontrollfragen	268
	Aufgaben	268
9	Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen	271
9.1	Inhomogene Wellengleichungen	271
9.2	Lösung der inhomogenen Wellengleichung	273
9.2.1	Konstruktiver Zugang	273
9.2.2	Green'sche Funktion der Wellengleichung	275
9.2.3	Green'schen Funktion in Fourier-Darstellung	278
9.3	Klassische Dipolstrahlung	282
9.3.1	Fernfeldnäherung	282
9.3.2	Nahfeldnäherung	286
9.4	Antennen	287
9.5	Ausstrahlung eines zeitlich variablen mathematischen Dipols	288
9.5.1	Ladungs- und Stromdichte des mathematischen Dipols	288
9.5.2	Potentiale des zeitabhängigen mathematischen Dipols	289
9.5.3	Berechnung der Felder	289
9.5.4	Poynting-Vektor und abgestrahlte Leistung	293
9.6	Dipolstrahlung freier Ladungen	294

9.7	Nicht relativistische Elektronen im Magnetfeld	294
9.8	Klassische atomare Katastrophe	296
9.9	Streuung an Elektronen	297
9.10	Ausstrahlung einer bewegten Punktladung	299
9.10.1	Ladungs- und Stromdichten, Potentiale	299
9.10.2	Bestimmung der Feldstärken	301
9.10.3	Berechnung des Poynting-Vektors	302
9.11	Bremsstrahlung	303
9.11.1	Lineare Bremsbeschleunigung	303
9.11.2	Kreisbewegung	304
9.12	Čerenkov-Strahlung	305
	Kontrollfragen	310
	Aufgaben	311
10	Optik	313
10.1	Kirchhoff'sche Wellenformel	313
10.1.1	Die reduzierte Wellengleichung und ihre Lösung	313
10.1.2	Große optische Weglängen	316
10.1.3	Ebener Schirm mit kleinen Öffnungen	317
10.2	Fraunhofer'sche Beugung	319
10.2.1	Grundformel	319
10.2.2	Beugung am Rechteck	319
10.2.3	Beugung am Gitter	321
10.2.4	Beugung an der Kreisblende	322
10.2.5	Streuung an statistisch verteilten Zentren	324
10.3	Geometrische Optik	325
	Kontrollfragen	330
	Aufgaben	331
	Lösungen zu den Aufgaben	333
	Anhang A Naturkonstanten, Einheiten	433
	Anhang B Fundamentallösung der Poisson-Gleichung	435
	Anhang C Dreidimensionale Vektoranalysis	437
C.1	Nabla-Kalkül	437
C.2	Allgemeine orthogonale Koordinaten	438
C.3	Zylinderkoordinaten	439
C.4	Kugelkoordinaten	440
	Anhang D Kugelflächenfunktionen	441
	Literaturverzeichnis	445
	Stichwortverzeichnis	447

