

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

- 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

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 Kirchhoffsche 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