

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I. Grundlagen und Grundbegriffe der MAXWELLSchen Elektrodynamik

§ 1. Historischer Rückblick, Fern- und Feldwirkung .....	1
Biographische Notizen.....	3
MICHAEL FARADAY 1791—1867.....	3
JAMES CLERK MAXWELL 1831—1879 .....	3
ANDRÉ MARIE AMPÈRE 1775—1836 .....	4
HEINRICH HERTZ 1857—1894 .....	5
§ 2. Vorläufiges über die Grundbegriffe des elektromagnetischen Feldes .....	6
§ 3. Die MAXWELLSchen Gleichungen in Integralform.....	11
§ 4. Die MAXWELLSchen Gleichungen in Differentialform und die Materialkonstanten der Theorie.....	17
A. Leitfähigkeit und OHMSches Gesetz .....	19
B. Dielektrizitätskonstante.....	20
C. Permeabilität .....	20
§ 5. Energiesatz und POYNTINGscher Vektor .....	24
§ 6. Die Rolle der Lichtgeschwindigkeit in der Elektrodynamik .....	31
§ 7. Das COULOMBSche Feld und die Fundamentalkonstanten des Vakuums. Rationelle und konventionelle Einheiten .....	36
A. Elektrostatik .....	36
B. Magnetostatik .....	38
C. Rationelle und konventionelle Einheiten .....	40
D. Endgültige Bestimmung der Fundamentalkonstanten $\mu_0$ , $\epsilon_0$ im MKSA-System .....	41
§ 8. Vier, fünf oder drei Grundeinheiten? .....	42
A. Ergänzung zum System unserer vier Einheiten .....	42
B. Die fünf Einheiten MKSCP .....	42
C. Das GAUSSsche System von nur drei Einheiten .....	45
D. Zusätzliches über andere Maßsysteme .....	47

## Teil II. Ableitung der Erscheinungen aus den MAXWELLSchen Gleichungen

§ 9. Einfachste Randwertaufgaben der Elektrostatik .....	48
A. Aufladungsprobleme .....	48
B. Influenzprobleme und Methode der reziproken Radien .....	49
C. Leitende Kugel im homogenen Felde .....	51
D. Dielektrische Kugel im homogenen Felde .....	53
E. Spiegelung und Brechung der Kraftlinien am dielektrischen Halbraum .....	55
F. Dipol- und Quadrupolfelder .....	56
§ 10. Die Kapazität und ihr Zusammenhang mit der Feldenergie.....	58
A. Plattenkondensator .....	59
B. Kugelkondensator .....	59

C. Kapazität des Rotationsellipsoides und eines geraden Stückes Draht . . .	60
D. Energetische Definition der Kapazität . . . . .	61
E. Die Kapazitäten in einem beliebigen System von Leitern . . . . .	62
§ 11. Allgemeine Betrachtungen über das elektrische Feld . . . . .	64
A. Das Brechungsgesetz der Kraftlinien . . . . .	64
B. Zur Definition der Vektoren $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{D}$ . . . . .	64
C. Der Begriff der elektrischen Polarisation, die CLAUDIUS-MOSOTTISCHE Formel . . . . .	65
D. Nachträgliches zur Berechnung der Polarisation . . . . .	68
E. Permanente Polarisation . . . . .	69
§ 12. Das Feld des permanenten Stabmagneten . . . . .	71
§ 13. Allgemeines über Magnetostatik und deren Randwertaufgaben . . . . .	79
A. Das Brechungsgesetz der magnetischen Erregungslinien . . . . .	80
B. Definition der Vektoren $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ , insbesondere in festen Körpern . .	81
C. Die Magnetisierung $\mathfrak{M}$ in beliebiger Materie, Ferromagnetika ausgeschlossen . . . . .	81
D. Dia- und Paramagnetismus . . . . .	81
E. Weiches Eisen als Analogon zum elektrischen Leiter . . . . .	83
F. Spezielle Randwertaufgaben . . . . .	83
G. Das homogene Feld im Inneren des Rotationsellipsoides . . . . .	84
H. Der sogenannte Entmagnetisierungsfaktor . . . . .	87
§ 14. Einiges über den Ferromagnetismus . . . . .	88
A. Die WEISSschen Bezirke . . . . .	88
B. Der Elektronenspin als Elementarmagnet . . . . .	89
C. Hysteresisschleife und reversible Magnetisierung . . . . .	89
D. Thermodynamisches . . . . .	91
§ 15. Die stationären Ströme und ihr magnetisches Feld. Methode des Vektorpotentials . . . . .	92
A. Das BIOT-SAVARTSCHE Gesetz . . . . .	94
B. Die magnetische Energie des Feldes zweier Leiter . . . . .	95
C. Das NEUMANNSCHE Potential als gegenseitiger Induktions-Koeffizient .	96
D. Der Selbstinduktions-Koeffizient . . . . .	98
E. Selbstinduktion bei der Doppelleitung . . . . .	102
F. Allgemeiner Satz von der Energieübertragung durch stationäre Ströme	103
§ 16. AMPÈRES Methode der magnetischen Doppelschicht . . . . .	104
A. Das magnetische Blatt bei linearen Leitern . . . . .	105
B. Magnetische Energie und magnetischer Kraftfluß . . . . .	108
C. Anwendung auf die Selbstinduktion einer Doppelleitung . . . . .	110
D. Stromschleife als magnetischer Dipol . . . . .	112
§ 17. Spezielle Ausführungen über das Feld eines geraden Drahtes und einer Spule . . . . .	113
§ 18. Quasistationäre Ströme . . . . .	121
A. Energetische Erläuterung der Schwingungsgleichung . . . . .	123
a) Freie Schwingungen . . . . .	124
b) Erzwungene Schwingungen . . . . .	125
B. Die WHEATSTONEsche Brücke . . . . .	127
C. Gekoppelte Schwingungskreise . . . . .	130
D. Die Telegraphengleichung . . . . .	130

§ 19. Schnell veränderliche Felder, die elektrodynamischen Potentiale .....	133
A. Die retardierten Potentiale .....	135
B. Der HERTZsche Dipol .....	135
C. Spezialisierung auf periodische Vorgänge .....	139
D. Quadropolstrahlung .....	140
E. Die Eigenschwingungen eines metallischen kugelförmigen Oszillators .....	143
F. Anwendung auf die Theorie der Röntgenstrahlen .....	145
§ 20. Allgemeines über die Struktur der Wellenfelder von zylindrischer Symmetrie.	
Spezielles über Wechselstromwiderstand und Skineffekt .....	146
A. Longitudinal- und Transversal-Komponenten .....	147
B. Das Wellenfeld des Halbraumes und sein Skineffekt .....	149
C. Der Wechselstromwiderstand des Halbraumes .....	152
D. Der RAYLEIGHsche Widerstand des Drahtes .....	154
E. Die Wechselstrom-Induktanz .....	155
F. Weitere Angaben über das Wechselstromfeld eines kreiszylindrischen Drahtes .....	156
§ 21. Die Wechselstrom führende Spule .....	158
A. Das Feld der Spule .....	158
B. Widerstand und innere Induktanz der Spule .....	160
C. Die Spule von mehreren Lagen .....	162
§ 22. Das Problem der Drahtwellen. Elektrische Hauptwellen .....	164
A. Das Feld im Inneren und Äußeren des Drahtes .....	165
B. Die Grenzbedingung im Unendlichen .....	168
C. Die Grenzbedingung auf der Oberfläche des Drahtes .....	169
§ 23. Allgemeine Lösung des Drahtwellen-Problems .....	172
A. Hauptwelle und elektrische Nebenwellen .....	172
B. Magnetische Wellen .....	173
C. Unsymmetrische Wellen vom elektromagnetischen Typ .....	174
D. Drahtwellen am Nichtleiter. Elektrischer Wellentypus .....	177
§ 24. Einiges zur Theorie der Hohlleiter .....	179
§ 25. Die LECHERSche Doppelleitung .....	184
A. Der Grenzfall unendlicher Leitfähigkeit .....	185
B. Das Äußere der Drähte .....	188
C. Das Innere der Drähte .....	190
D. Die Grenzbedingung $\mathfrak{E}_r = -\mathfrak{J}_\varphi$ .....	191
E. Die Grenzbedingung für $\mathfrak{E}_z$ und das Gesetz der Phasenfortpflanzung .....	192
F. Ergänzungen bezüglich der übrigen Grenzbedingungen .....	194
G. Gleichtakt und Gegentakt .....	194
Teil III. Relativitätstheorie und Elektronentheorie .....	197
§ 26. Die Invarianz der MAXWELLSchen Gleichungen in der vierdimensionalen Welt .....	197
A. Das Viererpotential .....	197
B. Die Sechservektoren von Feld und Erregung .....	199
C. Die MAXWELLSchen Gleichungen in vierdimensionaler Form .....	201
D. Über die geometrische Natur des Sechservektors und seine Invarianten .....	204
E. Relativistisch-invariante Dreiervektoren .....	206
§ 27. Die Gruppe der LORENTZ-Transformationen und die Kinematik der Rela- tivitätstheorie .....	207
A. Die allgemeine und die spezielle LORENTZ-Transformation .....	208

B. Die Relativierung der Zeit .....	210
C. Die LORENTZ-Kontraktion .....	211
D. Die EINSTEINSche Zeitdilatation .....	212
E. Das Additionstheorem der Geschwindigkeit .....	214
F. $c$ als obere Grenze aller Geschwindigkeiten .....	215
G. Lichtkegel, raum- und zeitartige Vektoren, Eigenzeit .....	216
H. Das Additionstheorem verschieden gerichteter Geschwindigkeiten .....	217
J. Die Prinzipien der Konstanz von Lichtgeschwindigkeit und Ladung .....	219
§ 28. Vorbereitung auf die Elektronentheorie .....	220
A. Die Transformationseigenschaften des elektrischen Feldes .....	221
B. Die Transformation des magnetischen Feldes .....	223
C. Das Eigenfeld eines gleichförmig bewegten Elektrons .....	224
D. Ableitung des Vierervektors der Kraftdichte und der LORENTZ-Kraft ..	225
E. Die allgemeine orthogonale Transformation des Tensors zweiter Stufe	228
§ 29. Integration der Differentialgleichung des Viererpotentials .....	229
A. Vierdimensionale Form des Potentials $\Omega$ .....	230
B. Retardierte Potentiale .....	232
C. Die LIÉNARD-WIECHERTSche Näherung .....	233
§ 30. Das Feld des beschleunigten Elektrons .....	234
A. Das gleichförmig bewegte Elektron .....	236
B. Das beschleunigte Elektron .....	237
C. Das longitudinal beschleunigte Elektron .....	238
D. Energiereiche Elektronen auf Kreisbahnen .....	238
§ 31. Die MAXWELLSchen Spannungen und der Spannungs-Energie-Tensor ....	240
§ 32. Die relativistische Mechanik .....	247
A. Die Äquivalenz von Energie und Masse .....	249
B. Zusammenhang zwischen Impuls und Energie .....	251
C. D'ALEMBERTSches und HAMILTONSches Prinzip .....	251
D. LAGRANGESche Funktion und LAGRANGESche Gleichungen .....	253
E. Das SCHWARZSCHILDsche Prinzip der kleinsten Wirkung .....	254
§ 33. Elektromagnetische Theorie des Elektrons .....	258
Teil IV. Die MAXWELLSche Theorie für bewegte Körper und andere Er- gänzungen .....	264
§ 34. Die MINKOWSKischen Gleichungen für bewegte Medien .....	264
§ 35. Die ponderomotorischen Kräfte und der Spannungs-Energie-Tensor ...	273
§ 36. Der Energieverlust des beschleunigten Elektrons durch Strahlung und seine Rückwirkung auf die Bewegung .....	275
§ 37. Ansätze zur Verallgemeinerung der MAXWELLSchen Gleichungen und zur Theorie der Elementarteilchen .....	283
§ 38. Allgemeine Relativitätstheorie, vereinheitlichte Theorie von Gravitation und Elektrodynamik .....	289
Schwere und träge Masse .....	293
Beobachtbare Folgerungen der allgemeinen Relativitätstheorie .....	296
Vereinheitlichte Theorie von Gravitation und Elektrodynamik .....	301
Durchgehende Bezeichnungen und ihre Dimensionen .....	303
Zusätzliche Bezeichnungen in Teil III und IV .....	305
Zahlenwerte, angenäherte Messungsergebnisse bzw. Festsetzungen	306

## Übungsaufgaben

zu Teil I .....	307
I. 1. Die Grenzbedingungen der MAXWELLSchen Theorie .....	307
I. 2. Die magnetische Erregung im Inneren und Äußeren eines unendlich langen geraden Drahtes .....	307
I. 3. Die magnetische Erregung im Innern eines unendlich langen Solenoids .....	307
I. 4. Der Cosinussatz der sphärischen Trigonometrie als Spezialisierung einer allgemeinen Vektorformel .....	307
zu Teil II .....	307
II. 1. Das Aufladepotential eines leitenden Rotationsellipsoides .....	307
II. 2. Der einseitig unendlich lange, geriebene Glasstab und sein Vergleich mit dem leitenden Rotationsparaboloid .....	308
II. 3. Vergleich der dielektrischen mit der leitenden Kugel .....	308
II. 4. Randkorrektur beim Plattenkondensator nach KIRCHHOFF .....	308
II. 5. Die Kapazität einer Leidener Flasche (Zylinderkondensator) .....	309
II. 6. Zur Definition der Kapazität zweier Leiter entgegengesetzt gleicher Ladungen .....	309
II. 7. Elektrische Quadrupole .....	309
II. 8. Berechnung von elektrischen Quadrupolmomenten .....	309
II. 9. Zylindrische Multipole .....	309
II. 10. Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen des Inneren eines von einem vollkommen leitenden Quader begrenzten Hohlraumes .....	310
II. 11. Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen des Inneren eines vollkommen leitenden Kreiszylinders von endlicher Länge .....	310
II. 12. Eigenschwingungen im Inneren eines von einer vollkommen leitenden Metallkugel begrenzten Hohlraumes .....	310
II. 13. Berechnung der Fortpflanzungskonstanten von Drahtwellen aus der KELVINSchen Telegraphengleichung und dem RAYLEIGHschen Wechselstromwiderstand .....	310
zu Teil III und IV .....	310
III. 1. Die LORENTZ-Transformation bei einer von der $x$ -Achse verschiedenen Relativbewegungsrichtung .....	310
III. 2. Zum Additionstheorem zweier verschieden gerichteter Geschwindigkeiten .....	311
III. 3. Das Feld eines gleichförmig bewegten Elektrons .....	311
III. 4. Zum relativistischen Energiesatz des Elektrons .....	311
III. 5. Das Elektron im homogenen elektrostatischen Felde .....	311
III. 6. Das Elektron im homogenen magnetostatischen Felde .....	312
III. 7. Das Elektron im homogenen elektrischen und einem dazu parallelen homogenen magnetischen Felde .....	312
III. 8. Das Elektron im homogenen elektrischen und einem dazu senkrechten homogenen magnetischen Felde .....	312
III. 9. Die Charakteristik der Glühkathodenröhre nach LANGMUIR und SCHOTTKY .....	312
III. 10. Die Beschleunigung des Elektrons im Betatron .....	313
IV. 1. Das Feld der unipolaren Induktion .....	313
Anleitung zur Lösung der Übungsaufgaben .....	314
Namen- und Sachregister .....	340