

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Die Maxwell'schen Gleichungen

<b>1.1</b>	<b>Gradient, Rotation und Divergenz</b> .....	1
<b>1.2</b>	<b>Die Integralsätze im Fall des <math>\mathbb{R}^3</math></b> .....	7
<b>1.3</b>	<b>Maxwell'sche Gleichungen in integraler Form</b> .....	10
1.3.1	Das Induktionsgesetz .....	10
1.3.2	Das Gauß'sche Gesetz .....	12
1.3.3	Gesetz von Biot und Savart .....	14
1.3.4	Die Lorentz-Kraft .....	15
1.3.5	Die Kontinuitätsgleichung .....	16
<b>1.4</b>	<b>Die Maxwell'schen Gleichungen in lokaler Form</b> .....	20
1.4.1	Induktions- und Gauß'sches Gesetz .....	20
1.4.2	Lokale Form des Biot-Savart Gesetzes .....	21
1.4.3	Lokale Gleichungen in allen Maßsystemen .....	23
1.4.4	Die Frage der physikalischen Einheiten .....	24
1.4.5	Die elektromagnetischen Gleichungen im SI-System .....	26
1.4.6	Das Gauß'sche Maßsystem .....	28
<b>1.5</b>	<b>Skalare Potentiale und Vektorpotentiale</b> .....	33
1.5.1	Einige Formeln aus der Vektoranalysis .....	33
1.5.2	Konstruktion eines Vektorfeldes aus seinen Quellen und Wirbeln .....	38
1.5.3	Skalare Potentiale und Vektorpotentiale .....	40
<b>1.6</b>	<b>Phänomenologie der Maxwell'schen Gleichungen</b> .....	44
1.6.1	Die Grundgleichungen und ihre Interpretation .....	44
1.6.2	Zusammenhang der Verschiebung mit dem elektrischen Feld .....	47
1.6.3	Zusammenhang zwischen Induktions- und magnetischem Feld .....	50
<b>1.7</b>	<b>Statische elektrische Zustände</b> .....	53
1.7.1	Poisson- und Laplace-Gleichung .....	53
1.7.2	Flächenladungen, Dipole und Dipolschichten .....	59
1.7.3	Typische Randwertprobleme .....	62
1.7.4	Multipolentwicklung von Potentialen .....	66
<b>1.8</b>	<b>Stationäre Ströme und statische magnetische Zustände</b> .....	78
1.8.1	Poisson-Gleichung und Vektorpotential .....	79
1.8.2	Magnetische Dipoldichte und magnetisches Moment .....	80
1.8.3	Felder von magnetischen und elektrischen Dipolen .....	83
1.8.4	Energie und Energiedichte .....	87
1.8.5	Ströme und Leitfähigkeit .....	90

## 2. Symmetrien und Kovarianz der Maxwell'schen Gleichungen

<b>2.1</b>	<b>Die Maxwell'schen Gleichungen im festen Bezugssystem</b> .....	91
2.1.1	Drehungen und diskrete Raum-Zeittransformationen .....	92
2.1.2	Die Maxwell'schen Gleichungen und äußere Formen .....	96

<b>2.2</b>	<b>Lorentz-Kovarianz der Maxwell'schen Gleichungen</b>	111
2.2.1	Poincaré- und Lorentz-Gruppe	113
2.2.2	Relativistische Kinematik und Dynamik	116
2.2.3	Lorentz-Kraft und Feldstärkentensorfeld	119
2.2.4	Kovarianz der Maxwell'schen Gleichungen	121
2.2.5	Eichinvarianz und Potentiale	125
<b>2.3</b>	<b>Felder einer gleichförmig bewegten Punktladung</b>	128
<b>2.4</b>	<b>Lorentz-invariante äußere Formen und die Maxwell'schen Gleichungen</b>	132
2.4.1	Feldstärkentensor und Lorentz-Kraft	133
2.4.2	Differentialgleichungen für die Zweiformen $\omega_F$ und $\omega_{\mathcal{F}}$	136
2.4.3	Potentiale und Eichtransformationen	139
2.4.4	Verhalten unter den diskreten Transformationen	140
2.4.5	* Kovariante Ableitung und Strukturgleichung	141
<b>3.</b>	<b>Die Maxwell-Theorie als klassische Feldtheorie</b>	
<b>3.1</b>	<b>Lagrangefunktion und Symmetrien bei endlich vielen Freiheitsgraden</b>	143
3.1.1	Satz von Noether bei strikter Invarianz	145
3.1.2	Verallgemeinerter Satz von Noether	145
<b>3.2</b>	<b>Lagrangedichte und Bewegungsgleichungen für eine Feldtheorie</b>	152
<b>3.3</b>	<b>Lagrangedichte für das Maxwell-Feld mit Quellen</b>	157
<b>3.4</b>	<b>Symmetrien und Noether'sche Erhaltungsgrößen</b>	163
3.4.1	Invarianz unter einparametrischen Gruppen	163
3.4.2	Eichtransformationen an der Lagrangedichte	165
3.4.3	Invarianz unter Translationen	169
3.4.4	Interpretation der Erhaltungssätze	172
<b>3.5</b>	<b>Wellengleichung und Green-Funktionen</b>	176
3.5.1	Lösungen in nichtkovarianter Form	177
3.5.2	Lösungen der Wellengleichung in kovarianter Form	181
<b>3.6</b>	<b>Abstrahlung einer beschleunigten Ladung</b>	185
<b>4.</b>	<b>Einfache Anwendungen der Maxwell-Theorie</b>	
<b>4.1</b>	<b>Ebene Wellen im Vakuum und in homogenen, nichtleitenden Medien</b>	191
4.1.1	Dispersionsrelation und harmonische Lösungen	191
4.1.2	Vollständig polarisierte elektromagnetische Wellen	197
4.1.3	Beschreibung der Polarisation	200
<b>4.2</b>	<b>Einfache strahlende Quellen</b>	204
4.2.1	Typische Dimensionen strahlender Quellen	205
4.2.2	Beschreibung durch Multipolstrahlung	207
4.2.3	Der Hertz'sche Dipol	211
<b>4.3</b>	<b>Brechung harmonischer Wellen</b>	215
4.3.1	Brechungsindex und Winkelrelationen	215
4.3.2	Dynamik der Brechung und der Reflexion	217
<b>4.4</b>	<b>Geometrische Optik, Linsen und negativer Brechungsindex</b>	221
4.4.1	Optische Signale im Orts- und im Impulsraum	221
4.4.2	Geometrische Optik und dünne Linsen	224
4.4.3	Medien mit negativem Brechungsindex	227
4.4.4	Metamaterialien mit negativem Brechungsindex	234

<b>4.5</b>	<b>Die Näherung achsensnaher Strahlen</b> .....	236
4.5.1	Helmholtz-Gleichung in paraxialer Näherung .....	236
4.5.2	Die Gauß-Lösung.....	237
4.5.3	Analyse der Gauß-Lösung .....	239
4.5.4	Weitere Eigenschaften des Gauß-Strahls .....	243
<b>5.</b>	<b>Lokale Eichtheorien</b>	
<b>5.1</b>	<b>Klein-Gordon-Gleichung und massive Photonen</b> .....	247
<b>5.2</b>	<b>Die Bausteine der Maxwell-Theorie</b> .....	251
<b>5.3</b>	<b>Nicht-Abel'sche Eichtheorien</b> .....	254
5.3.1	Die Strukturgruppe und ihre Lie-Algebra .....	255
5.3.2	Global invariante Lagrangedichten .....	261
5.3.3	Die Eichgruppe .....	262
5.3.4	Potentiale und kovariante Ableitung .....	263
5.3.5	Feldstärkentensor und Krümmung.....	266
5.3.6	Eichinvariante Lagrangedichten .....	269
5.3.7	Physikalische Interpretation .....	272
5.3.8	* Mehr über die Eichgruppe.....	275
<b>5.4</b>	<b>Die U(2)-Theorie der elektroschwachen Wechselwirkungen</b> ....	279
5.4.1	Eine U(2)-Eichtheorie mit masselosen Eichfeldern.....	280
5.4.2	Spontane Symmetriebrechung.....	282
5.4.3	Anwendung auf die U(2)-Theorie.....	287
<b>5.5</b>	<b>Epilog und Ausblick</b> .....	291
<b>6.</b>	<b>Klassische Feldtheorie der Gravitation</b>	
<b>6.1</b>	<b>Phänomenologie der gravitativen Wechselwirkung</b> .....	294
6.1.1	Parameter und Größenordnungen .....	294
6.1.2	Äquivalenzprinzip und Universalität.....	296
6.1.3	Rotverschiebung und andere Effekte der Gravitation.....	300
6.1.4	Vermutungen und weiteres Programm.....	304
<b>6.2</b>	<b>Materie und nichtgravitative Felder</b> .....	305
<b>6.3</b>	<b>Raumzeiten als glatte Mannigfaltigkeiten</b> .....	308
6.3.1	Mannigfaltigkeiten, Kurven und Vektorfelder .....	308
6.3.2	Einsformen, Tensoren und Tensorfelder .....	315
6.3.3	Koordinatenausdrücke und Tensoralkül .....	318
<b>6.4</b>	<b>Paralleltransport und Zusammenhang</b> .....	326
6.4.1	Metrik, Skalarprodukt und Index.....	326
6.4.2	Zusammenhang und kovariante Ableitung.....	328
6.4.3	Torsions- und Krümmungs-Tensorfelder.....	332
6.4.4	Der Levi-Civita-Zusammenhang.....	334
6.4.5	Eigenschaften des Levi-Civita-Zusammenhangs .....	335
6.4.6	Geodäten auf semi-Riemann'schen Raumzeiten .....	338
6.4.7	Weitere Eigenschaften des Krümmungstensors .....	341
<b>6.5</b>	<b>Die Einstein'schen Gleichungen</b> .....	344
6.5.1	Energie-Impuls-Tensorfeld in gekrümmter Raumzeit .....	344
6.5.2	Ricci-Tensor, Krümmungsskalar und Einstein-Tensor.....	345
6.5.3	Die Grundgleichungen .....	347
<b>6.6</b>	<b>* Strukturgleichungen</b> .....	353
6.6.1	Zusammenhangsformen .....	353
6.6.2	Torsions- und Krümmungsformen.....	354
6.6.3	Die Cartan'schen Gleichungen .....	355
6.6.4	Entwicklungen nach Basis-Einsformen.....	356
6.6.5	Der Spezialfall des Levi-Civita-Zusammenhangs .....	357

<b>6.7</b>	<b>Gravitationsfeld einer kugelsymmetrischen Massenverteilung..</b>	358
6.7.1	Die Schwarzschild-Metrik.....	358
6.7.2	Zwei beobachtbare Effekte.....	362
6.7.3	Der Schwarzschild-Radius als Ereignishorizont .....	369
<b>6.8</b>	<b>Schwarze Löcher und rotierende Lösungen .....</b>	372
6.8.1	Fortsetzung innerhalb des Schwarzschild-Radius .....	372
6.8.2	Schwarzschild-Lösung in Rotation .....	379
6.8.3	Boyer-Lindquist-Blöcke .....	382
6.8.4	Ergosphären .....	385
<b>6.9</b>	<b>Gravitationswellen .....</b>	386
6.9.1	Elektromagnetische Wellen – zur Erinnerung .....	387
6.9.2	Linearisierung der Einstein'schen Gleichungen.....	389
6.9.3	Gravitationswellen im Vakuum.....	390
	<b>Historische Anmerkungen: Vier Schritte der Vereinigung.....</b>	395
	<b>Aufgaben .....</b>	399
	<b>Ausgewählte Lösungen der Aufgaben .....</b>	407
	<b>Literatur .....</b>	431
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	433
	<b>Namenverzeichnis.....</b>	437

Theoretische Physik 3

Klassische Feldtheorie: Von Elektrodynamik,  
nicht-Abelschen Eichtheorien und Gravitation

Scheck, F.

2017, XVI, 438 S. 69 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-53638-4