

Elektrodynamik

E. Schachinger und W. Koller

5. Juni 2001

Diese Lernunterlage zur gleichnamigen Vorlesung wurde weitestgehend nach dem Lehrbuch von Rainer J. JELITTO, *Theoretische Physik 3: Elektrodynamik*, Aula Verlag, Wiesbaden (1987) gestaltet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Grundsätzliches	1
1.2	Historisches	2
1.3	Das Wesen der Elektrodynamik	3
2	Die MAXWELLSchen Gleichungen	4
2.1	Die elektrische Ladung	4
2.2	Der elektrische Strom	6
2.3	Die MAXWELLSchen Gleichungen, die Lorentzkraft	12
2.3.1	Die MAXWELLSchen Gleichungen	12
2.3.2	Die Lorentzkraft	14
2.4	Das Superpositionsgesetz	14
2.5	Das inverse Problem	16
2.6	Feldlinien	18
2.7	Die Integralform der MAXWELLSchen Gleichungen	19
2.8	Die Ladungserhaltung	21
3	Die Elektrostatik	22
3.1	Die Grundgleichungen der Elektrostatik	22
3.2	Punktladungen im Vakuum	22
3.3	Das freie Feld beliebiger Ladungsverteilungen	28
3.3.1	Die Poissonsche Differentialgleichung	28
3.3.2	Die freie Greensche Funktion, das POISSONSche Integral	29
3.3.3	Die elektrische Feldenergie	31
3.4	GAUSSSches Gesetz, FARADAYSches Gesetz	35
3.5	Der Plattenkondensator	38
3.6	Das Randwertproblem der Elektrostatik	39
3.6.1	Grundsätzliches	39
3.6.2	Physikalische Realisierung von Randbedingungen	40
3.6.3	Scheinbare Ladungsverteilungen, Spiegel- und Influenz- ladungen	42

3.6.4	Der Eindeutigkeitssatz und die Greensche Funktion des Randwertproblem	48
3.7	Der elektrische Dipol	51
3.8	Räumliche Verteilungen von elektrischen Punktdipolen	56
3.9	Die Multipolentwicklung	57
3.10	Materie im elektrostatischen Feld	60
3.10.1	Der ideale Leiter	60
3.10.2	Das ideale Dielektrikum	62
3.10.3	Elektrostatik im idealen Dielektrikum	62
3.10.4	Stetigkeitsbedingungen	64
4	Magnetostatik	66
4.1	Die Grundgleichungen im Vakuum	66
4.2	Formale Integration der magnetostatischen Gleichungen	67
4.3	Die magnetische Multipolentwicklung, das magnetische Fernfeld	71
4.4	Der Stromfaden	74
4.5	Der lineare Leiter	75
4.6	Die Stromschleife, der magnetische Dipol	77
4.7	Kräfte im magnetischen Feld	80
4.8	Räumliche Verteilungen von magnetischen Dipolen	84
4.9	Materie im \mathbf{B} -Feld	88
4.10	Stetigkeitsbedingungen	90
5	Integrationstheorie der MAXWELLSchen Gleichungen	92
5.1	Die Grundgleichungen	92
5.2	Elektrodynamische Potentiale	92
5.3	Eichungen	94
5.3.1	Die Coulomb-Eichung	94
5.3.2	Die Idee der Eichung	97
5.3.3	Die Lorentz-Eichung	97
5.4	Der Energiesatz der Elektrodynamik	98
5.5	Die Wellengleichung	100
5.5.1	Die eindimensionale Wellengleichung	101
5.5.2	Der mehrdimensionale Fall	105
5.5.3	Vektorwellen	109
5.6	Freie elektromagnetische Wellen	112
5.7	Die allgemeine Lösung der homogenen Wellengleichung	116
5.7.1	Grundsätzliches	116
5.7.2	Bemerkungen zur FOURIERSchen Integraltransformation	117
5.7.3	Erweiterung auf Funktionen mehrerer Variabler	123
5.7.4	Die Wellengleichung und die Fouriertransformation	123
5.7.5	Lösung der elektromagnetischen Wellengleichung	126

5.8	Die inhomogene Wellengleichung	129
5.8.1	Die Greensche Funktion der Wellengleichung	129
5.8.2	Bewegte Ladungen	134
5.8.3	Der Hertzsche Dipol	137
5.9	Zeitlich rein periodische elektromagnetische Felder	144
5.9.1	Grundlegendes	144
5.9.2	Der HERTZsche und der FITZGERALDsche Vektor	145
5.9.3	Das oszillierende elektrische Stromelement	149
5.9.4	Der oszillierende elektrische Kreisstrom	150
5.10	Elektromagnetische Felder in Materie	153
5.10.1	Grundsätzliches	153
5.10.2	Die MAXWELLSchen Gleichungen	154
5.10.3	Stetigkeitsbedingungen	154
6	Energiedichte und -fluß in der Elektrodynamik	159
6.1	Der Poyntingsche Satz	159
6.2	Energiedichte einer ebenen elektromagnetischen Welle im Vakuum	161
6.3	Die Energieabstrahlung des Hertzschen Dipols	164
6.4	Die Energieabstrahlung des magnetischen Dipols	167
7	Spezielle Relativitätstheorie	169
7.1	Postulate	169
7.2	Der Minkovski–Raum	169
7.2.1	Elemente der affinen Geometrie	169
7.2.2	Der Minkovski Vierervektor	171
7.2.3	Die inhomogene Wellengleichung	172
7.3	Kovariante Formulierung der Elektrodynamik	177
7.3.1	Der Feldstärketensor	177
7.3.2	Die MAXWELLSchen Gleichungen in kovarianter Schreibweise	179
7.3.3	Die Lorentzkraft	181
7.3.4	Der Energie–Impulstensor	182
7.4	Relativistische Elektrodynamik	183
7.4.1	Transformationseigenschaften, das elektrische Feld einer bewegten Ladung	183
7.4.2	Die Bewegung eines geladenen Teilchens in einem homogenen elektrischen Feld	187
7.4.3	Die Elektrodynamik materieller Körper	190
7.4.4	Lösung der inhomogenen Wellengleichung unter Verwendung Greenscher Funktionen	193

7.4.5	Das Feld einer geradlinig und gleichförmig bewegten Punktladung	198
7.4.6	Die Theorie der Cerenkov-Strahlung	201

Literatur		207
------------------	--	------------

Literatur

Elektrodynamik

1. Rainer J. Jelitto
Theoretische Physik 3: Elektrodynamik
Aula Verlag, Wiesbaden (1987)
ISBN 3-89104-466-6
2. H. Mitter
Elektrodynamik
Hochschultaschenbücher Bd. 707
B.I. Wissenschaftsverlag (1990)
ISBN 3-411-77072-4
3. R.W.P. King und S. Prasad
Fundamental Electromagnetic Theory and Applications
Prentice-Hall (1986)
ISBN 0-13-336959-5
4. J.D. Jackson
Classical Electrodynamics
John Wiley & Sons (1975)
5. R. Becker und F. Sauter
Theorie der Elektrizität, I
Teubner Verlag (1962)
6. D.M. Cook
The Theory of the Electromagnetic Field
Prentice-Hall (1975)
7. L.D. Landau und E.M. Lifshitz
Lehrbuch der Theoretischen Physik II - Klassische Feldtheorie
Akademie Verlag (1992)

8. L.D. Landau und E.M. Lifshitz
Lehrbuch der Theoretischen Physik VIII - Elektrodynamik der Kontinua
Akademie Verlag (1990)
9. G. Ludwig
Einführung in die Grundlagen der Theoretischen Physik 2 - Elektrodynamik, Zeit, Raum, Kosmos
Bertelsmann Universitätsverlag (1974)
10. G. Lehner
Elektromagnetische Feldtheorie für Ingenieure und Physiker
Springer Verlag (1990)
11. W. Greiner
Theoretische Physik 3 - Klassische Elektrodynamik
Verlag Harri Deutsch (1991)

Spezielle Relativitätstheorie

1. Richard A. Mould
Basic Relativity
Springer Verlag (1994)
ISBN 0-387-94188-6
2. Roman U. Sexl und Helmuth K. Urbantke
Relativität, Gruppen, Teilchen
Springer Verlag (1976)
ISBN 3-211-81364-0
3. A.P. French
Die spezielle Relativitätstheorie
M.I.T. Einführungskurs Physik
Vieweg (1971)
ISBN 3-528-03546-3
4. T.P. Das
Relativistic Quantum Mechanics of Electrons
Harper & Row, New York (1973)
ISBN 0-06-041498-7
5. H. Goenner
Einführung in die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie

Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1996)
ISBN 3-86025-333-6