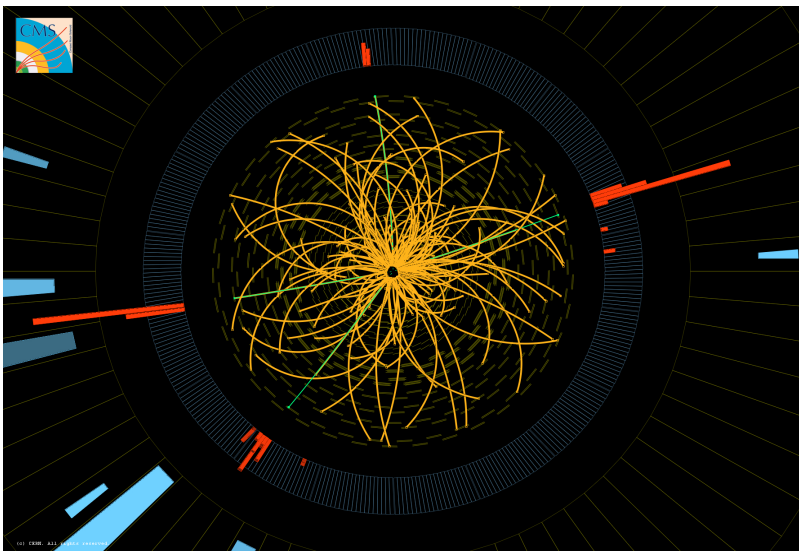
Physik 2
Elektrodynamik und Optik

Notizen zur Vorlesung im Sommersemester 2016

Christian Schwanenberger

31. Mai 2016
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)
christian.schwanenberger@desy.de
http://www.desy.de/~schleper/lehre/physik2/SS_2016



Danksagung

Diese Notizen zur Vorlesung Physik-2 basieren in Teilen auf Unterlagen zur selben Vorlesung meiner Kollegen Prof. Friedrich Wilhelm Büsser, Prof. Rudolf Langkau, Prof. Gunnar Lindström, Prof. Peter Schleper und Prof. Wolfgang Scobel an der Universität Hamburg. Ich bedanke mich ganz herzlich bei ihnen für die großzügige und hilfreiche Überlassung ihrer Unterlagen.

Ganz besonders bedanke ich mich bei Prof. Peter Schleper, dessen Version ich fast vollständig und nur mit geringen Modifikationen übernommen habe.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **6**
1.1 Übersicht 6
1.2 Literatur zu Elektromagnetismus und Optik 8

2 Elektrostatik **9**
2.1 Coulomb-Kraft und elektrische Ladung 9
2.2 Das MKSA Einheitensystem 10
2.3 Die Elementarladung 11
2.4 Das Elektrische Feld 13
2.5 Elektrisches Potential und Spannung 14
2.6 Influenz und Metalle 15
2.7 Ladungsverteilungen 17
2.7.1 Superpositionsprinzip 17
2.7.2 Elektrischer Dipol in einem äußeren Feld . . . 18
2.7.3 Das Potential eines Dipols 18
2.7.4 Flächenladungen, Kondensator und Kapazität 20
2.7.5 Raumladungen und Multipole 21
2.8 Gauß'scher Satz 22
2.8.1 Integrale und Differentielle Form 22
2.8.2 Begründung des Gauß'schen Satzes 23
2.8.3 Anwendung des Gauß'schen Satzes 24
2.9 Energie des E-Feldes 26
2.10 Dielektrika 27

3 Elektrische Leitung **29**
3.1 Strom und Ladungserhaltung 29
3.2 Mechanismen des Ladungstransports 30
3.3 Stromkreise 32

4 Statische Magnetfelder **34**
4.1 Magnetismus und Ströme 34
4.2 Lorentz-Kraft 35
4.3 Biot-Savart Gesetz 37
4.4 Ampere'sches Gesetz 38
4.5 Quellenfreiheit von Magnetfeldern 39
4.6 Magnetfelder von Stromverteilungen 40
4.6.1 Magnetfeld in einer Spule 40
4.6.2 Leiterschleife und magnetischer Dipol 40
4.7 Magnetfeld der Erde 42
4.8 Hall-Effekt 43
4.9 Das Vektorpotential 44
4.10 Materie im Magnetfeld 45

5 Induktion **49**
5.1 Statische und zeitlich veränderliche Felder 49

5.2 Faraday'sches Induktionsgsetz 50
5.2.1 Lenz'sche Regel 52
5.2.2 Stromerzeugung 52
5.2.3 Wirbelströme 53
5.3 Selbst-Induktivität 53

6 Schaltkreise 55
6.1 Schaltvorgänge mit Spulen und Kondensatoren 55
6.1.1 Einschalten einer Spule 55
6.1.2 Einschalten eines Kondensators 56
6.1.3 Ausschalten einer Spule 56
6.2 Energiedichte des Magnetfelds 57
6.3 Energie im Wechelstromkreis 58
6.4 Komplexe Widerstände 59
6.4.1 Ohm'scher Widerstand 60
6.4.2 Kondensator 60
6.4.3 Spule 61
6.4.4 R-L-C Schaltungen 61
6.5 Wechselstromschaltungen 62
6.5.1 R-C Glied als Hochpass 62
6.5.2 R-C Glied als Tiefpass 63
6.6 Schwingkreise 63
6.6.1 R-C-L Serienschwingkreis als Frequenzfilter . 64
6.6.2 R-C-L als Parallelschwingkreis 65
6.7 Energie im Schwingkreis 66
6.8 Fourier-Analyse 66

7 Maxwell - Gleichungen 68
7.1 Der Verschiebungsstrom 68
7.2 Zusammenfassung der Maxwell-Gleichungen 70
7.3 Maxwell-Gleichungen in Materialien 71
7.4 Skalares Potential und Vektorpotential 71
7.4.1 Maxwell-Gleichungen und Potentiale 72
7.4.2 Eichtransformationen 73
7.4.3 Bedeutung der Potentiale 74

8 Elektromagnetische Wellen 76
8.1 Ableitung 76
8.2 Spektrum der elektromagnetischen Wellen 77
8.3 Polarisation 78
8.4 Energie und Poynting-Vektor 79
8.5 Impuls und Druck 79
8.6 Erzeugung elektromagnetischer Wellen 80
8.6.1 Hertz'scher Dipol 80
8.6.2 Strahlung einer beschleunigten Ladung 83

9 Optik 85
9.1 Huygens'sches Prinzip 85
9.2 Reflexion und stehende Wellen 86
9.3 Brechung und Totalreflexion 87
9.4 Polarisation durch Brechung 88

9.5 Dispersion 89
9.6 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit 94
9.7 Linsen und Abbildungen 95
9.8 Kohärenz 97
9.9 Interferenz 98
9.9.1 Interferenz an planparallelen Platten 98
9.9.2 Michelson-Morley Experiment 99
9.10 Beugung 100
9.10.1 Doppelspalt mit kleiner Spaltbreite 101
9.10.2 Einzelspalt 102
9.10.3 Doppelspalt allgemein 103
9.10.4 Gitter 103
9.10.5 Kreisförmige Öffnungen 104
9.11 Dopplereffekte 105
9.11.1 Linearer nichtrelativistischer Dopplereffekt in Medien 105
9.11.2 Transversaler nichtrelativistischer Dopplereffekt in Medien 106
9.11.3 Longitudinaler relativistischer Dopplereffekt . 106
9.11.4 Transversaler relativistischer Dopplereffekt . . 107

A Mathematische Formeln 108

B Formeln zum Elektromagnetismus 110

C Wellen 114
C.1 Harmonische Wellen 114
C.2 Beispiele für Wellen 115
C.3 Wellengleichung und Form der Lösungen 116
C.4 Ebene Wellen und Kugelwellen 117
C.5 Linearität und Superposition 117

D Differentialgleichungen 119
D.1 Herleitung der harmonischen Schwingung 119
D.2 Lösung für eine freie harmonische Schwingung 120
D.3 Gedämpfte harmonische Schwingung 123
D.4 Gedämpfter harmonischer Oszillator mit äußerer Anregung 124