

# Elektrodynamik

Gesamtübersicht

ETH Zürich, FS14

PROF. N. BEISERT

## 0 Einleitung

### 0.1 Inhalt

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. Grundlagen der Elektrostatik          | (4 Vorlesungen) |
| 2. Randwertprobleme der Elektrostatik    | (4 Vorlesungen) |
| 3. Elektrostatik in Kugelkoordinaten     | (4 Vorlesungen) |
| 4. Magnetostatik                         | (3 Vorlesungen) |
| 5. Elektro- und Magnetostatik in Materie | (3 Vorlesungen) |
| 6. Maxwell-Gleichungen                   | (3 Vorlesungen) |
| 7. Lösungen der freien Wellengleichung   | (3 Vorlesungen) |
| 8. Erhaltungsgrößen und Symmetrien       | (2 Vorlesungen) |
| 9. Erzeugung Elektromagnetischer Wellen  | (6 Vorlesungen) |
| 10. Wellenleiter                         | (3 Vorlesungen) |
| 11. Elektrodynamik mit Materie           | (4 Vorlesungen) |
| 12. Wellenoptik                          | (2 Vorlesungen) |
| 13. Spezielle Relativitätstheorie        | (6 Vorlesungen) |

Vermerkt ist die ungefähre Anzahl 45-minütiger Vorlesungen. Insgesamt besteht der Kurs aus 50 Vorlesungen.

Teil I

**Statik**

# 1 Grundlagen der Elektrostatik

## 1.1 Grundbegriffe

- Ladung
- Coulomb-Gesetz
- Elektrisches Feld
- Kontinuierliche Ladungsverteilungen
- Gaußscher Satz
- Diracsche delta-Funktion

Nolting 2.1: Grundbegriffe

Nolting 2.1.1: Ladungen und Ströme

Nolting 2.1.2: Coulomb'sches Gesetz, elektrisches Feld

Nolting 2.1.3: Maxwell-Gleichungen der Elektrostatik

Nolting 2.1.4: Feldverhalten an Grenzflächen

Renner 1.2: Das Coulombgesetz der Elektrostatik

Gaberdriel 2.1: Das Coulomb Gesetz und das elektrische Feld

Jackson 1.1: Coulomb's law

Jackson 1.2: Electric field

Jackson 1.3: Gauss's law

Jackson 1.4: Differential form of Gauss's law

## 1.2 Das Elektrostatische Potential

- Stokesscher Satz
- Arbeit
- elektrostatisches Potential
- Poisson-Gleichung

Gaberdriel 2.2: Das elektrische Potential und die Feldgleichungen

Jackson 1.5: Scalar potential

## 1.3 Energie des Elektrostatischen Feldes

- Energie einer Ladungsverteilung
- Energie einer Feldkonfiguration
- Selbstenergie von Punktladungen

Nolting 2.1.5: Elektrostatische Feldenergie

Renner 1.4: Elektrostatische Energie

Renner 1.5: Kapazitäten

Gaberdriel 2.4: Die elektrostatische Energie einer Ladungsverteilung

Jackson 1.7: Poisson's and Laplace's equations

Jackson 1.11: Electrostatic potential energy

## 1.4 Beispiele

- Kugelsymmetrische Ladungsverteilung
- Homogen geladene Kugel
- Homogen geladene Kugeloberfläche
- Geladene Fläche
- Plattenkondensator
- Dipol

Renner 1.3: Oberflächen und Zwischenschichten

Renner 1.3.1: Geladene Oberfläche

Renner 1.3.2: Metallische Oberfläche

Renner 1.3.3: Neutrale Dipolschicht

Gaberdiel 2.3: Beispiele einfacher Ladungsverteilungen

Gaberdiel 2.3.1: Elektrischer Dipol

Gaberdiel 2.3.2: Homogen geladene Kugel

Gaberdiel 2.3.3: Flächenhafte Ladungsverteilungen

Nolting 2.2: Einfache elektrostatische Probleme

Nolting 2.2.1: Plattenkondensator

Nolting 2.2.2: Kugelkondensator

Nolting 2.2.3: Zylinderkondensator

Nolting 2.2.4: Der Dipol

Nolting 2.2.5: Dipolschicht

Jackson 1.6: Surface distributions of charges and dipoles

## 2 Randwertprobleme der Elektrostatik

### 2.1 Formulierung und Eindeutigkeit

- Formulierung
- Eindeutigkeit
- Randbedingungen
- Leiter

Renner 2.1: Allgemeines zu Greenschen Funktionen

Nolting 2.3.1: Formulierung des Randwertproblems

Nolting 2.3.2: Klassifikation der Randbedingungen

Gaberdiel 2.5: Die Potentialgleichung

Jackson 1.8: Green's theorem

Jackson 1.9: Uniqueness theorem

### 2.2 Greensche Funktionen

- Freier Raum
- Dirichlet-Randbedingungen
- Neumann-Randbedingungen

Nolting 2.3.3: Green'sche Funktion

Gaberdiel 2.6: Allgemeine Lösungen der Potentialgleichung mit Randbedingungen

Gaberdiel 2.6.1: Dirichlet Randbedingungen

Gaberdiel 2.6.2: Neumann Randbedingungen

Renner 2.8: Green'sche Funktionen

Jackson 1.10: Formal solution of boundary-value problem, Green's functions

### 2.3 Beispiele

- Bildladungen an der Fläche
- Bildladung an der geerdeten Kugel
- Bildladung an der isolierten Kugel
- Kapazitätskonstanten

Nolting 2.3.4: Methode der Bildladungen

Renner 2.2: Bildtechnik

Renner 2.2.1: Greensche Funktion mit Bildtechnik

Gaberdiel 2.7: Explizite Lösungen ausgewählter Randwertprobleme

Gaberdiel 2.7.1: Der leitende Halbraum

Gaberdiel 2.7.2: Aussenraum einer Kugel

Gaberdiel 2.7.4: Kapazitätskonstanten

Jackson 2.1: Method of images

Jackson 2.2: Point charge and a grounded conducting sphere

Jackson 2.3: Point charge and a charged, insulated, conducting sphere

Jackson 2.4: Point charge and a conducting sphere at fixed potential

Jackson 2.7: Green's function for a sphere

## 2.4 Konforme Symmetrie

- Konforme Symmetrie in drei Dimensionen
- Konforme Symmetrie in zwei Dimensionen

Renner 2.3: Konforme Abbildungen

Jackson 2.6: Method of inversion

## 3 Elektrostatik in Kugelkoordinaten

### 3.1 Separation der Variablen

- Separation der Variablen
- Separation in kartesische Koordinaten

Renner 2.4: Orthogonale Funktionen, kartesische Koordinaten

Nolting 2.3.5: Entwicklung nach orthogonalen Funktionen

Nolting 2.3.6: Separation der Variablen

Gaberdiel 2.7.3: Eigenfunktionen

Jackson 2.9: Orthogonal functions and expansions

Jackson 2.10: Separation of variables in rectangular coordinates

### 3.2 Kugelkoordinaten

- Kugelkoordinaten
- Jacobi-Matrix
- Laplace-Operator
- Integration

Renner 2.5: Krummlinie Koordinaten

Renner 2.5.1: Vektoranalysis: grad, div, rot, Laplace

Renner 2.6: Kugelkoordinaten

Jackson 3.1: Laplace's equation in spherical coordinates

### 3.3 Kugelflächenfunktionen

- Eigenfunktionen von  $\vec{L}^2$
- Eigenfunktionen von  $L_z$
- (verallgemeinerte) Legendre-Gleichung
- reguläre Lösungen
- orthogonale Polynome
- Legendre-Polynome, Rodriguez-Formel
- Kugelflächenfunktionen
- Beispiele

Nolting 2.3.7: Lösung der Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten

Gaberdiel 2.8: Multipolentwicklung

Gaberdiel 2.8.1: Laplace Gleichung in Kugelkoordinaten

Gaberdiel 2.8.2: Die Legendre Gleichung

Renner 2.6.1: Lösungen des Laplace-Problems

Renner 2.6.2: Anwendungen

Renner 2.6.3: Physikalische Anwendungen

Renner 2.8.3: Entwicklung in Eigenfunktionen

Jackson 3.2: Legendre polynomials

Jackson 3.3: Boundary-value problems with azimuthal symmetry

Jackson 3.4: Spherical harmonics



### 3.4 Orthogonalität und Vollständigkeit

- Orthogonalität
- Vollständigkeit
- Analogie Fourier-Transformation

### 3.5 Multipolentwicklung

- Kugelkoordinaten
- Additionstheorem der Kugelflächenfunktionen
- kartesische Koordinaten

Renner 2.9: Multipol-Entwicklung

Renner 2.9.1: Energie einer Ladungsdichte in Multipolentwicklung

Gaberdriel 2.8.4: Sphärische Multipolmomente

Nolting 2.3.8: Potenzial einer Punktladung, sphärische Multipolmomente

Nolting 2.2.6: Der Quadrupol

Nolting 2.2.7: Multipolentwicklung

Nolting 2.2.8: Wechselwirkung einer Ladungsverteilung mit einem äußeren Feld

Jackson 3.5: Addition theorem for spherical harmonics

Jackson 4.1: Multipole expansion

Jackson 4.2: Multipole expansion of the energy of a charge distribution in an external field

### 3.6 Darstellungen der Rotationsgruppe

- Gruppe und Darstellungen
- Vektordarstellung
- Tensor Produkte, Addition
- Zerlegung in Spur, symmetrisch-spurlos und antisymmetrisch
- Höhere Darstellungen
- Vergleich Kugelflächenfunktionen

Gaberdriel 2.8.3: Zwischenspiel: Darstellungstheorie von  $SO(3)$

## 4 Magnetostatik

### 4.1 Grundlagen der Magnetostatik

- Elektrischer Strom
- Ampèresches Gesetz
- Biot–Savart-Gesetz
- Magnetische Flußdichte
- Drehmoment

Renner 3.1: Das Ampèresche Gesetz der Magnetostatik

Gaberdriel 3.1: Stationäre Ströme und das Ampère'sche Gesetz

Nolting 3.1: Der elektrische Strom

Nolting 3.2.1: Biot-Savart-Gesetz

### 4.2 Feldgleichungen

- Stromdichten, Kontinuität
- Kraft, Drehmoment
- Differentielle Feldgleichungen
- Ampèresches Durchflutungsgesetz
- Divergenz

Nolting 3.3.2: Kraft und Drehmoment auf eine lokale Stromverteilung

Renner 3.4: Kraft, Drehmoment und Energie

Nolting 3.2.2: Maxwell-Gleichungen

### 4.3 Vektorpotential

- Vektorpotential
- Eichtransformationen, Eichfixierungen
- Poisson-Gleichung
- Feldenergie
- Skalares Potential

Gaberdriel 3.2: Das Vektorpotential und die Grundgleichungen der Magnetostatik

Nolting 3.2.3: Vektorpotenzial

Renner 3.2: Vektorpotential und Eichinvarian

Renner 3.5: Ampèresches (magnetisches) Blatt

Renner 5.2: Magnetische Energie

Jackson 6.2: Energy in the magnetic field

### 4.4 Magnetisches Moment

- magnetische Induktion einer kleinen Stromschleife
- Kraft und Drehmoment, Energie

Nolting 3.3.1: Magnetische Induktion einer lokalen Stromverteilung  
Renner 3.3: Stromschleife  
Gaberdiel 3.3: Einfache Stromverteilungen  
Gaberdiel 3.3.1: Der magnetische Dipol  
Gaberdiel 3.3.2: Oberflächenstrom

## 5 Elektro- und Magnetostatik in Materie

### 5.1 Makroskopische Felder

- Mittelung, Rolle der Messung
  - Ableitungen, Feldgleichungen
- Nolting 2.4: Elektrostatik der Dielektrika  
Nolting 2.4.1: Makroskopische Feldgrößen  
Nolting 2.4.2: Molekulare Polarisierbarkeit  
Renner 4.1: Elektrostatik im linear polarisierbaren Medium  
Jackson 4.3: Macroscopic electrostatics  
Jackson 4.6: Molecular polarizability and electric susceptibility  
Gaberdiel 8.1: Das Modell und mittlere Felder  
Gaberdiel 8.1.1: Multipolentwicklung  
Gaberdiel 8.2: Die makroskopischen Maxwell Gleichungen

### 5.2 Dielektrika

- Arten von Dielektrika
  - freie Ladungen und gebundene Dipole
  - lineare Polarisierbarkeit
  - D-feld
  - Feldgleichungen
  - Beispiel Plattenkondensator
- Renner 4.4: Strom-Feld Beziehung in Medien  
Jackson 4.7: Models for molecular polarizability  
Jackson 4.8: Electrostatic energy in dielectric media

### 5.3 Grenzflächen von Dielektrika

- Gauß und Stokes, Stetigkeit
  - Beispiel: Feld hinter Grenzfläche
- Nolting 2.4.3: Randwertprobleme, elektrostatische Energie  
Jackson 4.4: Simple dielectrics and boundary conditions  
Jackson 4.5: Boundary-value problems with dielectrics, 1  
Renner 4.3: Beispiele zur Elektro- und Magnetostatik  
Gaberdiel 8.6: Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen

### 5.4 Magnetostatik in Materie

- Analogie
- Feldgleichungen
- magnetisierbare Materialien

Nolting 3.4: Magnetostatik in der Materie  
Nolting 3.4.1: Makroskopische Feldgrößen  
Nolting 3.4.2: Einteilung der magnetischen Stoffe  
Nolting 3.4.3: Feldverhalten an Grenzflächen  
Nolting 3.4.4: Randwertprobleme  
Renner 4.2: Magnetostatik im linear polarisierbaren Medium

Teil II

# Dynamik

## 6 Maxwell-Gleichungen

### 6.1 Bewegte Punktladungen

- Ladungs- und Stromdichte
- elektromagnetische Kraft

### 6.2 Galilei-Transformation

- Bezugssysteme, Äquivalenzprinzip
- Transformation des elektrischen Feldes

### 6.3 Faradaysches Induktionsgesetz

- Faradaysches Induktionsgesetz
- Galilei-Invarianz

Nolting 4.1.1: Faraday'sches Induktionsgesetz

Renner 5.1: Faraday'sches Gesetz

Gaberdriel 3.4: Das Faraday'sche Induktionsgesetz

Jackson 6.1: Faraday's law of induction

### 6.4 Maxwellsche Ergänzung

- Maxwellsche Ergänzung
- Maxwell-Gleichungen, differential und integral
- Galilei-Symmetrie?

Nolting 4.1.2: Maxwell'sche Ergänzung

Renner 5.3: Maxwell'scher Verschiebungsstrom

Gaberdriel 3.5: Der Maxwell'sche Verschiebungsstrom

Jackson 6.3: Maxwell's displacement current, Maxwell's equations

### 6.5 Elektromagnetische Potentiale

- Elektromagnetische Potentiale
- Inhomogene Maxwell-Gleichungen
- Eichtransformationen
- Coulomb-Eichung, Lorenz-Eichung

Nolting 4.1.3: Elektromagnetische Potentiale

Renner 5.5: Skalar- und Vektor-Potentiale

Gaberdriel 3.6.4: Elektromagnetische Potentiale

Jackson 6.4: Vector and scalar potentials, wave equations

Jackson 6.5: Gauge transformations

## **7 Lösungen der freien Wellengleichung**

### **7.1 Freie Wellengleichung**

- Entkopplung
- Freie Wellengleichung

Nolting 4.3.1: Homogene Wellengleichung

### **7.2 Ebene Wellen**

- Ansatz für ebene Wellen
- Monochromatische Wellen
- Komplexe und reelle Lösungen

Renner 6: Ebene Wellen und ihre Ausbreitung

Renner 6.1: Dispersionsloses, nichtleitendes Medium

Nolting 4.3.2: Ebene Wellen

Gaberdiel 4.1: Das freie Feld

Gaberdiel 4.1.1: Monochromatische Felder

Jackson 7.1: Plane waves in a nonconducting medium

### **7.3 Fourier-Transformation**

- Superposition ebener Wellen
- Fourier Transformation
- Vollständigkeit
- Impulsdarstellung der Wellengleichung

Nolting 4.3.6: Fourier-Reihen, Fourier-Integrale

### **7.4 Polarisation**

- Allgemeine ebene Wellen
- Lineare Polarisation
- Zirkulare Polarisation
- Elliptische Polarisation

Renner 6.1.1: Polarisierungen

Nolting 4.3.3: Polarisation ebener Wellen

Jackson 7.2: Linear and circular polarization

### **7.5 Weitere Wellenlösungen**

- Wellenpakete
- Gaußförmiges Wellenpaket
- Phasen- und Gruppengeschwindigkeit



- Kugelwellen

Nolting 4.3.4: Wellenpakete

Nolting 4.3.5: Kugelwellen

Jackson 7.3: Superposition of waves, group velocity

Renner 6.4: Propagation in dispersive Medien

## **8 Erhaltungsgrößen und Symmetrien**

### **8.1 Ladungserhaltung**

- Erhaltung der elektrischen Ladung  
Gaberdiel 6.1: Ladung

### **8.2 Energie und Impuls**

- Energiedichte und Energie
  - Energiestromdichte, Poynting-Vektor
  - Impulsdichte
  - Maxwell'scher Spannungstensor
- Nolting 4.1.4: Feldenergie  
Nolting 4.1.5: Feldimpuls  
Renner 5.7: Energie- und Impulserhaltung eines Materie-Feld Systems  
Gaberdiel 3.6.3: Erhaltungsgrößen  
Jackson 6.8: Poynting's theorem  
Jackson 6.9: Conservation laws  
Gaberdiel 6: Erhaltungssätze  
Gaberdiel 6.2: Energie und Impuls  
Gaberdiel 6.2.1: Freie Felder

### **8.3 Energietransport in Wellen**

- Ebene Wellen
  - Zeitliche Mittelung
  - Kugelwellen
- Nolting 4.3.8: Energietransport in Wellenfeldern

### **8.4 Symmetrien**

- Symmetrien
  - Drehimpuls, Schwerpunkt
  - Bezugssysteme
- Renner 5.8.1: Symmetrien  
Gaberdiel 6.3: Drehimpuls  
Gaberdiel 6.3.1: Freie Felder

### **8.5 Elektromagnetische Dualität und Magnetische Monopole**

- Elektromagnetische Dualität für freie Felder

- Magnetische Ladungen

Renner 5.8.3: Dualität und magnetische Monopole

## 9 Erzeugung Elektromagnetischer Wellen

### 9.1 Anfangswertproblem

- Definition und Existenz von Lösungen der freien Maxwell-Gleichungen
- Lösung im Fourier-Raum
- Lösung im Ortsraum

Gaberdiel 4.2: Dynamik des freien Feldes

Nolting 4.3.7: Allgemeine Lösung der Wellengleichung

Jackson 6.7: Initial-value problem, Kirchhoff's integral representation

### 9.2 Greensche Funktionen

- Ansatz und Lösung der Gleichungen mit Quellen
- Greensche Funktion im Fourier-Raum
- Anwendung auf Elektrodynamik

Renner 5.6: Lösung der Wellengleichung

Gaberdiel 4.3: Das Feld einer Ladungs- und Stromverteilung

Gaberdiel 4.3.1: Die retardierten und avancierten Potentiale

Nolting 4.5.1: Inhomogene Wellengleichung

Jackson 6.6: Green's function for the time-dependent wave equation

### 9.3 Wellen einer Oszillierenden Stromverteilung

- Monochromatische Wellen
- Großer Abstand, Strahlungszone
- Multipolentwicklung, Dipolstrahlung
- Nahzone

Nolting 4.5.2: Zeitlich oszillierende Quellen

Nolting 4.5.3: Elektrische Dipolstrahlung

Nolting 4.5.4: Elektrische Quadrupol- und magnetische Dipolstrahlung

Renner 8.1: Elektrischer Monopol

Renner 8.2: Elektrische Dipolfelder

Renner 8.3: Magnetische Dipol- und elektrische Quadrupolfelder

Gaberdiel 4.4: Ausstrahlung

Gaberdiel 4.4.1: Elektrische Dipolstrahlung

Gaberdiel 4.4.2: Magnetische Dipolstrahlung

Gaberdiel 4.4.3: Elektrische Quadrupolstrahlung

Jackson 16.4: Angular distributions

Jackson 16.5: Sources of multipole radiation, multipole moments

### 9.4 Lineare Antenne

- Lineare Antenne

Gaberdiel 4.4.4: Lineare Antenne

Jackson 16.7: Radiation from a linear, center-fed antenna

## 9.5 Beschleunigte Punktladungen

- Potentiale, Felder
- ruhendes Teilchen
- Strahlung

Renner 13: Strahlung relativistischer Teilchen

Gaberdiel 7: Das Feld einer Punktladung

Gaberdiel 7.1: Das retardierte Potential

Gaberdiel 7.2: Retardierte Feld

Gaberdiel 7.3: Dreidimensionale Form

Gaberdiel 7.4: Ausgestrahlte Energie

Gaberdiel 7.5: Strahlungscharakteristik schneller Teilchen

Nolting 4.5.5: Bewegte Punktladungen

Jackson 14: Radiation by Moving Charges

Jackson 14.1: Lienard-Wiechert potentials and fields

Jackson 14.2: Larmor's radiated power formula and its relativistic generalization

Jackson 14.3: Angular distribution of radiation

## 10 Wellenleiter

### 10.1 Wellen in Leitern

- Telegraphengleichung
- Eindringtiefe

Nolting 4.3.9: Wellenausbreitung in elektrischen Leitern

Renner 6.2: Leitendes Medium, Skin-effekt

Renner 6.3: Analytizität und Kausalität

Jackson 7.7: Waves in a conducting medium

Jackson 7.8: Simple model for conductivity

### 10.2 Wellenleiter

- Reduktion auf zwei Dimensionen
- Randbedingung
- Eigenwertproblem
- TE- und TM-Moden
- TEM-Moden
- Rechteckiger und kreisförmiger Querschnitt
- Energie und Fluß

Renner 7: Wellenleiter und Kavitäten

Renner 7.1: Ideale Hohlleiter

Gaberdiel 9.3: Das Feld in einem Leiter

Gaberdiel 9.4: Das Feld in einem Supraleiter

Jackson 8: Wave Guides and Resonant Cavities

Jackson 8.1: Fields at the surface of and within a conductor

Jackson 8.2: Cylindrical cavities and wave guides

Jackson 8.3: Wave guides

Jackson 8.4: Modes in a rectangular wave guide

Jackson 8.5: Energy flow and attenuation in wave guides

### 10.3 Kavitäten

- Eigenwertproblem
- Terminierter Wellenleiter

Jackson 8.6: Resonant cavities

Renner 7.2: Kavitäten

## 11 Elektrodynamik mit Materie

### 11.1 Wellen im Medium

- Maxwell-Gleichungen
- Ebene Wellen
- Dispersion

Gaberdiel 8.3: Dispersion

Gaberdiel 8.3.1: Dissipativität

Gaberdiel 8.4: Wellen im Dielektrikum

Gaberdiel 8.5: Erhaltungssätze

Jackson 6.10: Macroscopic equations

Jackson 7.4: Propagation of a pulse in a dispersive medium

### 11.2 Reflexion und Brechung

- Ein- und auslaufende Wellen
- TE- und TM-Moden
- Strahlungsbilanz
- Brewster Winkel
- Totalreflexion

Nolting 4.3.10: Reflexion und Brechung elektromagnetischer Wellen am Isolator

Renner 6.1.2: Reflexion und Transmission ebener Wellen durch eine planare Grenzschicht

Gaberdiel 9.1: Reflexion und Brechung

Gaberdiel 9.1.1: Transversales elektrisches Feld (TE)

Gaberdiel 9.1.2: Transversales magnetisches Feld (TM)

Gaberdiel 9.2: Diskussion

Gaberdiel 9.2.2: Brewster Winkel

Gaberdiel 9.2.3: Totalreflexion

Jackson 7.5: Reflection and refraction

Jackson 7.6: Polarization by reflection, total internal reflection

### 11.3 Streuung

- Streuquerschnitt
- Polarisierung
- Dipolstreuung
- Dielektrische Kugel
- Inhomogenitäten

Gaberdiel 9.5: Streuung von Licht an Materie

Renner 9: Streuung an kleinen Objekten

Renner 9.1: Streuwellen

Renner 9.2: Dielektrische Kugel

Renner 9.5: Inhomogene Medien

Renner 9.6: Anwendungen

Renner 9.6.1: Himmelsblau

## **12 Wellenoptik**

### **12.1 Kirchhoffsche Beugungstheorie**

- Beugung
- Kirchhoffsche Formel
- Kirchhoffsche Näherung

Renner 10.1: Kirchhoff'sche Beugungstheorie

Nolting 4.3.11: Interferenz und Beugung

Nolting 4.3.12: Kirchhoff'sche Formel

Jackson 9.5: Kirchhoff's integral for diffraction

Jackson 9.6: Vector equivalents of Kirchhoff's integral

### **12.2 Interferenz und Huygens-Prinzip**

- Wellenfronten
- Optische Weglänge

### **12.3 Fraunhofer- und Fresnel-Beugung**

- Fraunhofer-Beugung
- Fresnel-Beugung

Renner 10.2: Fraunhofer- und Fresnelbeugung

Renner 10.2.1: Fraunhofer Beugung

Renner 10.2.2: Fresnel Beugung

Renner 10.2.3: Beispiel zur Fraunhofer Beugung

Nolting 4.3.13: Beugung am Schirm mit kleiner Öffnung

Nolting 4.3.14: Beugung an der Kreisscheibe; Poisson'scher Fleck

Nolting 4.3.15: Beugung an der kreisförmigen Blende

Jackson 9.8: Diffraction by a circular aperture

Jackson 9.9: Diffraction by small apertures



Teil III

# Relativitätstheorie

## 13 Spezielle Relativitätstheorie

### 13.1 Poincaré-Transformationen

- Galilei-Transformationen
- Symmetrie der Wellengleichung
- Lorentz-Transformationen
- Maxwell-Gleichungen

Renner 11.1: Galileisymmetrie und die Postulate von Einstein

Renner 11.2: Lorentzgruppe und Poincarégruppe

Gaberdiel 5.1: Galileisymmetrie und die Postulate von Einstein

Gaberdiel 5.2: Lorentzgruppe und Poincarégruppe

Gaberdiel 5.3: Lorentztransformationen

Jackson 11.1: Historical background and key experiments

Jackson 11.2: Postulates of special relativity, Lorentz transformation

Jackson 11.3: FitzGerald-Lorentz contraction and time dilatation

Jackson 11.4: Addition of velocities, Doppler shift

### 13.2 Tensoren

- Kontra- und Kovariante Vektoren
- Tensoren und Minkowski Metrik
- Tensorfelder und Ableitungen

Renner 11.3: Lorentztransformationen

Gaberdiel 5.4: Zwischenspiel: Tensoranalysis

Gaberdiel 5.4.1: Operationen auf Tensoren

Gaberdiel 5.4.2: Tensorfelder

Jackson 11.7: Lorentz transformations as orthogonal transformations

Jackson 11.8: 4-vectors and tensors

### 13.3 Kovariante Elektrodynamik

- Felder und Gleichungen
- Erhaltungsgrößen
- Potentiale
- Greensche Funktion

Renner 11.4: Invarianz der MG unter Lorentztransformation

Gaberdiel 5.5: Invarianz der Maxwell Gleichungen unter Lorentztransformationen

Gaberdiel 5.5.2: Potential, Eichinvarianz und Kontinuitätsgleichung

Jackson 11.9: Covariance of electrodynamics

Jackson 11.10: Transformation of electromagnetic fields

Jackson 11.11: Covariance of the force equation and the conservation laws

## 13.4 Geladene Teilchen

- Pfade in der Raumzeit
- Lorentz-Kraft
- Beschleunigte Ladung

Renner 11.6.1: Teilchen im elektromagnetischen Feld

Gaberdiel 5.6: Lagrange Formulierung

Gaberdiel 7.5: Strahlungscharakteristik schneller Teilchen

Jackson 12.1: Momentum and energy of a particle

Jackson 12.5: Covariant Lorentz force equation, Lagrangian and Hamiltonian

Jackson 14.4: Radiation by an extremely relativistic charged particle