

## Fragen zum Stoff zur Selbstkontrolle

**Anmerkung:** Diese Sammlung von Konzepten in der Elektrodynamik sollten Sie *nach* dieser Vorlesung mit Leben erfüllen können. Nicht alle Fragen sind notwendigerweise detailliert (genug) in der Vorlesung behandelt worden. Andere wiederum, die wichtig sind, wurden sicherlich vergessen, nochmals andere aus Zufall doppelt genannt, und manche Fragen sind sehr vage formuliert. Mehr als eine Aufforderung zum Neugierigsein und Anregung zum Überdenken und Vertiefen des Stoffes mittels eines guten Elektrodynamiklehrbuches können diese Blätter also nicht sein. Keinesfalls stellen sie einen abschließenden Überblick über einen Prüfungsstoff dar.

**MATHEMATISCHE GRUNDLAGEN:** Div/rot/grad/Laplace/Volumenelemente in kartes./Zylinder-/Kugelkoordinaten. Definition/Nutzen/Konstruktion einer Greensfunktion? Von-Neumann vs. Dirichlet-Randbedingungen? Eigenschaften der Dirac'schen  $\delta$ -Distribution. Integralsätze von Gauß und Stokes. Leiten sie mit Hilfe dieser Sätze die nach Gauß, Ampère und Faraday benannten Gesetze her. Was ist die "Separation der Variablen"? Was versteht man unter einem vollständig orthonormierten Funktionensystem? Beispiele? Fouriertransformierte der  $\delta$ -Distribution/Gauß'schen Glockenkurve?

**SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE:** Postulate der speziellen Relativitätstheorie? Definition kov./kontravarianter 4-Vektor/invarianter Abstand/Vierergeschwindigkeit/Energie-Impuls-Vektor/d'Alembert'scher Operator? Welche mathematische Bedingung wird von allen Lorentztransformationen erfüllt? Unterschied zwischen eigentlichen und uneigentlichen Lorentztransformationen? Transformationseigenschaften von Orts- und Zeitkoordinaten beim Wechsel des Inertialsystems? Zeitdilatation/Längenkontraktion/Transformation der Geschwindigkeiten? Was sind raum-, zeit- und lichtartige Ereignisse? Lagrangefunktion und Euler-Lagrange-Gleichung eines Punktteilchens im el.-mag. Feld? Definition und Interpretation minimale Substitution/kanonischer und kinematischer Impuls?

**ELEKTRODYNAMIK ALS FELDTHEORIE/GRUNDGLEICHUNGEN:** Feldbegriff/Euler-Lagrange Formalismus/Noether-Theorem/Energie-Impuls-Tensor für beliebige Felder. Definition Feldstärketensor/dualer Feldstärketensor? Drücken Sie  $F^{\mu\nu}$  durch  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$  aus. Kovariante Herleitung der Lagrangedichte und Feldgleichungen der Elektrodynamik. Maxwellgleichungen für  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$ , mit physikalischer Interpretation. Ist die Kontinuitätsgleichung für die Ladung zusätzlich zu fordern? Was würde sich ändern, wenn es magnetische Monopole gäbe? Verhalten von elektromagnetischen Feldern unter Lorentztransformationen? Elektrisches und magnetisches Feld einer gleichförmig bewegten Punktladung. Warum/wie führt man Eichpotentiale ein? Erläutern Sie das Eichprinzip/physikalische Relevanz der Eichfelder/Eichfreiheit? Zusammenhang mit Stromerhaltung? Welche Eichungen kennen Sie, welches sind ihre Vorteile? Ist das Eichfeld in der Lorentz-Eichung eindeutig bestimmt? Definition/Herleitung/Bedeutung Energiedichte und Energiestromdichte der Elektrodynamik?

**STROM- UND LADUNGSDICHTEN:** Lorentzkraft auf eine bewegte Ladung  $q$ ? Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld? Verwenden sie  $\delta$ - und  $\theta$ -Distributionen in einem geeigneten Koordinatensystem zur Beschreibung von: System von Punktladungen, homogen geladene Kugel-/Zylinderoberflächen bzw. Kugel-/Zylinderschalen. Wie sehen die jeweiligen Ströme bei Rotation um eine Symmetrieachse aus? Skizze von  $\Phi$ ,  $\vec{A}$ ,  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$ .

**ELEKTROSTATIK:** Welche Eichung empfiehlt sich für elektrostatische Problem? Warum ist es in der Elektrostatik äquivalent, das  $\vec{E}$ -Feld oder ein skalares Potential anzugeben? Herleitung der Poissongleichung. Skalares Potential und  $\vec{E}$ -Feld einer Punktladung/eines Dipols/einer kontinuierlichen Ladungsverteilung  $\rho(\vec{r})$ ? Kann man aus dem Fernfeld einer geladenen Kugel deren Ladungsverteilung  $\rho(\vec{r})$  vollständig rekonstruieren? Skizzieren Sie Strategien zur Lösung der Laplacegleichung. Warum kann jede normierbare Funktion  $f(\theta, \varphi)$  auf der Einheitskugel als

Linearkombination von Kugelflächenfunktionen geschrieben werden? Vollständigkeits- und Orthogonalitätsrelation für Kugelflächenfunktionen? Allgemeiner Ansatz für eine Lösung der Laplacegleichung in Kugelkoordinaten. Welche Randbedingungen bestimmen die Lösung eines speziellen Problems vollständig? Geben sie die kartesische/sphärische Multipol-Entwicklung des skalaren Potentials/el. Feldes/Energie und deren kartesische/sphärische Multipolmomente  $q_{lm}$  allgemein an. Sind die Komponenten des Quadrupoltensors alle unabhängig? Rolle von Symmetrien? Vor-/Nachteile der kartesischen/sphärischen Multipole? Für welche  $(l, m)$  stellen die sphärischen Multipolmomente  $q_{lm}$  einen Monopol/Dipol/Quadrupol dar? Sind Multipolentwicklungen unabhängig von der Wahl des Koordinatensystems? Wie unterscheidet man experimentell die Multipolaritäten statischer Felder? Radialverhalten des  $l$ ten Multipolfeldes? Wann sind Multipolentwicklungen gute Näherungen? Kraft zwischen zwei el. Dipolen?

MAGNETOSTATIK: Welche Eichung empfiehlt sich für magnetostatische Probleme? Herleitung des Biot-Savart'schen Gesetzes für das  $\vec{B}$ -Feld einer lokalisierten Stromverteilung. Definition magnetisches Dipolmoment. Wie lautet das zugehörige Vektorpotential bzw.  $\vec{B}$ -Feld? Kraft auf mag. Dipole in einem äusseren Feld?

WELLENGLEICHUNGEN: Welche Eichung empfiehlt sich für Strahlungsprobleme? Bedingung der Lorentz-Eichung? Sind die Eichfelder dann vollständig bestimmt? Herleitung der inhomogenen Wellengleichungen in Lorentz-Eichung? Warum stehen die Felder  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  und die Ausbreitungsrichtung  $\vec{k}$  einer freien Welle jeweils senkrecht aufeinander? Gibt es Fälle, in denen das nicht gilt? Definition der zeitunabhängigen und zeitabhängigen Greens-Funktion der Wellengleichung? Physikalische Interpretation retardierte/avancierte Greensfunktion? Welche physikalische Bedeutung hat die "retardierte Zeit"? In welchen Fällen benötigt man die avancierte Greensfunktion  $G^{(-)}$ ? Auf welche Lösungen führen die Wellengleichungen im Vakuum? Welche Arten von Polarisation kennen Sie? Wieviele Freiheitsgrade besitzt eine freie, elektromagnetische Welle. Warum?

MULTIPOLSTRAHLUNG: Warum genügt es, die Strahlung harmonisch variierender Ladungs- und Stromverteilungen zu betrachten? Wie berechnet sich die winkelabhängige Strahlungsleistung? Woran erkennt man (experimentell), welche Art von Multipolstrahlung gegeben ist? Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten von Dipol- und Quadrupolstrahlung? Unterschiede zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Multipolfeldern? Wie unterscheidet man elektrische von magnetischer Multipolstrahlung? Welche Annahmen macht man, um das Feld in der Nah-, Mittel-, und Fernzone zu berechnen? Nach welchen Parametern entwickelt man das Strahlungsfeld, um die Multipolstrahlung zu erhalten? Wann konvergiert die Multipolzerlegung? Strahlungscharakteristik elektrischer Dipol-/Quadrupolstrahlung? Motivieren Sie für atomare Systeme, wie stark die elektrische Quadrupol- und magnetische Dipolstrahlung relativ zur elektrischen Dipolstrahlung sind.

ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER IM MEDIUM: Interpretation aller Größen in den Feldgleichungen im Medium? Welche Ladungen erscheinen jeweils? Zusammenhang zwischen  $\vec{E}/\vec{D}/\vec{P}$  bzw.  $\vec{B}/\vec{H}/\vec{M}$ ? Sind  $\vec{D}$ ,  $\vec{E}$  ( $\vec{B}$ ,  $\vec{H}$ ) stets parallel/proportional zueinander? Leiten Sie an der Grenzfläche zweier isotroper Medien mit Hilfe der Integralsätze von Gauß und Stokes Bedingungen für die Normal- und Tangentialkomponenten von  $\vec{D}$ ,  $\vec{E}$  ( $\vec{B}$ ,  $\vec{H}$ ) her. Zusammenhang zwischen Polarisation und induzierte Oberflächenladungsdichte? Formel für die elektrostatische Energie im polarisierbaren Medium? Wie verhält sich ein Dielektrikum in geerdetem Plattenkondensator/in Kondensator mit konstanter Gesamtladung auf jeder Platte? Feldskizzen! Ursachen nichttrivialer Materialkonstanten  $\epsilon$ ,  $\mu$ ; Orientierungs-/Verschiebungspolarisation, Para-/Dia-/Ferromagnetismus. Wellengleichung im Medium? Bestimmung des Brechungsindex? Zusammenhang zwischen den Materialkonstanten und Phasengeschwindigkeit/Absorption elektromagnetischer Wellen im Medium? Durch welche Relation stehen diese Materialeigenschaften zueinander in Bezug? Definition Transmissions-/Reflexionsvermögen? Was gilt es an den Übergängen einer Welle zwischen verschiedenen Medien zu beachten?