

Es sind keine Hilfsmittel zugelassen!

Angabenzettel müssen beschriftet abgegeben werden!

Bearbeitungszeit: maximal 60 Minuten

Schreiben Sie bitte Ihren Namen und Matrikelnummer auf jedes abgegebene Blatt.

I. Statik

(a) **Multipolentwicklung des elektrischen Feldes:** Gegeben sei eine räumlich begrenzte kontinuierliche Ladungsverteilung $\rho(\vec{x})$

- i. Wie lautet der Monopolbeitrag zum elektrischen Feld $\mathbf{E}(\mathbf{x})$, inklusive Formel für das Monopolmoment?
- ii. Wie lautet der Dipolbeitrag zum elektrischen Feld, inklusive Formel für das Dipolmoment \mathbf{d} ?
- iii. Wie lautet der Quadrupolbeitrag zum elektrischen Feld, inklusive Formel für den Quadrupoltensor Q_{ij} ?

(b) **Das skalare Potential Φ :**

- i. Welche Beziehung besteht in der Elektrostatik zwischen elektrischem Feld und dem skalaren Potential? (Formel)
- ii. Aus welcher Eigenschaft des elektrischen Feldes folgt, dass das elektrische Feld durch das skalare Potential ausgedrückt werden kann?
- iii. Wie lautet die Differential-Gleichung zur Bestimmung von $\Phi(\mathbf{x})$ bei gegebener Ladungsdichte $\rho(\mathbf{x})$? (Formel)
- iv. Was ist der physikalische Grund für die Randbedingungen zu dieser Differentialgleichung?

(c) **Magneto-Statik:**

Wir betrachten eine räumlich begrenzte Stromdichte $\mathbf{j}(\mathbf{x})$.

- i. Wie lautet die Formel für das magnetische Dipolmoment \mathbf{m} , das hiervon erzeugt wird?
- ii. Wenn sich dieses Dipolmoment in einem homogenen äußeren Magnetfeld \mathbf{B} befindet, spürt es dann eine Kraft und/oder ein Drehmoment? Geben sie hierfür die Formel an.
- iii. Begründen Sie die vorherige Antwort.
- iv. Welche Beziehung besteht zwischen dem magnetischen Dipol und dem mechanischen Drehimpuls? (Formel)

2. Elektrodynamik

(a) Maxwell-Gleichungen

- i. Wie lauten die beiden **homogenen** Maxwell-Gleichungen in Materie? (Formel)
- ii. Wie lauten die beiden **inhomogenen** Maxwell-Gleichungen in Materie? (Formel)
- iii. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Größen **E**, **B**, **D**, und **H**?
- iv. Was versteht man unter der linearen Näherung?

(b) Jefimenko-Gleichungen

Die Jefimenko-Gleichung für das elektrische Feld lautet

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \left(\frac{\rho(\mathbf{r}', \tau_{\text{ret}})}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \mathbf{e}_R + \frac{\dot{\rho}(\mathbf{r}', \tau_{\text{ret}})}{c|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \mathbf{e}_R - \frac{\dot{\mathbf{j}}(\mathbf{r}', \tau_{\text{ret}})}{c^2|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \right) dV'$$

- (c) Was ist die physikalische Bedeutung der retardierten Zeit?
- (d) Welche Anteile dieser Gleichungen tragen zur elektromagnetischen Strahlung bei? Was ist die Bedingung hierfür?

3. Oszillierender elektrischer Dipol

Es oszilliere Ladung in einem dünnen eindimensionalen Draht in z -Richtung mit der Frequenz ω .

- (a) Wie sieht die Orts- bzw. Zeit-Abhängigkeit von $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$ aus? (Formel)
- (b) Wie hängt die mittlere abgestrahlte Leistung von den Winkeln θ (Polarwinkel) und ϕ (Azimutalwinkel) in Kugelkoordinaten ab?
- (c) Wie hängt die abgestrahlte Leistung von der Frequenz ω ? (Formel)
- (d) Wie erklärt das die rote Farbe des Himmels am Morgen/ Abend?
- (e) Wie erklärt das die blaue Farbe des Himmels am Mittag?

4. Relativistische Formulierung der Elektrodynamik

- (a) Wie lautet der Tensor $\Lambda^\mu{}_\nu$ für die spezielle Lorentz-Transformation in x -Richtung? (Formel für die Matrixelemente)
- (b) Der inverse Tensor hat die Gestalt $\Lambda_\mu{}^\nu$. Was ergibt $\Lambda^\mu{}_\nu \Lambda_\alpha{}^\mu$? (Formel)
- (c) Gegeben sei ein Tupel von vier Größen $g^\mu = (g^0, g^1, g^2, g^3)$. Wann handelt es sich hierbei um einen Vierervektor?
- (d) Wie transformieren sich kontravariante, bzw. kovariante Vektoren bei Lorentz-Transformation? (Formeln)
- (e) Geben Sie die Elemente der Feldtensoren $F^{\mu\nu}$ und $G^{\mu\nu}$ an. (Formel)
- (f) Woraus besteht der Vierervektor J^μ der Stromdichte? (Formel)
- (g) Wie lauten damit die homogenen Maxwell-Gleichungen? (Formel)
- (h) Wie lauten damit die inhomogenen Maxwell-Gleichungen? (Formel)

Gesamtzahl der Punkte: 30

Notenschlüssel: 5: (0-14) — 4: (15-18) — 3: (19-22) — 2: (23-26) — 1: (27-30)