

Fragen und Loesungen zur Vorlesung Theo II

Luc Kusters

WS 19/20

Die Lösungen die hier zusammengefasst wurden, kommen von mir und von Bildern aus die Theo II Whatsappgruppe. **Weder Vollständigkeit noch Korrektheit kann garantiert werden!** Bei Fragen, Korrekturen oder sonstiges, könnt ihr mich gerne per email erreichen:

ljbkusters@gmail.com

Vielen Dank an jeder, der mitgeholfen hat! Insbesondere:

- Prof. Honerkamp / Dr. Mück für die Fragen
- “Der Andere” für Seine Bilder mit Lösungen in der Whatsappgruppe.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundkenntnisse Elektrostatik I	2
2	Grundkenntnisse Elektrostatik II / Magnetostatik	4
3	Grundkenntnisse Elektrodynamik	6

1 Grundkenntnisse Elektrostatik I

1. Man berechne $\nabla \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$.

$$\nabla \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} \quad \left(= -\nabla' \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \right)$$
2. Was ergibt $\Delta \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$?

$$\Delta \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} = 4\pi\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}')$$
3. Wie lauten die beiden Feldgleichungen für das elektrische Feld in der Elektrostatik?

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi k\rho(\mathbf{r}) \quad \nabla \times \mathbf{E} = 0 \quad \left(\text{SI: } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)$$
4. Wie lautet die Bestimmungsgleichung für das elektrostatische Potential bei gegebener Ladungsdichte $\rho(\mathbf{r})$?

$$\phi(\mathbf{r}) = \int d^3r' \frac{\rho(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$$
5. Wie berechnet sich das elektrische Feld $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ aus dem Potential $\Phi(\mathbf{r})$?

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla\Phi(\mathbf{r})$$
6. Wie Berechnet man den Potentialunterschied [**Spannung**] zwischen den Orten \mathbf{r}_2 und \mathbf{r}_1 bei gegebenem Feld $\mathbf{E}(\mathbf{r})$?

$$U(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} \mathbf{E}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{s} = \Phi(\mathbf{r}_2) - \Phi(\mathbf{r}_1)$$

Notiz: Wegen $\mathbf{E} = -\nabla\Phi$ ist \mathbf{E} ein reines Gradientenfeld. Dies heißt, daß das Integral über \mathbf{E} wegunabhängig ist (nur Gültig in der Elektrostatik!!!).
7. Was besagt der satz von Gauß als mathematische Aussage?

$$\int_V d^3r [\nabla \cdot \mathbf{F}(\mathbf{r})] = \int_{\partial V} d\mathbf{A} \cdot \mathbf{F}(\mathbf{r})$$

Notiz: In 3 Dimensionen, wobei V ein Volumen darstellt, und ∂V dessen Randfläche darstellt.
8. Welche Aussage erhält man mit dem Satz von Gauß in der Elektrostatik in Anwesenheit von Ladungen in einem Volumen V ?

$$\mathbf{E}(\mathbf{r})|_{|\mathbf{r}|>R} \propto Q_{\text{ges}} \in V_R$$

 Oder in wörter: Das Elektrische Feld außerhalb einem Volumen V_R^1 ist proportional zur Gesamtladung Q_{ges} im Volumen V_R
9. Was besagt der Satz von Stokes Mathematisch?

$$\int_A d\mathbf{A} \cdot [\nabla \times \mathbf{F}(\mathbf{r})] = \int_{\partial A} d\mathbf{s} \cdot \mathbf{F}(\mathbf{r})$$

Notiz: In 3 Dimensionen, wobei A eine Fläche darstellt, und ∂A dessen Rand darstellt.
10. Wann ist die Lösung der Poisson-Gleichung eindeutig?
 Falls die Randbedingungen vorgegeben sind.
Notiz: $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} + F(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ ist wegen $F(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ nicht eindeutig!

¹maximale Radius R, d.h. $V_R \subset B_R$ wobei B_R ein Kugel mit Radius R ist

11. Man gebe das infinitesimale Flächenelement auf der Oberfläche einer Kugel mit Radius R an.

$$dA = R^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

Notiz: $\int_{\partial B_R(0)} dA = \int \delta(r - R) dV = \int \delta(r - R) r^2 \sin \theta d\theta d\phi = R^2 \int \sin \theta d\theta d\phi$

12. Man berechne das Volumen einer Kugel mit Radius R in Kugelkoordinaten

$$V_k = \int_{\sqrt{x^2+y^2+z^2}=R} 1 \cdot dx dy dz = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \int_0^R 1 \cdot r^2 dr \sin \theta d\theta d\phi$$

$$V_k = \int_0^R r^2 dr \int_{-1}^1 d \cos \theta \int_0^{2\pi} d\phi = \left[\frac{1}{3} R^3 \right] [2] [2\pi] = \frac{4\pi}{3} R^3$$

13. Wie sieht die Entwicklung einer Funktion $f(\theta, \phi)$ in Kugelflächenfunktionen aus und wie bestimmt man die Entwicklungskoeffizienten?

$$f(\theta, \phi) = \sum_{lm} f_{lm} Y_{lm}(\theta, \phi) \quad l \in \mathbb{N}_0; \quad |m| \leq l; \quad m \in \mathbb{Z}$$

$$f_{lm} = \text{const.} = \int_{-1}^1 d \cos \theta \int_0^{2\pi} d\phi Y_{lm}^*(\theta, \phi) f(\theta, \phi) = \int d\Omega Y_{lm}^*(\Omega) f(\Omega)$$

14. Wie lautet der Ansatz für die Lösung der Laplace-Gleichung in Kugelflächenfunktionen?

$$f(r, \theta, \phi) = \sum_{lm} (a_{lm} r^l + b_{lm} r^{-(l+1)}) Y_{lm}(\theta, \phi)$$

15. Welche zwei wichtigen Gleichungen erfüllt die Dirichlet-Green'sche Funktion $G_D(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$?

1. $G_D(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = G_D(\mathbf{r}', \mathbf{r})$ (für reine Dirichlet Randbedingungen)

2. $\Phi(\mathbf{r}) = k \int_V d^3 r' G_D(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \rho(\mathbf{r}') - \frac{1}{4\pi} \int_{\partial V} d\mathbf{A}' \cdot \phi(r') \nabla G_D(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$

Notiz: Ob ich diese Frage richtig interpretiert habe weiß ich nicht.

2 Grundkenntnisse Elektrostatik II / Magnetostatik

1. Wie lautet die Taylor-Entwicklung von $\frac{1}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}$ in den Komponenten von \mathbf{r}' bei $\mathbf{r}' = 0$ bis einschließlich der Zweiten Ordnung?
2. Man drücke das elektrostatische Potential $\Phi(\mathbf{r})$ einer räumlich begrenzte Ladungsverteilung $\rho(\mathbf{r}')$ mittels Monopol, den Dipolvektor und den Quadrupoltensor aus
3. Man gebe Formel für das Monopolmoment, den Dipolvektor und den Quadrupoltensor an.
4. Wie koppeln Monopol und Dipol an ein externes elektrostatisches Potential bzw. Feld
5. Wie lautet die elektrostatische Energie einer Ladungsverteilung? Man gebe zwei Äquivalente Ausdrücke, einerseits mit $\rho(\mathbf{r})$ und andererseits mit $\mathbf{E}(\mathbf{r})$
6. Wie ist die elektrische Suszeptibilität χ in einem linearen, isotropen Medium definiert?
7. Wie lautet der Zusammenhang zwischen elektrischem Feld, dielektrischer Verschiebung und Polarisierung
8. Welche Feldgleichung erfüllt die dielektrische Verschiebung?
9. Was geschieht mit dem $1/r$ -Potential von Punktladungen in Metallen?

[MAGNETOSTATIK]

10. Man schreibe die Kontinuitätsgleichung in differentieller Form und mit Integralen über ein Volumen V bzw. dessen Oberfläche ∂V .
11. Man schreibe Ladungsdichte $\rho(\mathbf{r})$ und Stromdichte $\mathbf{j}(\mathbf{r})$ für $i = 1, \dots, N$ Punktladungen q_i mit Trajektorien $\mathbf{r}_i(t)$.
12. Wie lautet das Biot-Savart'sche Gesetz für $\mathbf{A}(\mathbf{r})$ und $\mathbf{B}(\mathbf{r})$
13. Wie lauten die zwei Feldgleichungen der Magnetostatik?
14. Man berechne das magnetische Dipolmoment für eine Punktladung auf einer Kreisbahn mit Radius R sowie Drehimpuls \mathbf{L}

15. Wie lauten die Zusammenhänge zwischen \mathbf{B} , \mathbf{H} und \mathbf{M} in einem Paramagneten

3 Grundkenntnisse Elektrodynamik

1. Wie lauten die vollen, makroskopischen Maxwell-Gleichungen für die Felder $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$
2. Welche Gleichung legt das Verhalten der aus Punktladungen zusammen gesetzten Quellen $\rho(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$ in den Feldern $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ fest?
3. Man zeige mittels Kontinuitätsgleichung und Ampère-Gesetz, dass der Maxwell'sche Verschiebungsstrom für Ladungserhaltung notwendig ist.
4. Wie lauten die Wellengleichungen für $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ und $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ im Vakuum?
5. Wie sehen Ebene-Wellen-Lösungen im Vakuum aus? Was weiß man über die Richtungen der Felder bezüglich der Ausbreitungsrichtung?
6. Wie erhält man die Dispersionsrelation und wie lautet sie für elektromagnetische Wellen im Vakuum?
7. Man gebe die Formeln für die Fourier-Hin- und Rücktransformation für eine Funktion $f(t)$ auf der t -Achse auf ω -Achse und zurück an.
8. Man berechne die Fouriertransformation von $\delta(t - t_0)$.
9. Wie berechnet sich der Poynting-Vektor für reelle Felder? Was ist seine physikalische Bedeutung?
10. Wie lauten die inhomogenen Maxwell-Gleichungen in Materie, charakterisiert durch Dielektrizitätskonstante ϵ_r und Permeabilität μ_r ?
11. Durch welche drei Sachverhalte unterscheiden sich elektromagnetische Wellen in einem Wellenleiter mit einfach zusammenhängenden rechteckigem Querschnitt von denen im Vakuum?
12. Wie sind Phasen- und Gruppengeschwindigkeit definiert und was ist ihre physikalische Bedeutung?
13. Man gebe zwei Formen für das Ohm'sche Gesetz an. Wie ist die Beziehung zwischen Leitfähigkeit σ und Widerstand R für einen homogenen Leiter der Länge l und mit Querschnitt A ?

14. Wie entsteht eine komplexe, frequenzabhängige Dielektrizitätskonstante $\epsilon(\omega)$ in einem Metal?
15. Wie verhält sich die Dielektrizitätskonstante $\epsilon(\omega)$ bei der Plasmafrequenz ω_P ? Was passiert physikalisch bei $\omega = \omega_P$ und bei $\omega > \omega_P$?