

Übungen zur Theoretischen Physik C WS 05/06

PROF. M. VOJTA
DR. M. GREITER

Blatt 12
Besprechung 07.02.06

1. Invarianz der Wellengleichung (2 Punkte)

Gegeben sei die Wellengleichung

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) f(\vec{x}, t) = 0.$$

Zeigen Sie, dass die Gleichung invariant unter Lorentz-Transformationen ist.

2. Kovariante Formulierung der Elektrodynamik (10 Punkte)

Die kovariante Form der Lagrangedichte des elektromagnetischen Feldes lautet

$$\mathcal{L}(A_\rho, \partial_\sigma A_\rho) = -\frac{1}{4\mu_0} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - A_\mu j^\mu,$$

wobei j^μ eine von außen vorgegebene 4-Stromdichte ist.

(a) Leiten Sie mit Hilfe der Euler-Lagrangegleichungen

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial A_\mu} - \partial_\nu \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial_\nu A_\mu)} = 0$$

die Bewegungsgleichungen her. Verwenden Sie die Lorenzzeichnung, um die Bewegungsgleichungen als Wellengleichung für A_μ zu schreiben.

(b) Zeigen Sie, daß die Wirkung $S = \int d^4x \mathcal{L}$ invariant unter Eichtransformationen $A'_\mu = A_\mu + \partial_\mu \omega$ ist.

Hinweis: Nehmen Sie an, dass alle Felder im Unendlichen verschwinden und verwenden Sie die Kontinuitätsgleichung

(c) Der *Energie-Impuls-Tensor* des elektromagnetischen Feldes ist gegeben durch

$$T^{\mu\nu} = \frac{1}{\mu_0} \left(F^\mu{}_\lambda F^{\lambda\nu} + \frac{1}{4} g^{\mu\nu} F_{\rho\lambda} F^{\rho\lambda} \right).$$

Zeigen Sie, daß in Abwesenheit von Strömen und Ladungen gilt: $\partial_\mu T^{\mu\nu} = 0$.

(d) Drücken Sie die Komponenten T^{00} , T^{0i} , T^{ij} ($i, j = 1 \dots 3$) durch \vec{E} , \vec{B} aus.

(e) Zeigen Sie, daß die Gleichung $\partial_\mu T^{\mu\nu} = 0$ den Poyntingschen Satz und die Impulserhaltung für freie Felder beinhaltet.

(je 2 Punkte)

3. Lorentzkraft

(4 Punkte)

Auf eine Ladung q , die sich mit der Geschwindigkeit \vec{v} ($|\vec{v}| \ll c$) in einem statischen Magnetfeld \vec{B} bewegt, wirkt eine Lorentzkraft

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Wir nehmen an, daß \vec{v} konstant ist und senkrecht auf \vec{B} steht. Außerdem soll \vec{B} homogen sein. Gehen Sie mit Hilfe einer Boost-Transformation ins Ruhesystem der Ladung. Wodurch ergibt sich hier die Kraft auf die Ladung?

Die **Klausur** findet am

Donnerstag, den 09. Februar 2006, 17:45–19:45

im Hörsaal im Forum A und B (Audimax, Gebäude 30.95) statt. Zugelassene Hilfsmittel sind eine mathematische Formelsammlung und ein

in eigener Handschrift einseitig beschriebenes Din A4 Blatt,

auf dem Sie die wichtigsten Formeln der Elektrodynamik zusammenstellen sollten. Bitte bringen Sie Ihren Studentenausweis und ausreichend Papier zur Bearbeitung der Aufgaben mit.

Die Rückgabe der Klausuren sowie die Ausgabe der Übungsscheine erfolgt am Dienstag, den 14. Februar 2006. Für etwaige Rückfragen bezüglich der Korrektur sind die Tutoren der jeweiligen Gruppen zuständig. Insbesondere kann Einspruch gegen die Bewertung nur am 14. Februar 2006 bei der Klausurrückgabe erhoben werden. An diesem Tag nicht abgeholte Klausuren und Scheine können ab Mittwoch, den 15. Februar 2006 bei Frau Schrempp im Sekretariat 10.03 abgeholt werden.

Eine **Nachklausur** findet am

Mittwoch, den 26. April 2006, 15:45–17:45

im Gaede-Hörsaal (Gebäude 30.22) statt. Die Rückgabe der Nachklausur sowie die Ausgabe der weiteren Übungsscheine findet am Freitag, den 28. April, um 14:00 im Kafferaum 10.11 im 10. Stock des Physikhochhauses statt. Zu diesem Zeitpunkt nicht abgeholte Klausuren und Scheine können später bei Frau Schrempp in 10.04 abgeholt werden.