TE PHYSIK III
SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE
WS 2011/12

Allgemeines

Anfangszeit: 14:05 – 15:35
Übungen: 8 zweistd. Übungen
Termine: November 8, 15, 29
Dezember 13, 20
Januar 10, 24, 31
} 8 Termine

allgemeinere Version der SRT / "Baby"-Version in Physik I

Plan: Einleitung KM / ED
Lorentz-Transformation aus Raum-Zeit-Struktur + Forminvarianz
kovarianter Formalismus, ko + kontravariante 4 Vektoren
Minkowski-Raum, Metrik
Lagrange Formalismus für relativ. Teilchen
"Paradoxa der" SRT
Elektrodynamik in kovarianten Formalismus
Lagrange Formalismus für Felder, insb. für em Feld

Literatur:
Schwabenberg, Elektrodynamik Wiley 2003
Rebhan, Theoret. Physik I Spektrum 2000
Nolting, Band IV TD + SRT

Greiner / Rafelski: TP 3A Spez. Relativitätstheorie
Tsamparlis: Special relativity, Springer 2011 ~ 600 S
Schröder, Spezielle Relativitätstheorie
Goenner, Spezielle Relativitätstheorie und klass. Feldtheorie, Spektrum 2004

0. EINLEITUNG

SRT: Formulierung der Gesetze der Physik (ohne Gravitation!)
in Übereinstimmung mit Konstanz der Lichtgeschwindigkeit $c < \infty$
und dem Prinzip der Unabhängigkeit der physikal. Gesetze
von speziell gewählten Inertialsystem

SRT als Rahmentheorie aller physikalischen Theorien.

Inertialsystem: Bezugssystem in dem kräftefreie Körper
sich nur gradlinig gleichförmig bewegen kann
oder sich im Ruhezustand befindet.

Newton / Galilei: Raum $\sim \mathbb{R}^3$, Zeit $\sim \mathbb{R}$
absolut

Physik: Teilchen + Wechselwirkung
fundamentale WW:

gravitative WW $\rightarrow$ Newton Kraftgesetz $F \sim \frac{m_1 m_2}{r^2}$

elektromagn. WW $\rightarrow$ Coulomb Kraftgesetz $F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$

gravitative Wechselwirkung

- Massen m_i

Newton-Kraft

$$\vec F_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_i m_j}{|\vec r_i - \vec r_j|^3} (\vec r_i - \vec r_j)$$

Grav. Konstante

elektromagnet. Wechselwirkung

- Ladungen q_i

Coulomb-Kraft

$$\vec F_i = +K \sum_{j \neq i} \frac{q_i q_j}{|\vec r_i - \vec r_j|^3} (\vec r_i - \vec r_j)$$

K in SI: $K = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0}$

Newtonsche Gravitationstheorie: Bewegung von Teilchen unter grav. WW

$$m_i \ddot{\vec r}_i = -G \sum_{j \neq i} \frac{m_i m_j}{|\vec r_i - \vec r_j|^3} (\vec r_i - \vec r_j)$$

Gravitationspotential

$$\phi(\vec r) = -G \sum_j \frac{m_j}{|\vec r - \vec r_j|} = -G \int d^3 r' \, \frac{\rho(\vec r\,')}{|\vec r - \vec r\,'|}$$

mit Massendichte $\rho(\vec r) = \sum_j m_j \, \delta(\vec r - \vec r_j)$

$$dm = \rho(\vec r) \, d^3 r$$

Bahn von Teilchen

$$m \ddot{\vec r} = -m \nabla \phi \qquad (m_i = m, \ \vec r_i = \vec r)$$

$\rightarrow$ Feldgleichung für $\phi(\vec r)$

$$\nabla^2 \phi(\vec r) = 4\pi G \cdot \rho(\vec r)$$

Poisson Gl. für Gravitationsfeld.

muß später in Allgem. Relativitätstheorie neu gefaßt werden

Newtonsche Gravitationstheorie analog zu Elektrostatik

Woher kommt die Lichtgeschwindigkeit?

$$\nabla\cdot\vec{B} = 0\,, \quad \nabla\cdot\vec{E} = \rho/\varepsilon_0$$
$$\nabla\times\vec{B} = \mu_0\vec{J} + \mu_0\varepsilon_0\,\partial_t\vec{E}\,, \quad \nabla\times\vec{E} = -\partial_t\vec{B}$$

elektromagnet. Wellen: Warum ist $\mu_0\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$

betrachte Raumgebiet mit $\rho = 0\,, \vec{J} = 0$

$$\nabla\cdot\vec{B} = 0\,, \quad \nabla\cdot\vec{E} = 0$$
$$\nabla\times\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\,\partial_t\vec{E}\,, \quad \nabla\times\vec{E} = -\partial_t\vec{B}$$

rot · lhs $(\nabla\times\vec{E} = -\partial_t\vec{B}) \longrightarrow$

$$\nabla\times\nabla\times\vec{E} = \nabla\underbrace{(\nabla\cdot\vec{E})}_{=0} - \nabla^2\vec{E}$$

rot rhs $(\nabla\times\vec{E} = -\partial_t\vec{B})$

$$\nabla\times(-\partial_t\vec{B}) = -\partial_t(\nabla\times\vec{B}) = -\partial_t\,\mu_0\varepsilon_0\,\partial_t\vec{E}$$

$$\Rightarrow \quad \nabla^2\vec{E} = \mu_0\varepsilon_0\,\partial_t^2\vec{E}$$

funktionale Form einer Wellengleichung

analoge Betrachtung für $\nabla\times\vec{B} = ----$

$$\Rightarrow \quad \nabla^2\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\,\partial_t^2\vec{B}$$

allgemeine Struktur $\quad \frac{1}{u^2}\partial_t^2\vec{f} = \nabla^2\vec{f} \qquad \vec{f}:\ \vec{E}$ oder $\vec{B}$

skalare Version $\quad \frac{1}{u^2}\partial_t^2 f = \nabla^2 f$.

1dim Fall $\quad \frac{1}{u^2}\partial_t^2 f = \partial_x^2 f$.

Ansatz: $\quad f(x,t) = f_0\, e^{i(kx-\omega t)} + c.c.$

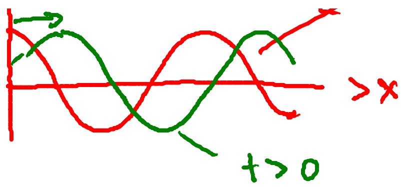
in 1d Wellengleichung:

$$-\frac{1}{u^2}\omega^2\,\cancel{f(x,t)} = -k^2\,\cancel{f(x,t)}$$

$$\omega = \pm\, uk\,, \qquad k = \text{Wellenzahl}, \quad \omega = \text{Kreisfrequenz}$$

$$f(x,t) = f_0\, e^{ik(x-ut)} + c.c.$$
$$\sim \cos[k(x-ut)]$$

$f(x,t)$ ↑ u $\qquad \sim \cos kx$ bei $t=0$



u als Propagationsgeschwindigkeit von ebener Welle

$$\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}} = c = \text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}$$
$$\sim 300000 \ \frac{km}{s}$$

Galilei Transformation auf Wellenlösung $\sim \cos[k(x-ut)]$ anwenden,

$$t = t'$$
$$x = x' + vt$$

Doppler Effekt

$$\to \quad \cos[k(x' - (c-u)t')]$$

Ergebnis widerspricht der Erfahrung / Experimenten, dass Lichtgeschwindigkeit in allen IS gleich ist.