Übungen zu Relativitätstheorie I im WS 2013

Aufgabe 1

Konstruieren Sie aus den Naturkonstanten G, $\hbar$ und c eine Länge, eine Zeit und eine Masse und geben Sie deren Werte in SI-Einheiten an. Bilden Sie weiters mit Hilfe dieser Konstanten eine Ladung und vergleichen Sie sie mit der Elementarladung.

Aufgabe 2

Eine ruhende und eine geradlinig gleichförmig mit Geschwindigkeit v bewegte Uhr zeigen die Zeit t bzw. $t' = t + \Delta t$ an. Setzen Sie $\Delta t/t = f(v)$ an und leiten Sie eine notwendige und hinreichende Bedingung an die Funktion f dafür her, dass Synchronisation durch langsamen Uhrentransport möglich ist.

Aufgabe 3

Für die zweite Uhr aus Aufgabe 2 sei auch eine (zeitabhängige) lineare Beschleunigung $b = d^2x/dt'^2$ zugelassen. Setzen Sie $dt'/dt = g(v, b)$. Wie verallgemeinert sich dann die Bedingung aus Aufgabe 2?

Aufgabe 4

Die Funktion $g(v, b)$ aus Aufgabe 3 sei als bekannt vorausgesetzt. Die zweite Uhr sei mit einem Beschleunigungsmesser ausgestattet. Erarbeiten Sie ein Protokoll, das es gestattet, diese Uhr zum Synchronisieren zu verwenden, auch wenn sie *beliebig* geradlinig bewegt wird.

Aufgabe 5

Ein Licht emittierendes Objekt habe relativ zu einem Beobachter eine Geschwindigkeit mit Betrag v und Winkel θ zur Sichtlinie. Die Lichtgeschwindigkeit c im Ruhsystem des Beobachters sei unabhängig von der Geschwindigkeit des Emitters, außerdem gelte $v < c$. Berechnen Sie die Radialgeschwindigkeit $\tilde{v}_r(v, \theta)$ und die Transversalgeschwindigkeit $\tilde{v}_t(v, \theta)$, mit der das Objekt dem Beobachter bewegt erscheint. Zeigen Sie insbesondere, dass $\tilde{v}_t > c$ möglich ist. Für welche Werte von v, θ ist das der Fall?

Aufgabe 6

Die Galileigruppe wurde in der Vorlesung durch 2 Invarianzeigenschaften (i) und (ii) charakterisiert. Wie verallgemeinert sich die Gruppe, wenn nur (i) oder nur (ii) vorausgesetzt wird?

Aufgabe 7

Verifizieren Sie die Galileikovarianz des Newtonschen Gravitationsgesetzes.

Aufgabe 8

Zeigen Sie, dass die freie Schrödingergleichung nicht galileikovariant ist.

Aufgabe 9

Wie muss die Wellenfunktion $\psi(t, \vec{x})$ unter einer Geschwindigkeitstransformation transformieren, damit die Schrödingergleichung galileikovariant wird? (Anleitung: Setzen Sie an $\psi'(t', \vec{x}') = f^{-1}\psi(t, \vec{x})$ und bestimmen Sie den Faktor f). Verifizieren Sie an Hand der Wellenfunktion $\psi = 1$, dass diese Modifikation physikalisch sinnvoll ist.