

1 Aufgaben die eher zu SRT passen

1.1 Falls man es noch nicht im Vortrag gesehen hat

Zeige die Energie-Impuls-Beziehung $E^2 = E_0^2 + (cp)^2$ mithilfe von $E = \gamma m_0 c^2$, $E_0 = m_0 c^2$ und $p = \gamma m_0 v$. Der *Lorentz-Faktor* γ ist definiert als $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

1.2 Noch ein Lorentz-Skalar

Sei $s^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2$ (wobei $\Delta t, \Delta x, \Delta y, \Delta z$ den zeitlichen und örtlichen Abstand zweier Ereignisse darstellen). Zeige, dass s^2 nur von den Ereignissen aber nicht vom Bezugssystem abhängt.

1.3 Eigentlich keine SRT-Aufgabe

- Ein sehr weit entfernter (relativ zu dir ruhender) Quasar stößt einen Jet mit der Geschwindigkeit v aus. Der Jet bewegt sich schräg auf dich zu. Der Winkel zwischen der Verbindungslinie zwischen dir und dem Quasar und dem Jet beträgt θ . Wie schnell scheint sich der Jet (senkrecht zu der Verbindungslinie zwischen dir und dem Quasar) zu bewegen (du beobachtest das ganze mit dem Teleskop)
- Bei welchem Winkel erscheint der Jet am schnellsten?
- Wie groß muss v/c mindestens sein damit es ein θ gibt, sodass sich der Jet mit Überlichtgeschwindigkeit zu bewegen scheint?

1.4 IPhO 2010 3. Runde (leicht abgewandelt)

Es treffe ein Lichtstrahl auf ein Raumschiff B , das sich relativ zu Raumschiff A mit der Geschwindigkeit v in x -Richtung bewegt. A beobachtet dabei einen Winkel von α zwischen dem Lichtstrahl und der x -Achse ($\alpha < 90^\circ$ bedeutet, dass der Lichtstrahl aus negativer x -Richtung kommt). B beobachtet dagegen einen Winkel von α' . Berechne α' in Abhängigkeit von α , v und c .

Tipp: Berechne, wie schnell sich der Lichtstrahl von beiden Beobachtern aus gesehen in x -Richtung bewegt.

1.5 Dopplereffekt

Eine Lichtquelle, die Licht mit einer Frequenz f (in ihrem Bezugssystem gemessen) abstrahlt, bewegt sich auf dich zu. Welche Frequenz f' misst du?

1.6 IPhO 2007, 3. Runde

A beobachtet, wie ein von rechts oben kommender Lichtstrahl auf einen senkrechten Spiegel trifft, der sich mit der Geschwindigkeit v nach rechts bewegt. Der Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und der Horizontalen ist α . Berechne den Winkel δ zwischen dem reflektierten Strahl und der Horizontalen.

1.7 Gleichzeitig?

Betrachte zwei Ereignisse E_1 und E_2 die bezüglich eines gegebenen Inertialsystems die Koordinaten (t_1, x_1) und (t_2, x_2) haben. Es sei $t_1 < t_2$, d. h. E_1 findet früher statt als E_2 . Nimm zudem an dass $x_2 > x_1$. Zeige:

- (a) Es gibt eine Lorentz-Trafo, die die beiden Ereignisse auf die gleiche *Zeit* transformiert (d. h. $t'_1 = t'_2$) genau dann wenn ihre Koordinaten die Bedingung $c^2(t_1 - t_2)^2 - (x_1 - x_2)^2 < 0$ erfüllen.
- (b) Es gibt eine Lorentz-Trafo, die die beiden Ereignisse auf den gleichen *Ort* transformiert (d. h. $x'_1 = x'_2$) genau dann wenn ihre Koordinaten die Bedingung $c^2(t_1 - t_2)^2 - (x_1 - x_2)^2 > 0$ erfüllen.

1.8 IPhO 2011, 4. Runde (braucht ein wenig Kenntniss von Elektrodynamik)

In einem Undulator bewegt sich ein Elektron mit Geschwindigkeit v auf einer sinusförmigen Bahn der Periodenlänge λ_u . Es emittiert eine Strahlung, die in Vorwärtsrichtung gebündelt ist und deren Wellenlänge λ im Laborsystem näherungsweise durch die Formel $\lambda \approx \lambda_u/2\gamma^2$ mit $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ Leite diese Formel unter Verwendung geeigneter Näherungen her

2 Aufgaben die eher zu relativistische Teilchenphysik passen

2.1 Compton-Streuung

Ein Photon treffe auf ein ruhendes Elektron und werde von diesem um einen Winkel ϕ gestreut. Berechne, um wie viel sich die Wellenlänge des Photons erhöht. **Tipp:** Wende Energie- und Impulserhaltung bei dem Stoß an und verwende $E_\gamma = cp_\gamma = hc/\lambda$ für die Photonen.

2.2 IPhO 2011, 3. Runde

Ein Positron bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 180000 km s^{-1} und trifft auf ein ruhendes Elektron. Die beiden Teilchen vernichten sich und es entstehen zwei Photonen. Eines davon fliegt senkrecht zur Bewegungsrichtung des Positrons davon. Bestimmen Sie den Winkel zur ursprünglichen Bewegungsrichtung des Positrons, unter dem das zweite Photon emittiert wird, sowie die Wellenlängen der beiden Photonen.

2.3 Zwillingen, „paradoxon“ (schwierig)

Sepp und Hans sind Zwillinge.4

- (a) Der Hans befindet sich in einem Raumschiff, das so beschleunigt, dass er ständig sein normales Erdgewicht spürt (d.h. er misst die Raumschiffbeschleunigung g). Berechne seine Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, gemessen von der Erde (das Raumschiff starte zur Zeit 0 bei $x = 0$)

Tipp: Betrachte ein Inertialsystem, das sich zu einem Zeitpunkt t mit dem Raumschiff mitbewegt. In diesem gelten alle Gesetze der Mechanik. Die errechnete Beschleunigung aus diesem System kann man dann in das Erdsystem transformieren.

- (b) Berechne seinen Ort in Abhängigkeit von der Zeit.
- (c) Hans fliegt von der Erde weg und kommt danach wieder zurück. Dazu wird er zuerst eine Zeit T lang von der Erde weg beschleunigt, dann $2T$ zur Erde hin beschleunigt und schließlich wieder T von der Erde weg beschleunigt, sodass er immer sein normales Erdgewicht spürt und am Schluss (nach $4T$) zum Stillstand kommt. Wie lange musste sein Bruder inzwischen warten?

Hinweis: $\int_0^T \frac{dt}{\sqrt{1+g^2t^2}} = \frac{c}{g} \operatorname{arsinh} \frac{gT}{c}$