

Übungen zum physikalischen Ergänzungsfach

Serie 5: Vorbereitung der Prüfung zur SRT

In dieser Serie dienen sämtliche Aufgaben der Prüfungsvorbereitung. **Die Serie muss daher nicht abgegeben werden.**

Die Prüfung ist ein Querschnitt durch die Aufgabenserien 1 bis 4. **Dabei klammere ich die o- und oo-Aufgaben explizit aus.** Ebenso braucht ihr die folgenden Aufgaben **sicher nicht** nochmals anzuschauen:

- Serie 1: Aufgaben 2, 3 und 7.
- Serie 2: Aufgaben 3 und 8.
- Serie 3: Aufgaben 5, 6 und 7.
- Serie 4: Aufgabe 1.

Beim Rest der Aufgaben könnte sich eine nochmalige Betrachtung ev. lohnen, einfach um zu repetieren.

Die Prüfungsfragen werden nicht ausufernd sein, sondern relativ zielgerichtet abfragen, ob ihr euch ein grundlegendes Verständnis zur SRT erarbeitet habt und die elementaren Rechenarten dazu kennt und anwenden könnt. Zu Letzteren gehören einfache Rechnungen mit der Zeitdilatation und der Längenkontraktion, der Lorentztransformation und der relativistischen Geschwindigkeitsaddition. In einfachen Fällen solltet ihr auch ein Minkowski-Diagramm zeichnen oder interpretieren können.

Weiteres zu den Prüfungsmodalitäten:

- Dauer: 50 Minuten (60min mit NAM) gleich zu Beginn des Nachmittags.
- Hilfsmittel: TR, persönliches Übersichtsblatt A4 duplex. Was drauf ist, ist mir egal, aber ihr müsst dieses Blatt selber für euch erstellt haben.

Die nun folgenden Aufgaben sind alle so formuliert, wie ich das auch bei der Prüfung zu machen gedenke. Ihr könnt sie also als Richtschnur für die Art der Prüfungsaufgaben nehmen. Die Übungsserie ist aber deutlich umfangreicher als die Prüfung selber, damit ihr sicher über hinreichend viel Übungsmaterial verfügt. Die •-Aufgaben sind relativ "straight forward", während die ••-Aufgaben kniffliger sein dürften.

1. • Zeitdilatiertes Schläfchen

Ein Raumschiff bewegt sich mit der Geschwindigkeit $\beta = \frac{12}{13}$ relativ zur Erde. Die in dem Raumschiff befindlichen Astronauten melden sich für 1 Stunde bei ihrer Bodenstation ab, um ein Schläfchen zu halten, versprechen aber, sich gleich danach zurückzumelden. Wie lange dauert das einstündige Schläfchen im Bezugssystem der Erde?

2. • Die Länge eines sich bewegenden Meterstabes

Ein Stab mit einer Eigenlänge von 1.00 m bewegt sich parallel zu seiner Länge mit der Geschwindigkeit v relativ zu einem Beobachter. Entsprechend den Messungen des Beobachters beträgt die Länge des Stabs 0.914 m. Wie groß ist die Geschwindigkeit v ?

3. • Minkowski und Lorentz...

Die zwei Inertialsysteme S und S' befinden sich in Standardorientierung, wobei sich S' von S aus gesehen mit $v = \frac{3}{5}c$ bewegt.

- Berechne und konstruiere in einem Minkowski-Diagramm in S' die Raumzeitkoordinaten (t', x') für die vier Ereignisse, die in S 4.0 LJ links resp. rechts des Ursprungs und 2.0 J in der Vergangenheit resp. in der Zukunft liegen.
- Wo liegen im Minkowski-Diagramm alle Ereignisse, die bezüglich des Ursprungseignisses O mit $(t, x) = (t', x') = (0, 0)$ in S zur Zukunft, aber in S' zur Vergangenheit gehören?

4. • *Star Trek und Relativitätstheorie*

Angenommen, eine Schlagzeile meldet, dass das Raumschiff Enterprise soeben von einer 5-jährigen Reise mit der Geschwindigkeit $0.84c$ zurückgekehrt ist.

- (a) Wenn in der Schlagzeile 5 Erdjahre gemeint sind, wie viel Zeit ist auf dem Raumschiff vergangen?
- (b) Wenn in der Schlagzeile 5 Raumschiffjahre gemeint sind, wie viel Zeit ist auf der Erde vergangen?

5. • *Überholender Meteor*

Von der Erde aus beobachten wir die folgende Situation: Ein Raumschiff fliegt mit 33 % der Lichtgeschwindigkeit und wird von einem Meteor mit $0.5c$ überholt.

- (a) Wie schnell ist der Meteor im Bezugssystem des Raumschiffs?
- (b) Welche Geschwindigkeit hat das Raumschiff aus der Sicht des Meteors?

6. • *Hochenergie-Physik in der Milchstrasse*

Unsere Galaxis hat einen Durchmesser von 105 000 Lichtjahren. Die höchste bekannte Energie von Partikeln beträgt etwa 10^{19} eV. Wie lange braucht ein Proton mit dieser Energie, um die Milchstraße zu durchqueren, und zwar bezogen auf das Zeitmaß des Ruhesystems . . .

- (a) der Galaxis? Gib die Antwort in einer passenden Zeiteinheit an.
- (b) des Teilchens? Dito, was die Zeiteinheit angeht.
- (c) Welchen Durchmesser besitzt die Milchstrasse aus der Sicht des Protons? Gib die Antwort in AE an (1 AE = 1 Astronomische Einheit = Abstand Sonne–Erde = $150\,000\,000$ km).

Hinweis: Die Energie eines hochenergetischen Teilchens hängt mit dem Lorentzfaktor γ zusammen:

$$E = \gamma m_0 c^2$$

Dabei ist m_0 die Masse des ruhenden Teilchens. Im Falle des Protons beträgt sie $1.672 \cdot 10^{-27}$ kg.

Hinweis 2: Rep. Kernphysik: Ein eV (= Elektronvolt) ist eine Energieeinheit mit Betrag

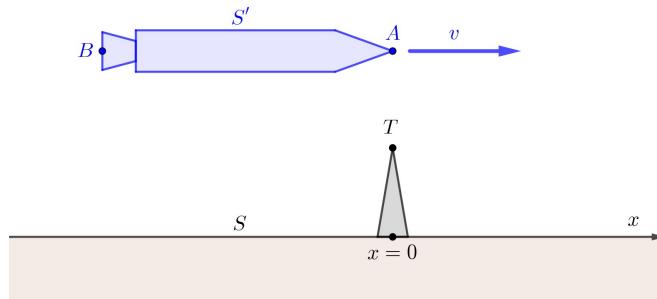
$$1 \text{ eV} = \underbrace{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}_{=e} \cdot \text{V} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (\text{C} \cdot \text{V} = \text{J})$$

7. • *Diverse Verständnisfragen*

- (a) Du befindest dich auf einem Raumschiff, das sich mit $0.5c$ von einem Stern entfernt. Mit welcher Geschwindigkeit passiert dich das Licht des Sterns?
- (b) Finden zwei Ereignisse, die für den einen Beobachter am selben Ort und zur selben Zeit stattfinden, auch für einen zweiten Beobachter gleichzeitig statt, der sich relativ zum ersten bewegt?
- (c) Der Effekt der Zeitdilatation wird manchmal so umschrieben: "bewegte Uhren laufen langsamer". Tatsächlich hat dieser Effekt aber nichts damit zu tun, dass die Bewegung die Funktionsweise der Uhren beeinflusst. Womit hat es dann zu tun?
- (d) Eine jung aussehende Astronautin ist gerade von einer langen Reise nach Hause gekommen. Sie eilt auf einen alten, grauhaarigen Mann zu und in der Unterhaltung stellt sich heraus, dass er ihr Sohn ist. Wie ist das (theoretisch) möglich?
- (e) Würdest du eine Veränderung an deinem Herzschlag feststellen, wenn du dich mit der $0.75c$ von der Erde entfernen würdest? Würde sich deine Größe oder dein Tailenumfang verändern?
- (f) Treten Zeitdilatation und Längenkontraktion bei alltäglichen Geschwindigkeiten auf, z.B. $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?

8. •• *Der Vorbeiflug eines Raumschiffs*

Ein Raumschiff der Eigenlänge $\ell' = 600\text{ m}$ bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 0.8c$ relativ zu einem Bezugssystem S . Die Spitze des Schiffes (A) passiert den Punkt T im System S zum Zeitpunkt $t = t' = 0$ und in diesem Augenblick wird von A nach B ein Lichtsignal L ausgesandt.



- (a) Skizziere ein ungefähres Minkowski-Diagramm mit den Weltlinien von Punkt T , Raumschiffspitze A , Raumschiffende B und Lichtsignal L .
 Welche Wahl der Einheiten auf den Achsen ist geschickt?
- (b) Wann (nach Raumschiffzeit t') erreicht dieses Signal das Schiffsende B ?
- (c) Zu welchem Zeitpunkt (t_1 , gemessen in S) erreicht das Signal das Schiffsende B ?
- (d) Zu welchem Zeitpunkt (t_2 , gemessen in S) erreicht das Schiffsende B den Punkt T ?

9. •• *Pionenzerfall*

In Ruhe beträgt die mittlere Lebensdauer eines sogenannten Pions $2.6 \cdot 10^{-8}\text{ s}$.

Wie schnell muss ein durchschnittliches Pion fliegen, damit es vor seinem Zerfall eine Strecke von 15 m zurückgelegt hat?

10. •• *Lorentztransformation, Zeitdilatation und Längenkontraktion*

Hinweis: Arbeitet hier zur Verdeutlichung der Fragen von Anfang an mit Minkowski-Diagrammen!

- (a) Zwei Ereignisse E_1 und E_2 finden in einem Inertialsystem am gleichen Ort statt. Sie sind durch ein Zeitintervall von 4 s getrennt. Berechne den räumlichen Abstand der beiden Ereignisse in einem anderen Inertialsystem, in dem die beiden Ereignisse durch ein Zeitintervall von 6 s getrennt sind.
- (b) Zwei Ereignisse E_1 und E_2 finden im Inertialsystem S gleichzeitig statt. Sie sind durch eine Strecke von 1 km in Richtung der x -Achse voneinander getrennt. Berechne das Zeitintervall zwischen diesen beiden Ereignissen in einem System S' , das sich mit konstanter Geschwindigkeit in die x -Richtung bewegt, und in dem die räumliche Trennung der Ereignisse 2 km beträgt.

11. •• Mehr Aufgaben mit "Raumschiffchen"

- (a) Ein Raumschiff der Eigenlänge $\ell' = 900\text{ m}$ bewegt sich relativ zu einer Raumstation mit der Geschwindigkeit $\beta = 0.6$. An seiner Spitze ist ein Radioempfänger installiert. Von der Raumstation wird genau in dem Moment, da das Ende des Raumschiffs an der Raumstation vorbei fliegt, ein Radioimpuls ausgesandt.
- Wie weit ist die Spitze der Rakete von der Raumstation in dem Augenblick entfernt, da das Radiosignal von der Station die Spitze erreicht?
 - Wie groß ist nach Raumstationszeit das Zeitintervall zwischen Ankunft des Signals und seiner Aussendung von der Station?
 - Bestimme dieses Zeitintervall für das Ruhesystem des Raumschiffes.
- Tipp:** Falls das alles zu verwirrlt ist, könnte allenfalls ein Minkowski-Diagramm zur Klärung helfen.
- (b) Zwei Raumschiffe – beide haben in ihrem eigenen Ruhesystem die Länge 900 m – begegnen sich. Die Instrumente im Raumschiff A registrieren, daß die Spitze des Raumschiffes B $5.00 \cdot 10^{-6}\text{ s}$ braucht, um die volle Länge von A zurückzulegen.
- Bestimme die Relativgeschwindigkeit der beiden Raumschiffe.
 - Eine Uhr an der Spitze des Raumschiffes B startet genau dann, wenn diese Spitze die Spitze von Raumschiff A passiert. Welche Zeit zeigt die Uhr, wenn das Ende von Raumschiff B das Heck von A passiert?
- (c) Zwei Raumschiffe, die im Ruhezustand jeweils 100 m lang sind, bewegen sich aufeinander zu, wobei jedes Raumschiff relativ zur Erde mit einer Geschwindigkeit von $\beta = 0.85$ fliegt.
- Welche Länge haben die beiden Raumschiffe aus Sicht eines Beobachters auf der Erde?
 - Wie schnell fliegen die beiden Raumschiffe aus Sicht eines Beobachters im jeweils anderen Raumschiff?
 - Wie lang ist für einen Beobachter in dem einen Raumschiff das andere Raumschiff?
 - Zum Zeitpunkt $t = t' = t'' = 0$ (Systeme Erde, Raumschiff 1, Raumschiff 2) "treffen" sich die beiden Raumschiffspitzen (bei $x = x' = x'' = 0$) und die Raumschiffe beginnen, aneinander vorbeizufliegen. Zu welchen Zeitpunkten sind die beiden Raumschiffe in den verschiedenen Bezugssystemen vollständig aneinander vorbeigeflogen?