Spezielle Relativitätstheorie

Einsteinsche Postulate, Zeitdilatation, Längenkontraktion und relativistische Energie

Bearbeite die folgenden Aufgaben zur speziellen Relativitätstheorie. Verwende für die Lichtgeschwindigkeit $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Notiere Rechenwege vollständig und gib Ergebnisse mit sinnvoller Genauigkeit und Einheit an. Bearbeitungszeit ca. 90 Minuten.

1 Formuliere die beiden Einsteinschen Postulate der speziellen Relativitätstheorie.

2 Entscheide, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind.

	richtig	falsch
Die Lichtgeschwindigkeit ist in allen Inertialsystemen gleich groß.	☐	☐
Zwei Ereignisse, die in einem Inertialsystem gleichzeitig sind, sind in jedem anderen Inertialsystem ebenfalls gleichzeitig.	☐	☐
Eine bewegte Uhr geht aus Sicht eines ruhenden Beobachters langsamer.	☐	☐
Die Eigenzeit ist die längste zwischen zwei Ereignissen messbare Zeit.	☐	☐
Die Ruhemasse eines Teilchens ist eine invariante Größe.	☐	☐
Ein massebehaftetes Teilchen kann durch Energiezufuhr exakt auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.	☐	☐

3 Der Faktor $\gamma = 1/\sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ heißt _____ . Er ist stets _____ als 1 für $v > 0$. Die im Ruhesystem eines Objekts gemessene Zeit zwischen zwei Ereignissen nennt man _____ . Die im Ruhesystem gemessene Länge eines Objekts heißt _____ .

4 Ein Raumschiff bewegt sich mit $v = 0{,}8c$. Welchen Wert hat der Lorentzfaktor γ?

- ☐ $\gamma \approx 1{,}25$
- ☐ $\gamma \approx 1{,}67$
- ☐ $\gamma \approx 0{,}60$
- ☐ $\gamma \approx 2{,}29$

5 Ein Myon entsteht in der oberen Atmosphäre und bewegt sich mit v = 0,995c relativ zur Erde. Seine Eigenlebensdauer beträgt τ_0 = 2,2 µs. Berechne die Lebensdauer aus Sicht eines Beobachters auf der Erde und die dabei (im Erdsystem) zurückgelegte Strecke.

6 Erkläre, wie sich derselbe Sachverhalt (Myon erreicht Erdoberfläche) aus dem Ruhesystem des Myons beschreiben lässt. Welcher relativistische Effekt tritt hier auf?

7 Berechne den Lorentzfaktor γ für die folgenden Geschwindigkeiten (gerundet auf zwei Nachkommastellen).

a) v = 0,1c → _____ b) v = 0,5c → _____

c) v = 0,9c → _____ d) v = 0,99c → _____

8 Ordne den physikalischen Größen die richtige Formel bzw. Beschreibung zu.

1. Zeitdilatation	____	A) $E = \gamma \cdot m \cdot c^2$
2. Längenkontraktion	____	B) $E_0 = m \cdot c^2$
3. Relativistische Gesamtenergie	____	C) $\ell = \ell_0 / \gamma$
4. Ruheenergie	____	D) $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$
5. Relativistischer Impuls	____	E) $p = \gamma \cdot m \cdot v$

9 Ein Elektron (Ruhemasse $m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg) wird auf $v = 0{,}98c$ beschleunigt. Berechne seine Gesamtenergie und seine kinetische Energie in Joule sowie in MeV (1 MeV = $1{,}602 \cdot 10^{-13}$ J).

10 Warum kann ein massebehaftetes Teilchen die Lichtgeschwindigkeit nicht erreichen?

- ☐ Für $v \to c$ geht der Lorentzfaktor γ gegen unendlich.
- ☐ Die benötigte Energie zur Beschleunigung würde gegen unendlich gehen.
- ☐ Die Ruhemasse des Teilchens würde negativ werden.
- ☐ Der relativistische Impuls $p = \gamma \cdot m \cdot v$ wächst unbegrenzt.
- ☐ Die Lichtgeschwindigkeit ist nur für Photonen physikalisch definiert.

11 Beim Zwillingsparadoxon fliegt ein Zwilling mit hoher Geschwindigkeit zu einem fernen Stern und zurück, während der andere auf der Erde bleibt. Erkläre, warum der reisende Zwilling bei der Rückkehr jünger ist, und löse den scheinbaren Widerspruch auf.

12 Nenne und beschreibe kurz zwei experimentelle Bestätigungen der speziellen Relativitätstheorie.