

Übungen zum EF Physik des 20. Jahrhunderts

Serie 4: Aufgaben zur Zeitdilatation

1. Futuristische Lebensmittelkonservierung

Ein Joghurt ist im Kühlschrank 2 Wochen nach seiner Herstellung ungeniessbar geworden. Wie schnell müsste man den Kühlschrank samt Joghurt herumfliegen lassen, damit das Joghurt nach einem Jahr (= 52 Wochen) gerade noch geniessbar ist?

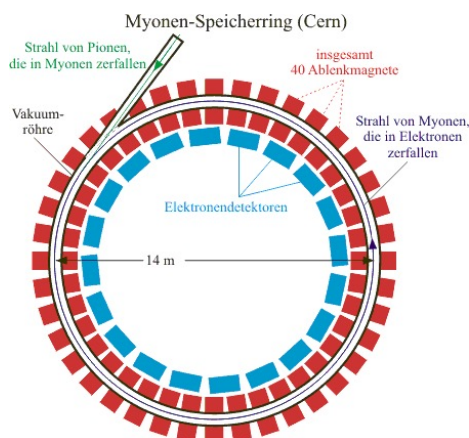
2. Nachberechnungen zur Theorie

- (a) Im Text zur Herleitung der Zeitdilatation haben wir bei ii. den Zeitpunkt $t = 0.5 \text{ ns}$ betrachtet. Welche Uhrzeit hätte dort für t' angegeben sein können?
- (b) Bei iii. wurde ohne Begründung behauptet, dass im S -System die Zeit $t = 0.625 \text{ ns}$ erreicht ist. Zeige, dass dies zutrifft und dass die Lichtuhr L' dann tatsächlich bei $x = 11.25 \text{ cm}$ vorbeikommt.

3. Myonen im Speicherring

Im Experiment von Rossi und Hall (1941) haben wir gesehen, dass sich die *Halbwertszeit* instabiler Teilchen aufgrund der Zeitdilatation verlängert, wenn sie sich relativ zu uns bewegen. Das gilt natürlich nicht nur für die schnellen Myonen in der kosmischen Strahlung, sondern auch für solche, die wir in einem *Speicherring* mit hoher Geschwindigkeit mittels der Lorentzkraft in einem Magnetfeld auf einer Kreisbahn halten. Dieses Experiment wurde 1975 zur präziseren Untermauerung der Relativitätstheorie am CERN durchgeführt. Dabei waren die Myonen mit 99.94 % der Lichtgeschwindigkeit unterwegs.

Die ruhenden Myonen haben eine Halbwertszeit von $T_{1/2} = 1.52 \mu\text{s}$. Wie gross ist denn die Halbwertszeit eines Myons im Speicherring aus der Sicht der Experimentator:innen?



4. Die Grösse der Lichtgeschwindigkeit

“7.5-mal um die Erde in einer Sekunde” – Ja, so gross ist die Lichtgeschwindigkeit. Hier aber noch eine andere Verdeutlichung, wie gross c ist. . .

Angenommen, wir könnten einen Stein fallen lassen und er würde dann beliebig lange mit der Fallbeschleunigung von $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigen. Wie lange müssten wir warten, bis der Stein Lichtgeschwindigkeit erreicht hat? Gib das Resultat in einer anschaulichen Zeiteinheit an!

5. *Nochmals zu den grundlegenden Prinzipien der SRT...*

Einstein beschäftigte sich in seiner Jugend unter anderem mit folgendem Problem: Ein Läufer betrachtet sich in einem Spiegel, den er vor sich her trägt. Kann er sich darin normal sehen, wenn er fast Lichtgeschwindigkeit läuft?

6. *Eigenzeit I*

Wie gross ist die Eigenzeit eines Vorgangs, der in einem anderen (z.B. unserem) Inertialsystem 10 s dauert und dabei $1.0 \cdot 10^6$ km zurücklegt?

Wie sieht es aus bei 10 s und $3.0 \cdot 10^6$ km bzw. 10 s und $5.0 \cdot 10^6$ km?

7. *Zum Verständnis der Zeitdilatation*

“Wenn ich in einem sehr schnellen Zug ein Buch lese, so unterliege ich der Zeitdilatation und habe daher mehr Zeit für meine Lektüre.” Wo liegt der grundlegende Verständnisfehler in diesem Gedankengang?

8. *Wissenschaftlicher Austausch zwischen den Welten*

Eine ausserirdische Zivilisation lebe auf ihren beiden Heimplaneten *Caprica* und *Kobol*, welche relativ zueinander ruhen und in ihrem Eigensystem einen Abstand von 57.2 Lichttagen aufweisen.

Die ausserirdischen Wissenschaftler haben bereits früh fantastische Fortschritte in der Raumfahrttechnik erzielt, dafür aber erst kürzlich die Radioaktivität entdeckt...

Ein Wissenschaftler auf *Kobol* möchte seinem Kollegen auf *Caprica* eine Probe P-32 zustellen. Er hat in seinem Labor bereits die Halbwertszeit dieses Phosphor-Isotops ermittelt: 14.3 Tage.

Welchen Prozentsatz der ursprünglichen Probe erhält der Kollege auf *Caprica* noch im unzerfallenen Zustand, wenn das Transportraumschiff im System der Planeten konstant mit 80 % der Lichtgeschwindigkeit unterwegs ist?

Tipp: Bestimme zuerst die Flugzeit des Raumschiffs im Planetensystem.

9. *“TPV – Train à Petite Vitesse”*

Der *TGV – Train à Grande Vitesse* – fährt mit einer Reisegeschwindigkeit von $350 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ an einem Bahnhof vorbei. Wie viel Zeit **mehr** vergeht aus der Perspektive des Bahnhofsvorstehers auf der Bahnhofsuhr, wenn aus seiner Sicht auf der Borduhr des Zuges genau 15 min verstreichen?

Tipp: Die Taylorentwicklung des Lorentzfaktors lautet für $v \ll c$:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$$

10. *Eigenzeit II*

Wie schnell müsste ein Raumschiff fliegen, um in einem Jahr Eigenzeit den Stern *Proxima Centauri* (4.2 LJ), den Stern *Mizar* (83 LJ) bzw. den *Polarstern* (448 LJ) zu erreichen? Gib die Resultate als Prozentsatz der Lichtgeschwindigkeit an.

Hinweis: Ein Lichtjahr (LJ) ist die Strecke, die das Licht im Vakuum während einem Jahr (a) zurücklegt. Natürlich lässt sich das in Meter umrechnen:

$$1 \text{ LJ} = c \cdot 1 \text{ a} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 9.46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Für unsere Zwecke ist es aber oft sinnvoller, das Lichtjahr einfach als $c \cdot 1 \text{ a}$ stehen zu lassen, weil sich die Lichtgeschwindigkeit c bei vielen Fragestellungen wegekürzt. Probiere das bei dieser Aufgabe aus! Rechne unbedingt formal und setze erst ganz zum Schluss die Angaben ein! (Verwende auch: $v = \beta \cdot c$.)