Die Reise von Alice

Zeitreisen sind Thema von vielen science-fiction Filmen. Es gibt allerdings experimentelle Hinweise auf Phänomene, die die Zeitdilatation bestätigen. Als Beispiel betrachten wir Myonen, die in der oberen Schicht der Atmosphäre erzeugt werden. Nach den klassischen Theorien müssten die Myonen fast vollständig zerfallen, bis sie die Erdoberfläche erreichen; aber man kann auch auf Meeresniveau zahlreiche Myonen nachweisen. Die spezielle Relativitätstheorie kann dieses Phänomen erklären.

Wie bereits erwähnt, wurden wohl viele Autoren von science fiction Filmen von der speziellen Relativitätstheorie inspiriert und haben oft mit der Vorstellung von Zeitmaschinen geliebäugelt.

Betrachten Sie nun folgende Situation:

Alice startet, als sie 18,5 Jahre alt ist, mit einem sehr schnellen Raumschiff von der Erde, wo sie ihren jüngeren Bruder Daniel am Tag seines 16. Geburtstags hinterlässt. Alice reist für ein Jahr, sie kommt nach genau 365 Tagen zurück, ist dann also 19,5 Jahre alt. Als sie allerdings auf der Erde ankommt findet sie heraus, dass ihr Bruder Daniel seinen 21. Geburtstag feiert (Sie können also annehmen, dass dieser um 5 Jahre gealtert ist). Der Einfachheit halber nehmen Sie an, dass das Raumschiff seine Reisegeschwindigkeit in extrem kleinen Zeitintervallen erreicht und ebenso schnell abbremsen kann. Unter diesen Annahmen wird ihr gesamter Flug mit konstanter Geschwindigkeit absolviert.

Beantworten Sie folgende Fragen, auch mittels quantitativer Betrachtungen, indem Sie auf die spezielle Relativitätstheorie Bezug nehmen:

1. Erklären Sie, wie es möglich ist, dass die in den oberen Schichten der Atmosphäre erzeugten Myonen das Meeresniveau erreichen können.
2. Klären Sie ab, ob die Reise von Alice, wie oben beschrieben, prinzipiell (?? concettualmente) möglich ist.
3. Prinzipiell könnte man Alices Raumschiff als “Zeitmaschine” benutzen. Beschreiben Sie die (?? condizioni di effettiva realizzabilita) Bedingungen, unter denen dies praktisch möglich ist und nennen Sie mindestens eine physikalische und eine technische Hürde für dieses Vorhaben.

Entwickeln Sei die Antwort mit den im Unterricht behandelten Inhalten und mit den Informationen aus der Angabe. Sie können auch, falls Sie es für notwendig erachten, zusätzliche Annahmen treffen, sofern sie mit der Angabe vereinbar sind.

### Nützliche Daten:

Die mittlere Lebensdauer (in Ruhe) eines Myons ist $2,2⋅10^{-6} s$, seine Ruhemasse beträgt $105,7 MeV/c²$. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt $3⋅10^{8} m/s$, die Ladung eines Elektrons ist $1,602⋅10^{-19} C$. Für die mittlere Erdbeschleunigung können Sie $g=9,81 m/s²$ annehmen. Die maximale Geschwindigkeit des Raumschiffs mit Besatzung sei ungefähr $40000 km/h$; die Geschwindigkeit der in der Atmosphäre (in einer Höhe von $h=9,0⋅10^{3} m$) erzeugten Myonen sei $v=0,998⋅c$. Zwei typische Treibstoffe für Raketen sind Kerosin oder Wasserstoff, die einen Brennwert von $46,2 MJ/kg$ bzw. $141,8 MJ/kg$ haben.

LÖSUNG

1. Mit $Δt'=2,2⋅10^{-6}s$, der mittleren Lebensdauer der Myonen könnten diese - klassisch gesehen - auch mit Lichtgeschwindigkeit maximal eine Distanz von $d=c⋅Δt'=6,6⋅10^{2}m=660m$ zurücklegen.

Beobachter auf der Erde: Da sich die Myonen mit $v=0,998c$ bewegen, wird die

mittlere Lebensdauer für einen Beobachter auf der Erde

$Δt=γ⋅Δt'=\frac{2,2⋅10^{-6}s}{\sqrt{1-0,998^{2}} }=3,5⋅10^{-5}s .$

Um eine Höhe von $9,0⋅10^{3}m$ zurückzulegen, benötigen die Myonen eine Zeit von

$Δt\_{h}=\frac{9,0⋅10^{3}}{0,998⋅3⋅10^{8}}s=3,0⋅10^{-5}s$.

Da $Δt\_{h}<Δt\_{}$, können die Myonen die Meereshöhe erreichen.

Bewegter Beobachter: Im Ruhesystem der Myonen erscheint die zu durchlaufende

Höhe Lorentz kontrahiert und ist

$h'=\frac{h}{γ}=\sqrt{1-0,998^{2}}⋅9,0⋅10^{3}m=568,92m≈570m$.

Aus Sicht der Myonen können sie während ihrer Lebensdauer eine Distanz von

 $d=0,998⋅c⋅Δt'=658,68m>h'$ zurücklegen.

Beide Beobachter schließen also, dass die Myonen das Meeresniveau erreichen

können.

1. Die beschriebene Situation ist bekannt als das Zwillingsparadoxon, das ursprünglich zur Entkräftung der speziellen Relativitätstheorie dienen sollte. Da es kein bevorzugtes Bezugssystem geben kann, könnte man sich auch in das Ruhesystem von Alice setzen und Daniels Bezugssystem als bewegt betrachten. Unter diesen Bedingungen würde Daniels Eigenzeit langsamer verlaufen und er wäre (noch) jünger. In Wahrheit ist die Situation nicht symmetrisch: Die Asymmetrie ist bedingt durch die Beschleunigungsphasen, die Alice gezwungenermaßen durchlaufen muss, um auf Reisegeschwindigkeit zu kommen, zu bremsen, in die Gegenrichtung zu beschleunigen und wieder zu bremsen. Aus diesem Grund ist Alices Bezugssystem kein Inertialsystem, weshalb man eigentlich die allgemeine Relativitätstheorie zur Betrachtung heranziehen müsste.

 Trotzdem können wir - unter den Annahmen der Angabe (vernachlässigbar kurze

Beschleunigungsphasen) - den Lorentzfaktor für Alice berechnen. Mit $Δt=5y$ und

$Δt'=19,5y-18,5y=1y$ findet man $γ=\frac{Δt}{Δt'}=5$. Dies nutzt man nun zur

Bestimmung von $β$ bzw. $v$: $β=\sqrt{1-\frac{1}{γ^{2}}}≈0,98$, woraus folgt $v≈0,98⋅c$ .

Unter diesen Gesichtspunkten könnte man schon sagen, dass Alice in die Zukunft

reist. Nichtsdestotrotz würde der Verlauf der Reise - wie oben beschrieben -

Phasen so großer Beschleunigungen beinhaltet, die so wohl nicht auszuhalten wären

(??).

Dies ist bereits Teil der Antwort auf Frage 3.

1. Mit dem momentanen Stand der Technik erreicht das schnellste Raumschiff mit Besatzung eine Geschwindigkeit von $40000 km/h ≈1,11⋅10^{4} m/s$. Dies entspricht $β=v/c=3,7⋅10^{-5}$, also $β\ll 1$. Für den Lorentz Faktor betrachtet man also eine Reihenentwicklung $γ=\frac{1}{\sqrt{1-β^{2}}}≈1-\frac{1}{2}\left(-β^{2}\right)=1+\frac{1}{2}β^{2}≈1+6,8⋅10^{-10}$, welcher viel zu nahe an eins ist, um messbare Effekte zu erreichen. Dies ist ein technisches Hindernis, um die Zeitreise zu ermöglichen.

So wie Zeitreisen zwar physikalisch möglich, aber technisch nicht machbar sind, gibt

es für Zeitreisen in die Vergangenheit ein physikalisches Hindernis:

Da $γ=1/\sqrt{1-v^{2}/c^{2}}\geq 1$ findet man mit $Δt=γ⋅Δt'$ folgendes Ergebnis

$Δt\geq Δt'$; woraus folgt, dass eine Reise in die Vergangenheit prinzipiell unmöglich ist.

Zusätzliche Betrachtungen

Man muss für dies Lösung dieses Problem keine zusätzlichen Annahmen machen; Dieser Abschnitt ist dazu da, um einen alternativen Lösungsweg für Teilproblem 3 aufzuzeigen.

Um eine Masse von 1,0 kg auf eine Geschwindigkeit von $v=1,11⋅10^{4} m/s$ (die Geschwindigkeit des Raumschiffs) zu bringen, benötigt man eine Energie von $E\_{1}=\frac{1}{2}m\_{0}v^{2}=\frac{1}{2}1,0 kg \left(1,11⋅10^{4} m/s\right)^{2}=6,2⋅10^{7}J$.

Um den Energiebedarf für die für Alice benötigte Geschwindigkeit abzuschätzen, muss man die relativistische Energie betrachten, Um ein Kilogramm auf eine Geschwindigkeit von $0,98⋅c$, d.i. $γ=5$ zu bringen, benötigt man $E\_{2}=γ⋅m\_{0}⋅c^{2}-m\_{0}⋅c^{2}=4⋅1,0 kg \left(3⋅10^{8} m/s\right)^{2}=3,6⋅10^{17}J$, also ca. 10 Größenordnungen mehr!

Um diese Energie aufzubringen müsste man - auch unter der Annahme, dass der Energieinhalt von Kerosin $H\_{Kerosin}=46,2 MJ/kg$ vollständig in kinetische Energie umgewandelt werden könnte - eine Masse von $m=E\_{2}/H\_{K}=\frac{3,6⋅10^{17}J}{46,2⋅10^{6}J}kg=7,8⋅10^{9} kg$.

Man benötigt also ca. 8 Milliarden Kilogramm Kerosen pro Kilogramm!

#### ORIGINAL:

Titolo: Il viaggio di Alice

Descrizione: Partendo da dati sperimentali, riguardanti il fenomeno della dilatazione temporale, si chiede allo studente di esprimersi circa la possibilità che hanno gli esseri umani di effettuare viaggi nel tempo.

Disciplina: Fisica

Tempo Richiesto: 4h

Conoscenze Richieste: Relatività ristretta

Autori:

Giuseppe De Ninno e-mail:

peppedeninno@gmail.com

Pompea Lopatriello e-mail:

pompea.lopatriello@gmail.com

Giovanni Magliarditi e-mail:

giomagli@alice.it

Maria Concetta Petitto e-mail:

mariaconcetta.petitto@gmail.com

Maria Rita Rizzo e-mail:

mariarita.rizzo@gmail.com

Versione: 1.2 – del 28 novembre 2015