

Klassische Experimentalphysik I (Mechanik) (WS 16/17)

<http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~rwolf/teaching/ws16-17-mechanik.html>

Übungsblatt 10

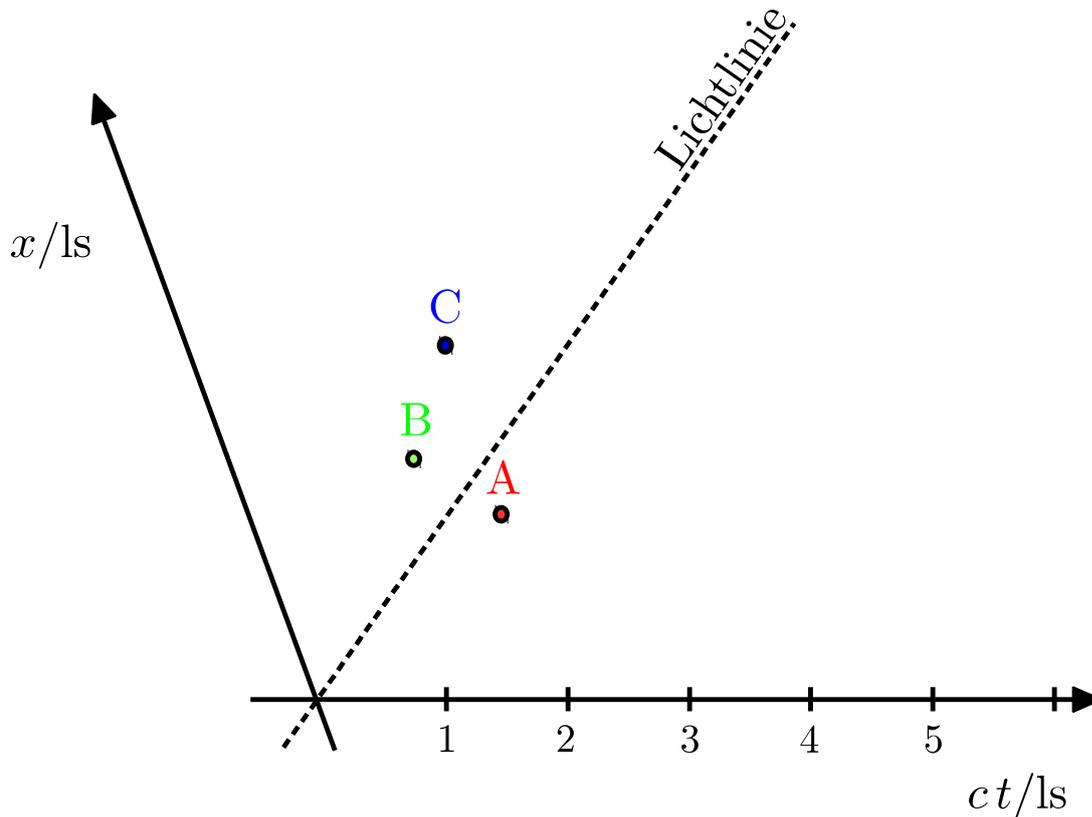
Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

Namen der bearbeitenden Gruppe:

Aufgabe 35: Von Minkowski-Diagrammen und Weltlinien

(10 Punkte)

1908 entwickelte Hermann Minkowski die nach ihm benannten Minkowski-Diagramme zur graphischen Darstellung zueinander bewegter Bezugssysteme zur Veranschaulichung der Vorgänge der speziellen Relativitätstheorie. Diese sind im allgemeinen auf eine Raumachse und die Zeitachse reduziert, die in unserem Fall jeweils mit konkreten Skalen in Einheiten von Lichtsekunden (ls) versehen sind. Im Minkowski-Diagramm werden Ereignisse durch Punkte und Körper durch Weltlinien dargestellt. Das besondere an Minkowski-Diagrammen ist, dass Sie es erlauben Bezugssysteme mit verschiedenen Geschwindigkeiten relativ zueinander darzustellen. In der unten angegebenen Skizze sehen Sie ein unvollständiges Minkowski-Diagramm S mit drei Ereignissen, A, B und C. Die darin eingetragene Lichtlinie entspricht der Weltlinie eines zum Zeitpunkt 0 im Ursprung ausgesandten Lichtstrahls. Beachten Sie, dass durch die Wahl der Achsen die Lichtlinie immer der Winkelhalbierenden der beiden Achsen entspricht.



a)

Vervollständigen Sie das Diagramm, indem Sie auch auf der Raumachse eine Skala einführen, die der Skala auf der Zeitachse entspricht. Bestimmen Sie die zeitliche Reihenfolge der Ereignisse A, B und C. Zeichnen Sie in das gleiche Diagramm drei Körper: (i) einen ruhenden Körper; (ii) einen Körper, der sich mit konstanter Geschwindigkeit vom Ursprung in S entfernt und; (iii) einen Körper, der sich beschleunigt vom Ursprung in S entfernt.

b)

Zeichnen Sie in ein artgleiches Diagramm S wie aus Teilaufgabe a) ein weiteres Diagramm S' im gleichen Ursprung ein, das die Raum- und Zeitachse im Bezugssystem eines Raumschiffs darstellt, das sich konstant mit 60% der Lichtgeschwindigkeit vom Ursprung in S entfernt. Bestimmen Sie für S' die Lage der Raum- und Zeitachse, die Lichtlinie und die Skalen auf beiden Achsen. Gehen Sie zur Bestimmung der Skalen in S' wie folgt vor: auch auf der Zeitachse in S' sind die Zeitabstände äquidistant, sie sind nur um einen Faktor k zu den Skalen in S gestreckt. Außerdem haben beide Bezugssysteme den gleichen Ursprung. Stellen Sie sich vor, ein Beobachter in S entsendet zum Zeitpunkt $t_0 = 1$ ls in S ein Lichtsignal zum Raumschiff, das dort zum Zeitpunkt $t_R = k t_0$ ankommt und sofort an den Beobachter in S zurück gesandt wird. Das vom Raumschiff zurückgesandte Signal erreicht den Beobachter in S wiederum zu einer Zeit $t_1 = k' t_R$, die Sie von der Zeitachse in S ablesen können. Da sich S im Bezugssystem des Raumschiffs mit der gleichen Geschwindigkeit bewegt, wie sich S' in S bewegt gilt $k = k'$. Aus diesen beiden Informationen können Sie t_R bestimmen. Nach welcher Zeit kommt das ausgesandte Lichtsignal in S und in S' an? Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Erwartung durch die Zeitdilatation. Bestimmen Sie schließlich die zeitliche Reihenfolge der Ereignisse A, B und C im Bezugssystem des Raumschiffs.

Aufgabe 36: Myonen aus der oberen Atmosphäre

(4 Punkte)

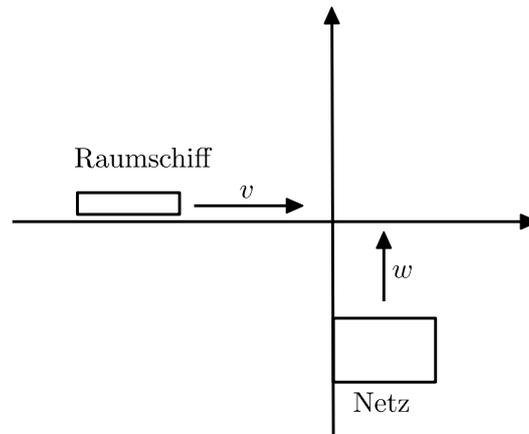
In den oberen Atmosphärenschichten (bei $h \geq 20$ km) werden durch Kernreaktionen von hochenergetischen Protonen aus der kosmischen Höhenstrahlung zunächst Pionen erzeugt (z.B. aus der Reaktion: $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$ oder $p + n \rightarrow n + n + \pi^+$), die nach $\tau_\pi = 26$ ns in ein Myon und ein Neutrino zerfallen ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$). Diese Myonen haben typische Geschwindigkeiten von $0.994c$. Myonen zerfallen (in Ruhe) mit einer mittleren Lebensdauer von $\tau_\mu = 2.2 \mu\text{s}$ in ein Elektron und zwei Neutrinos. Berechnen Sie die Strecke s , die die Myonen der kosmischen Höhenstrahlung innerhalb ihrer Lebensdauer im Ruhesystem der Erde zurücklegen. Wie groß wäre diese Strecke im Fall einer nicht-relativistischen Rechnung?

Aufgabe 37: Weltraumabenteuer

(6 Punkte)

Die Tholianer versuchen die U.S.S. Enterprise NCC-1701 (idealisieren Sie das Raumschiff durch einen eindimensionalen Stab der Länge l) mit einem Energie-Netz einzufangen (siehe Skizze, zur Vereinfachung der Rechnung nehmen wir eine einzige Masche an). Das Netz hat Maschen der Größe l . Das Raumschiff Enterprise bewegt sich mit der Geschwindigkeit v entlang der x -Achse, während sich die Tholianer mit der Geschwindigkeit w entlang der y -Achse bewegen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ treffen sich die beiden so, dass das hintere Ende der Enterprise gerade bei $x = 0$ mit einer Masche aufeinandertrifft. Der Kommandant der Tholianer ärgert sich: durch die relativistische Längenkontraktion könnte ihm das Schiff durch die Maschen gehen. Auch Captain Kirk macht sich Sorgen: in seinem Ruhesystem sind die Maschen des Netzes relativistisch kontrahiert und er würde gefangen werden. Was passiert? Berechnen Sie die Koordinaten von Anfangs- und

Endpunkt des Raumschiffes und der Masche:



- a)
im Ruhesystem eines unbewegten Beobachters (wie in der Skizze) zum Zeitpunkt $t = 0$.
- b)
im Ruhesystem der Tholianer zum Zeitpunkt $t' = 0$.
- c)
im Ruhesystem des Raumschiffs Enterprise zum Zeitpunkt $t'' = 0$.