

Übungsblatt 10

Abzugeben am: 13.01.2014, 12:00 Uhr

Namen:

Gruppe:

Aufgabe 1: Relativistische Kinematik I

(6 Punkte)

Das Kommando der Sternenflotte entsendet Captain Kirk zur Zeit $t_0 = 0$, um diplomatische Verhandlungen mit den Romulanern aufzunehmen. Der fliegt umgehend mit dem Raumschiff Enterprise mit der Geschwindigkeit v los. Zum Zeitpunkt t_1 stellen die Admiräle der Sternenflotte fest, dass ihnen die Kaffeesahne ausgegangen ist und senden eine überlicht-schnelle Nachricht an die Enterprise, Captain Kirk möge auf dem Rückweg an der Dilitium-Tankstelle haltmachen und Kaffeesahne mitbringen. Das Signal breitet sich mit einer Geschwindigkeit ac aus, d.h. im Ruhesystem der Erde läuft es entlang der Koordinaten $(t, ac(t - t_1))$. Das Signal erreicht die Enterprise am Raumzeit-Punkt (t_2, vt_2) . Im Ruhesystem der Enterprise empfängt Captain Kirk das Signal an den Koordinaten $(t'_2, 0)$ und er antwortet umgehend, sodass sich das Antwortsignal in seinem Ruhesystem als $(t', -ac(t' - t'_2))$ ausbreitet, bis es zum Zeitpunkt t'_3 bei der Sternenflotte auf der Erde ankommt.

- Verifizieren Sie, dass im Falle $a=1$ (d.h. normaler Radio-Kommunikation) die einfache Beziehung: $t_3 = t_1 + 2 \cdot \frac{v}{c-v} t_1$ gilt.
- Berechnen Sie die Zeit t_3 der Ankunft der Nachricht auf der Erde im Ruhesystem der Erde als Funktion von t_1 , v und a . (*Tip*: Versichern Sie sich, dass das allgemeine Ergebnis für $a = 1$ mit dem vorigen übereinstimmt)
- Was ist t_3 für $a = 2$, $v = 0.9c$ und $t_1 = 3600$ s?
- Was passiert, wenn Captain Kirk antwortet, er habe wichtigeres zu tun und die Admiräle sollten ihn nicht mehr mit solchen Lappalien belästigen.

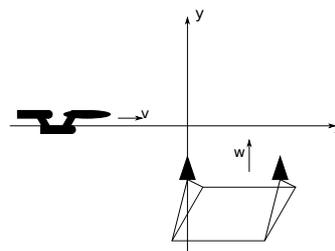
Aufgabe 2: Relativistische Kinematik II

(5 Punkte)

Die Tholianer versuchen das Raumschiff Enterprise (idealisiert als eindimensionaler 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 von der Größe l , das Raumschiff Enterprise bewegt sich mit 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 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:



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

Aufgabe 3: Teilchenbeschleuniger

(5 Punkte)

Die Schwerpunktsenergie \sqrt{s} ist eine wichtige Kenngröße von Teilchenbeschleunigern und ist invariant unter Lorentztransformationen:

$$s = \left(\sum_i E_i \right)^2 - \left(\sum_i p_{x,i} \right)^2 - \left(\sum_i p_{y,i} \right)^2 - \left(\sum_i p_{z,i} \right)^2$$

Hier wird über alle Teilchen i summiert, $p_{x,y,z}$ ist die x , y , z -Komponente des Impulses der Teilchen und E ist die Energie des Teilchens. Die gebräuchliche Energieeinheit ist GeV und sie gibt die Energie an, die ein Elektron nach Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von $U = 10^9$ V hat. Der Impuls wird in GeV/ c angegeben und die Masse in GeV/ c^2 .

- a) Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie \sqrt{s} von Teilchenreaktionen am Elektron-Proton-Beschleuniger HERA am DESY (Hamburg) und am Proton-Proton-Beschleuniger LHC am CERN (Genf) aus den angegebenen Energien der Teilchen. Bei HERA wurden bis Sommer 2007 Elektronen der Energie $E_e^{\text{HERA}} = 27.5$ GeV und Protonen der Energie $E_p^{\text{HERA}} = 920$ GeV frontal zur Kollision gebracht. Beim LHC wurden 2013 Protonen mit jeweils einer Energie von $E_p^{\text{LHC}} = 4000$ GeV frontal zur Kollision gebracht.
- b) Wie hoch müsste die Energie des Protons E_p sein, wenn in einer Reaktion mit einem stationären Target (Proton) dieselbe Schwerpunktsenergie erreicht werden soll, wie bei den pp-Kollisionen am LHC?

Welche Näherung bietet sich bei diesen Energien an?

Aufgabe 4: Zerfall eines Teilchens

(4 Punkte)

Ein hypothetisches Teilchen X zerfällt in 3 Teilchen: A , B und C . Da X sehr kurzlebig ist, kann es nicht selber im Detektor nachgewiesen werden, sondern nur seine Zerfallsteilchen. Die in der Tabelle angegebenen Impulse und Ruhemassen wurden für die drei Zerfallsteilchen bestimmt. Die gebräuchliche Energieeinheit ist GeV und sie gibt die Energie an, die ein Elektron nach Durchlaufen einer Spannungsdifferenz von $U = 10^9$ V hat. Der Impuls wird in GeV/ c angegeben und die Masse in GeV/ c^2 . Wie groß ist die Ruhemasse $m_{0,X}$ und die Geschwindigkeit v_X des X -Teilchens (in Einheiten von GeV/ c^2 bzw. c)?

Teilchen	p_x [GeV/ c]	p_y [GeV/ c]	p_z [GeV/ c]	m_0 [GeV/ c^2]
A	1	2	1	$\sqrt{3}$
B	-2	0	0	0
C	3	-1	1	$\sqrt{5}$

Die Aufgaben sollten in Arbeitsgruppen von 2-3 Personen bearbeitet werden. Heften Sie bitte alle Zettel mit diesem Arbeitsblatt zusammen und werfen Sie die fertigen Lösungen bis zum nächsten Montag, also diesmal bis zum 13.01.2014, um spätestens 12:00 Uhr in die Physik I Box im Eingangsbereich des Physikhochhauses. **Schreiben Sie die Namen aller Personen der Arbeitsgruppe auf den obersten Zettel sowie die Tutoriumsgruppe. Diese Angaben sollten oben angegeben werden und gut lesbar sein.** Weitere Informationen zur Übung finden Sie hier: <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~mmozer/WS1314/uebungen/>