

LK Physik * SRT * Geschwindigkeitsaddition / Relativistischer Impuls

1. Ein Raumschiff fliegt mit $0,2 c$ durch die Milchstraße, als es von einer gegnerischen Rakete überholt wird, die mit $0,8 c$ die Galaxie durchquert. Sofort löst der Kommandant des Raumschiffs ein $0,7 c$ -Geschoss aus, das die Rakete kurze Zeit später einholt und zerstört. Prüfen Sie im Inertialsystem Galaxie und im System Raumschiff, ob diese Geschichte wahr sein kann.
2. Ein mit der Geschwindigkeit $v = 0,6 c$ fliegendes K-Meson zerfällt in zwei p-Mesonen. Im Ruhesystem des K-Mesons haben die p-Mesonen eine Geschwindigkeit von $0,85 c$. Welche Geschwindigkeit haben die p-Mesonen maximal und minimal im Laborsystem?
3. Der nächste Fixstern ist Alpha-Centauri am südlichen Sternenhimmel. Seine Entfernung beträgt $4,5$ Lichtjahre.
 - a) Wie lange braucht ein Raumschiff mit der Geschwindigkeit $v = 0,5 c$, um zu dem Stern zu gelangen?
 - b) Wie lange dauert der Flug für die Astronauten?
 - c) Welche Geschwindigkeit müsste das Raumschiff haben, wenn für die Besatzung nur ein Jahr verginge?
4. Stößt ein Proton, dessen Geschwindigkeit kleiner als ein Zehntel der Lichtgeschwindigkeit ist, gegen ein ruhendes Proton, so fliegen die beiden Protonen unter einem Winkel von 90° auseinander. Zeigen Sie dies mit den klassischen Erhaltungssätzen für den Impuls und für die kinetische Energie.
Ist das stoßende Proton relativistisch, so ist der Winkel kleiner als 90° . Erklären Sie dies qualitativ.
5. Im deutschen Elektronensynchrotron DESY werden Elektronen auf eine Energie von $7,5 \text{ GeV}$ beschleunigt.
 - a) Wie schnell sind dann die Elektronen?
 - b) Wie lang ist der (ringförmige) Beschleunigungstunnel für die Elektronen?
(Der ringförmige Beschleuniger hat einen Durchmesser von 100 m .)
6. Zwei Teilchen gleicher Ruhemasse m_0 und gleicher kinetischer Energie $E_{\text{kin}} = 2m_0$ stoßen zentral zusammen und bilden ein neues Teilchen. Wie groß ist die Ruhemasse M_0 des neuen Teilchens?
7. Ein Teilchen der Ruhemasse m_0 bewegt sich mit der Geschwindigkeit $v = 0,80c$ und stößt zentral auf ein gleichartiges ruhendes Teilchen (der Ruhemasse m_0). Hierbei entsteht ein neues (angeregtes) Teilchen der Ruhemasse M_0 .
Bestimmen Sie die Ruhemasse M_0 dieses Teilchens in Vielfachen von m_0 .
8. Im Superprotonensynchrotron des europäischen Kernforschungszentrums CERN werden Protonen auf eine maximale kinetische Energie von 400 GeV beschleunigt. Bei dem Stoß eines beschleunigten Protons (p) gegen ein ruhendes Proton (p) soll ein neues Teilchen X erzeugt werden: $p + p = p + p + X$.
Wie groß kann maximal die Ruheenergie M_0 des neuen Teilchens X sein?

Quelle:

<http://www.physik-lexikon.de/aufgaben.php>



Lösungen:

1. Das Geschoss holt die Rakete nicht ein.

Im galaktischen System hat das Geschoss die Geschwindigkeit $v = 0,79 c < 0,8 c$.

Im Ruhesystem des Raumschiffs hat die Rakete die Geschwindigkeit $u = 0,71 c > 0,7 c$.

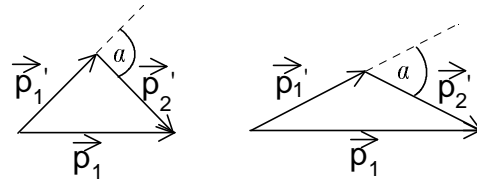
2. In der Flugrichtung des K-Mesons haben die Pi-Mesonen die größte Geschwindigkeit mit $v = 0,96c$; die entgegen der Flugrichtung ausgesandten Pi-Mesonen haben die Geschwindigkeit $u = 0,51c$ nach hinten.

3. a) 9 a b) 7,8 a c) 0,9762c

4. klassisch gilt

$$\frac{p_1^2}{2m} = \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m}. \text{ Die Impulsvektoren}$$

der Protonen nach dem Stoß stehen daher (nach Pythagoras) senkrecht aufeinander.



relativistisch gilt:

Der Impuls p_1 wächst stärker an als die Impulse p_1' und p_2' , weil zu ihm die größere Geschwindigkeit und damit auch die größere Massenzunahme gehört. Das Vektordreieck wird stumpfwinklig und der Winkel α wird kleiner als 90° .

5. a) 0,999999998c 5b) 21 mm statt 314 m

6. $M_o = 6 m_o$

7. $u = 0,5c$ und $M_{x,o} = \frac{4}{3}\sqrt{3} m_o - 2 m_o \approx 0,31 m_o$

8. Aus $E_{kin} = 400 \text{ GeV}$ folgt für die Geschwindigkeit v des Protons:

$$E = E_o + E_{kin} = 400,938 \text{ GeV} \text{ und damit } v = 0,999997263 c$$

Nun Rechnung im Schwerpunktsystem:

Impuls ist im Schwerpunktsystem vor und nach dem Stoß 0.

Teilchen X hat maximale Ruheenergie, wenn die kinetische Energie der Teilchen nach dem Stoß 0 ist, d.h. wenn alle drei Teilchen dann ruhen.

Die beiden Protonen haben vor dem Stoß im Schwerpunktsystem die Geschwindigkeit u und es gilt: $u \oplus u = v$. Daraus folgt $u = 0,997663c$.

$$E_{ges} = 2 E_{proton}(u) = 29,27 E_{o,proton} = 27,46 \text{ GeV}$$

$$\begin{aligned} \text{Die Ruheenergie des Teilchens X beträgt damit maximal } & 27,46 \text{ GeV} - 2 \cdot E_{o,proton} = \\ & = 27,46 \text{ GeV} - 2 \cdot 0,938 \text{ GeV} = 25,6 \text{ GeV}. \end{aligned}$$

Ergebnis:

Nur 25,6 GeV können maximal in Ruheenergie umgesetzt werden, der Rest (400 - 25,6) GeV tritt als kinetische Energie auf.