

Einführung in die Physik II (für Nicht-PhysikerInnen)

Präsenzübungen Woche 15

8 – 12 Juli 2019

1. Betrachten wir den Zerfall eines K^0 Mesons mit Impuls \vec{p}_0 :

$$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-.$$

Die Impulse der Pionen sind \vec{p}_+ beziehungsweise \vec{p}_- , wobei die Richtung der Impulsvektoren der beiden Pionen entgegengesetzt ist. Außerdem zeigt sich für die Beträge dieser Impulsvektoren, dass:

$$p_+ = 2p_-.$$

Berechne p_0 . (Hinweis: benutze die Gleichung des relativistischen Impulses: $E^2 = p^2c^2 + (mc^2)^2$.)

2. In dieser Aufgabe soll die Differenz der Ankunftszeiten zweier Neutrinos unterschiedlicher Energie berechnet werden, die aus einer 170000 Lichtjahre entfernten Supernova stammen. Die Energien der Neutrinos seien $E_1 = 20 \text{ MeV}$ und $E_2 = 5 \text{ MeV}$, die Ruhemasse jedes Neutrinos wollen wir als $20 \text{ eV}/c^2$ annehmen. Da die Gesamtenergie der Neutrinos jeweils sehr groß gegenüber der Ruheenergie ist, liegt ihre Geschwindigkeit sehr nahe an der Lichtgeschwindigkeit, und ihre Energie ist in guter Näherung $E \approx pc$.

- (a) Zeige, dass die Differenz der Ankunftszeiten durch

$$\Delta t = t_2 - t_1 = x \frac{v_1 - v_2}{v_1 v_2} \approx \frac{x \Delta v}{c^2}$$

gegeben ist, wobei t_1 bzw. t_2 die Zeiten sind, die die Neutrinos mit der Geschwindigkeit v_1 bzw. v_2 benötigen, um die Strecke x zurückzulegen.

- (b) Die Geschwindigkeit eines Teilchens mit der Ruhemasse m und der Energie E kann mit Hilfe der Beziehung $v/c = \beta = pc/E$ bestimmt werden. Zeige, dass für $E \gg mc^2$ die Geschwindigkeit näherungsweise durch

$$\frac{v}{c} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{mc^2}{E} \right)^2$$

gegeben ist. (Tipp: gehe von der Beziehung der relativistischen Gesamtenergie aus: $E = \gamma mc^2$. Gegeben ist außerdem die folgende binomische Reihe: $\sqrt{1-x} = 1 - x/2 - x^2/8 - x^3/16 - \dots$)

- (c) Mit den Ergebnissen aus den Teilaufgaben a und b können wir jetzt Δt für die Entfernung $x = 1,7 \cdot 10^5$ Lichtjahre berechnen. Tue dies.
- (d) Wie ändern sich die Resultate, wenn die Ruhemasse der Neutrinos $40 \text{ eV}/c^2$ beträgt?

Table 1: Eigenschaften von ausgewählten Teilchen. (Bemerke, dass Neutrinos in dem Standardmodell der Teilchenphysik keine Masse haben. In Praxis gibt es Hinweise, dass dies nicht der Fall ist, für unsere Zwecke ist die Masse dennoch vernachlässigbar klein.)

Name	Klassifikation	Ladung	Masse (in MeV/c ²)	Spin
Myon (μ^-)	Lepton	-1	105,7	$\frac{1}{2}$
Anti-Myon (μ^+)	Anti-Lepton	+1	105,7	$\frac{1}{2}$
Myon Neutrino (ν_μ)	Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Myon Anti-Neutrino ($\bar{\nu}_\mu$)	Anti-Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Elektron (e^-)	Lepton	-1	0,511	$\frac{1}{2}$
Positron (e^+)	Anti-Lepton	+1	0,511	$\frac{1}{2}$
Elektron Neutrino (ν_e)	Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Elektron Anti-Neutrino ($\bar{\nu}_e$)	Anti-Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Tauon (τ^-)	Lepton	-1	1777	$\frac{1}{2}$
Anti-Tauon (τ^+)	Anti-Lepton	+1	1777	$\frac{1}{2}$
Tau Neutrino (ν_τ)	Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Tau Anti-Neutrino ($\bar{\nu}_\tau$)	Anti-Lepton	0	0	$\frac{1}{2}$
Neutron (n^0)	Hadron, Baryon	0	939,6	$\frac{1}{2}$
Proton (p^+)	Hadron, Baryon	+1	938,3	$\frac{1}{2}$
Λ	Hadron, Baryon	0	1115,7	$\frac{1}{2}$
Pion (π^+)	Hadron, Meson	+1	139,6	0
Anti-Pion (π^-)	Anti-Hadron, Anti-Meson	-1	139,6	0
Null-Pion (π^0)	Hadron, Meson	0	135,0	0
Kaon (K^+)	Hadron, Meson	+1	493,7	0
Anti-Kaon (K^-)	Anti-Hadron, Anti-Meson	-1	493,7	0
Null-Kaon (K^0)	Hadron, Meson	0	497,7	0