

Einführung in die Physik II (für Nicht-PhysikerInnen)

Hausaufgaben Woche 15

8 – 12 Juli 2019

1. Ein neutrales Pion mit Ruheenergie $m_{\pi^0}c^2 = 135,0 \text{ MeV}$, zerfällt in zwei Photonen. Begründe wieso die Photonen gleiche oder ungleiche Energien besitzen werden. Falls die Energie der beiden Photonen gleich sein soll, berechne die Wellenlänge dieser Photonen. Falls die Photonen ungleiche Energien haben können, berechne die maximale und minimale Wellenlänge der Photonen.

Lösung:

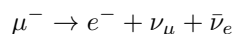
Wir wählen unser Bezugssystem so, dass das Pion sich nicht bewegt. Die Gesamtenergie der Photonen soll dann $135,0 \text{ MeV}$ betragen. Die Impulserhaltung erfordert, dass sich die Photonen in entgegengesetzte Richtungen, mit Impulsen vom gleichen Betrag bewegen. Da der Betrag p des Impulses eines Photons zu seiner Energie über $p = E/c$ in Beziehung steht, haben die Photonen die gleiche Energie E , die also genau der Hälfte der Gesamtenergie, bzw. $67,5 \text{ MeV}$, entspricht.

Die Energie eines Photons kann berechnet werden mit $E = hf = hc/\lambda$, deshalb können wir die Wellenlänge der Photonen berechnen mit:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{67,5 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 1,84 \cdot 10^{-14} \text{ m} = 18,4 \text{ fm}$$

2. Sind die folgenden Teilcheninteraktionen von den Erhaltungssätzen ausgeschlossen oder nicht? Erläutere warum (nicht).

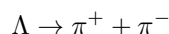
(a)



Lösung:

Die Myonen-Leptonenzahl ist erhalten: $L_\mu = 1$ für μ^- und für ν_μ und ist gleich null für das Elektron und das Elektron Anti-Neutrino. Die Elektronen-Leptonenzahl ist auch erhalten: es ist 1 für das Elektron und -1 für das Elektron Anti-Neutrino. Diese Reaktion bezieht nur Leptonen, deshalb ist die Baryonenzahl auch erhalten. Allerdings muss das Elektron eine unheimliche Menge an Energie aufnehmen, weil der Massenunterschied zwischen dem Myon ($105,7 \text{ MeV}/c^2$) und dem Elektron ($0,511 \text{ MeV}/c^2$) riesig ist. (Die Massen der Neutrinos sind vernachlässigbar.) Die Ladung ist auch erhalten (-1 beide bevor und nach dem Zerfall).

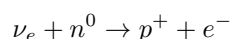
(b)



Lösung:

Diese Interaktion ist nicht erlaubt weil die Baryonenzahl nicht erhalten wird: das Pion (π^+) und Anti-Pion (π^-) sind Mesonen, mit Baryonenzahl gleich Null. Das Λ -Teilchen ist jedoch ein Baryon, mit Baryonenzahl 1.

(c)



Lösung:

Die Baryonenzahl ist erhalten (1 für sowohl das Neutron und das Proton, Null für das Elektron und das Elektron-Neutrino); die Leptonenzahlen sind auch erhalten (die Elektron-Leptonenzahl ist eins für das Elektron und das Elektron Neutrino; null für Proton und Neutron; die übrigen Leptonenzahlen sind Null für alle vier dieser Teilchen). Die Ladung ist erhalten (Null sowohl vor und nach der Interaktion). Die Summe der Energien der Produkte (auf der rechten Seite) ist ein wenig niedriger als auf der linken Seite. Deshalb kann diese Interaktion so nicht stattfinden, weil Energieerhaltung nicht möglich ist. In Praxis wird also meistens noch ein zusätzliches Teilchen (so wie z.B. ein Photon) auf der rechten Seite gebraucht.

(d)

$$\pi^0 \rightarrow \tau^+ + \tau^-$$

Lösung:

Die Ladung ist Null und erhalten, die Baryonenzahl ist Null und erhalten, die Leptonenzahlen sind Null und erhalten, aber das Tauon und sein Anti-Teilchen haben deutlich mehr Energie als das Pion, deshalb kann dieser Zerfall nicht stattfinden.

(e)

$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$$

Lösung:

Die Leptonenzahlen sind erhalten (alle Null), die Baryonenzahl ist Null und erhalten, die Gesamtladung ist Null und erhalten, aber die Energien des Myons und seines Anti-Teilchens sind viel höher als die des Elektrons und seines Anti-Teilchens. Deshalb kann diese Reaktion nur stattfinden wenn das Elektron und das Positron sehr hohe relative Geschwindigkeiten haben (so wie z.B. in einem Teilchenbeschleuniger).

Table 1: Eigenschaften von ausgewählten Teilchen. (Bemerke, dass Neutrinos in dem Standardmodell der Teilchenphysik keine Masse haben. Im 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