

Kern- und Teilchenphysik

Übung VII

Prof. Markus Schumacher, Dr. Henrik Nilsen

14. - 18.6.2010

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 38 *Überblicksfragen*

- (i) Ein Fuss trifft einen Fußball. Welche Wechselwirkung findet statt?
- (ii) Was ist die Analogie zur elektrischen Ladung in Quantenchromodynamik (QCD)? Welche QCD-Ladungen tragen Quarks, Antiquarks, Gluonen und Hadronen?
- (iii) Warum gibt es 3-Gluon- und 4-Gluon-Vertizes in der QCD, aber keine 3-Photon- und 4-Photon-Vertizes in der Quantenelektrodynamik (QED)?

Aufgabe 39 *Pion-Zerfall*

Die häufigsten Pion-Zerfälle sind $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ und $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$.

- (i) Welche Wechselwirkungen verursachen die Zerfälle?
- (ii) Haben geladene oder neutrale Pionen eine längere Lebensdauer? Warum?
- (iii) Wie sehen die einfachsten Feynmann-Diagramme der Zerfälle aus?

(Der Grund warum geladene Pionen hauptsächlich in $\mu\nu_\mu$, und nicht ins kinematisch bevorzugte $e\nu_e$ zerfallen, wird später im Semester erläutert. Stichwort: Helizität.)

Aufgabe 40 *Teilchen und Wechselwirkungen*

Welche Elementarteilchen (Quarks, Leptonen und Vektorbosonen) nehmen an der

- (i) elektromagnetischen
- (ii) schwachen
- (iii) starken

Wechselwirkung teil?

Hausaufgaben

Aufgabe 41 *3-Teilchen Vertizes im QED*

4 Punkte

Die elementäre Vertizes der QED sind $e^-e^+ \rightarrow \gamma$ und $e^\pm \rightarrow e^\pm + \gamma$. Können diese Prozessen stattfinden? Warum / warum nicht? Hinweis: Betrachten Sie Energie- und Impulserhaltung im Schwerpunktsystem (für $e^-e^+ \rightarrow \gamma$) / Ruhesystem (für $e^\pm \rightarrow e^\pm + \gamma$) des Anfangszustandes.

Aufgabe 42 *Wechselwirkungen und Zerfälle*

3 Punkte

Welche Wechselwirkung findet in den folgenden Zerfällen statt? Begründen Sie ihre Antwort.

- (i) $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$
- (ii) $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$
- (iii) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$

Aufgabe 43 *τ und n Lebensdauer*

5 Punkte

Sowohl das τ -Lepton als auch der Neutron zerfallen durch schwache Wechselwirkung.

- (i) Zeichnen Sie das einfachste Feynman-Diagramm für die Zerfälle $\tau^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau$ und $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$.

- (ii) Die Lebensdauer von Neutronen ist sehr lang verglichen mit der von τ -Leptonen (886 s verglichen mit 2.91×10^{-13} s). Wie erklären Sie diesen großen Unterschied? (Naiv könnte man erwarten, dass die Größenordnung der Lebensdauer in beide Fällen durch die schwache Kopplungskonstante bestimmt wäre, und dass die beiden Lebensdauern von ungefähr gleicher Grössenordnung sein müssten.) Hinweis: Sargent-Regel aus der Kernphysik, siehe unter β -Zerfall in der Vorlesung.
- (iii) Welchen Unterschied der Zerfallszeiten von τ und n würde man ungefähr auf Grundlage der Sargent-Regel erwarten? (Achtung: um an einen genaueren Wert zu kommen müsste man mehrere Effekte berücksichtigen: τ -Leptonen zerfallen auch in mehrere andere Endzustände, die Sargent-Regel gilt nur für relativistische Endzustände und Quarks und Leptonen haben unterschiedliche Kopplungsstärken an W -Bosonen.)
- (iv) Zeichnen Sie das einfachste Feynman-Diagramm für die Zerfälle $\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$ und $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$. Die einzige Unterschiede der beiden Zerfälle ist die zur Verfügung stehende kinematische Energie im Endzustand ($m_\mu = 105.7$ MeV, $m_\tau = 1777$ MeV), und dass τ , im Gegensatz zu μ , auch in viele andere Endzustände zerfallen kann. Das Verzweigungsverhältniss für τ^- in $e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$ wurde als $\Gamma_{\tau \rightarrow e+X} = 0.1785$ gemessen, während $\Gamma_{\mu \rightarrow e+X} \approx 100\%$ ist. Gegeben sei m_τ , m_μ , $\Gamma_{\tau \rightarrow e+X}$ und $\Gamma_{\mu \rightarrow e+X}$. Was ist das von der Sargent-Regel vorhergesagte Verhältniss zwischen die Mittlere Lebensdauer des μ und τ (τ_μ/τ_τ). Vergleichen Sie diese Vorhersage mit dem Verhältniss die gemessenen Lebensdauern ($\tau_\mu = 2.2 \times 10^{-6}$ s und $\tau_\tau = 2.91 \times 10^{-13}$ s).

Aufgabe 44 *Relative Stärke der Elektromagnetismus und der Gravitation*

2 Punkte

Gegeben sind zwei Elektronen mit Abstand r . Was ist das Verhältniss die anziehenden Schwerkraft und die abstoßenden, elektrischen Kraft?

Aufgabe 45 *Magnetische Moment der Proton im Quark-Modell*

6 Punkte

Die Spin- und Flavourwellenfunktion des Proton lautet

$$\begin{aligned}
 |p\rangle = & \frac{1}{\sqrt{18}} (2 |u \uparrow u \uparrow d \downarrow\rangle + 2 |u \uparrow d \downarrow u \uparrow\rangle + 2 |d \downarrow u \uparrow u \uparrow\rangle \\
 & - |u \uparrow u \downarrow d \uparrow\rangle - |u \downarrow u \uparrow d \uparrow\rangle - |u \uparrow d \uparrow u \downarrow\rangle \\
 & - |u \downarrow d \uparrow u \uparrow\rangle - |d \uparrow u \uparrow u \downarrow\rangle - |d \uparrow u \downarrow u \uparrow\rangle)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Das magnetische Moment eines punktförmigen Teilchens mit Ladung q und Masse m ist gegeben als

$$\vec{\mu} = \frac{q}{mc} \vec{S},$$

mit einer Projektion an die z -Achse gleich

$$\mu = \frac{q}{mc} S_z.$$

Für Spin- $\frac{1}{2}$ Teilchen ist $S_z = \hbar/2$. Die z -Projektion des gesamten magnetischen Momentes eines Baryons, μ_B , ist gegeben als

$$\mu_B = \langle q_1 q_2 q_3 | (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) | q_1 q_2 q_3 \rangle ,$$

wobei μ_i die z -Projektionen von $\vec{\mu}_i$ für Quark Nummer i von Links in $|q_1 q_2 q_3\rangle$ ist. Berechnen Sie μ für das Proton in Einheiten des Kernmagneton ($e\hbar/2m_p c$) mittels Gl. 1 und vergleichen Sie mit dem gemessenen Wert $\mu_p = 2.793$. Hinweis: Nehmen Sie sie an, daß die Massen der u und d Quarks $m_u = m_d = 336$ MeV/ c^2 sind. Die Basis $|u\rangle$, $|d\rangle$ ist orthogonal und normiert, so dass z.B. $\langle u \uparrow | u \uparrow \rangle = 1$ und $\langle u \uparrow | u \downarrow \rangle = \langle u \uparrow | d \uparrow \rangle = \langle u \uparrow | d \downarrow \rangle = 0$.