Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Sommersemester 2010

Kern- und Teilchenphysik
Übung IX

Prof. Markus Schumacher, Dr. Henrik Nilsen

28.6. - 02.7.2010

Anwesenheitsaufgaben

Aufgabe 53 *Topquarkmesonen?*

Bis jetzt wurden Mesonen bestehend aus unterschiedlichen 2er-Kombinationen von $u-$, $d-$, $s-$, $c-$ und b-Quarks observiert, aber keine, wo das schwerste Quark, das Topquark, auftritt. In dieser Aufgabe studieren wir warum ein Topquark nicht Teil eines Mesons, sein kann. Verwenden Sie $m_c = 1.5$ GeV, $m_b = 5.0$ GeV und $m_t = 173$ GeV. Das Standardmodell der Teilchenphysik sagt für diese Top- (Bottom-) Masse eine mittlere Lebensdauer des Top (Bottom) von $\tau_t = 4 \cdot 10^{-25}$ s ($\tau_b = 1.5 \cdot 10^{-12}$ s) voraus.

(i) Im (semi-)klassischen Bild des Wasserstoff-Atoms führt die Quantenbedingung, daß der Drehimpuls des Elektrons $l = n$ nur ganzzahlig sein kann, zu diskreten Bahnradien. Berechnen Sie für $n = 1$ den Radius a_0 der ersten Bohr'schen Bahn, sowie die Umlaufgeschwindigkeit v_0 des Elektrons. Sie dürfen das Proton als ruhend annehmen, und nicht-relativistisch rechnen ($m_e = 0.511 \cdot 10^{-3}$ GeV). Berechnen Sie den Bahnradius, a_0, die Geschwindigkeit, v_0, und die Umlaufzeit des Elektrons T_0.

(ii) Ebenso wie das Elektron durch die elektromagnetische Kraft auf einer Kreisbahn um das Proton gehalten wird, kann z.B. ein $\bar{c}$-Quark durch die starke Kraft auf einer Kreisbahn um das b- oder t-Quark gehalten werden. Die gebundenen Zustände $b\bar{c}$ und $t\bar{c}$ ähneln also dem Wasserstoffatom, nur wird die Stärke der Kraft nicht mehr durch $F = -\alpha/r^2$, sondern analog (für sehr kleine Bahnradien, ≤ 1 fm) mit Hilfe der Kopplungskonstanten α_s der starken Wechselwirkung durch $F = -\frac{4}{3}\alpha_s/r^2$ beschrieben. Für die $b\bar{c}$- und $t\bar{c}$-Systemen sind $\alpha_s \approx 0.3$. Berechnen Sie nun a_0, v_0 und T_0 für das $b\bar{c}$- und $t\bar{c}$-System. Berücksichtigen Sie dabei, daß im Falle des b-Quarks die Bedingung $m_c \ll m_b$ nicht mehr erfüllt ist, und daher die reduzierte Masse $\mu(m_c, m_b) = m_c \cdot m_b/(m_c + m_b)$ anstelle von m_c verwendet werden muß.

(iii) Wie viele Umläufe macht das $\bar{c}$-Quark im Mittel, bevor das b- bzw. t-Quark zerfällt? Vergleichen Sie die Ergebnisse jeweils mit denen des Wasserstoffatoms. Warum hat es also kaum Sinn, von einem gebundenen $t\bar{c}$ Zustand zu sprechen?

Hausaufgaben

Aufgabe 54 *Ablenkung im Magnetfeld* **3 Punkte**

Eine radioaktive Quelle emittiert Elektronen mit einer kinetischen Energie von 10 MeV. Welche Stärke muss ein Magnetfeld haben um die Elektronen mit einem Kurvenradius von 10 cm abzulenken? Berechnen Sie den Impuls der Elektronen relativistisch.

Aufgabe 55 *Leptonische Zerfälle von Vektormesonen* **5 Punkte**

Die neutralen Vektormesonen ρ, ω und ϕ können in 2 geladene Leptonen zerfallen über die elektromagnetische Wechselwirkung. Die normierten Flavourwellenfunktionen der Vektormesonen sind: $\rho = (u\bar{u} - d\bar{d})/\sqrt{2}$, $\omega = (u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2}$ und $\phi = s\bar{s}$.

(i) Zeichnen Sie die einfachste Feynmandiagrammen für diese Zerfälle.

Die partielle Zerfallsbreite ist gegeben durch der Van-Royen-Weisskopf Gleichung:

$$\Gamma_{V \to ll} = 16\pi\alpha^2 \frac{|Q_V|^2}{M_V^2} |\psi(0)|^2 \tag{1}$$

wobei M_V die Masse des Mesons ist und $|\psi(0)|^2$ die Wahrscheinlichkeit für eine Punktwechselwirkung zwischen die 2 Quarks. Der Faktor $|Q_V|$ ist die Summe der Ladungen der Quarks (nicht anti-Quarks) im Meson. Z.B. ist $|Q_V| = |Q_q|$ für ein Meson mit Flavourwellenfunktion $|q\bar{q}>$ und $|Q_V| = |Q_{q1} \pm Q_{q2}|$ für ein Meson mit Flavourwellenfunktion $|q_1\bar{q}_1 \pm q_2\bar{q}_2>$. Wir nehmen an, dass $|\psi(0)|^2/M_V^2$ den gleichen Wert hat für alle Vektormesonen.

(ii) Bestimmen Sie das Verhältnis $\Gamma_\rho : \Gamma_\omega : \Gamma_\phi$ aus den normierten Flavourwellenfunktionen der Vektormesonen (siehe oben). Vergleichen Sie das Ergebnis mit den gemessenen Werten der Verzweigunsverhältnisse $\mathrm{BR}_{\rho\to e^+e^-} = 4.72 \times 10^{-5}$, $\mathrm{BR}_{\omega\to e^+e^-} = 7.28 \times 10^{-5}$ und $\mathrm{BR}_{\phi\to e^+e^-} = 2.95 \times 10^{-4}$, und Gesamtbreiten $\Gamma_\rho^{\mathrm{tot}} = 146$ MeV, $\Gamma_\omega^{\mathrm{tot}} = 8.49$ MeV und $\Gamma_\phi^{\mathrm{tot}} = 4.26$ MeV.

Aufgabe 56 *Energieverlust durch Ionisation* **7 Punkte**

In einer mit Argon gefüllten Driftkammer wird der Teilchenimpuls pro Teilchen 10 mal, jeweils auf einer Länge von 5 cm, der Energieverlust dE/dx gemessen

$$\frac{dE}{dx} = K \cdot \frac{Z\rho}{A\beta^2} \cdot \left[\log\left(\frac{2m_ec^2\gamma^2\beta^2}{I}\right) - \beta^2\right] \tag{2}$$

mit $Z = 18$, $A = 40$, $\rho = 1.78 \cdot 10^{-3}$ g/cm^3, $I = 216$ eV und $K = 0.307$ MeV·cm^2/g.

Für zwei Teilchen, deren Impuls zu 0.8 GeV bestimmt wurde, findet man die Mittelwerte $(dE/dx)_1 = 2.82$ keV/cm und $(dE/dx)_2 = 3.30$ keV/cm. Man diskutiere folgende Hypothesen für die Teilchenidentität: Pion, Kaon, Proton.

(i) Berechnen Sie dE/dx für die 3 Teilchenidentitäten. Welches sind die wahrscheinlichsten Teilchenhypothesen für die 2 Messungen?

(ii) Jeder von die 10 Einzelmessungen der Energieverlust hat ein statistischen Unsicherheit gegeben durch die Poisson-Unsicherheit der Anzahl der Ionisierte Argonmolekylen. Wie groß ist die zu erwartende Standardabweichung für die gemessene $(dE/dx)_1$ und $(dE/dx)_2$ (gemittelt über 10 Einzelmessungen), wenn der Energieverlust pro Ionisation $\epsilon = 30$ eV beträgt?

(iii) Ein Teilchen gelte als identifiziert, wenn der gemessen Energieverlust innerhalb von 3 Standardabweichungen mit dem theoretisch erwarteten Wert übereinstimmt. Passen demnach die obigen Messwerte zu einem Pion, Kaon oder Proton?

(iv) Welche Mehrdeutigkeiten treten in einer realen Driftkammer auf, die ein Auflösungsvermögen (dE/dx) von 5% hat?

Aufgabe 57 *Teilchenidentifikation durch Flugzeitmessung* **5 Punkte**

In Experimenten kann eine Teilchenidentifikation mit Hilfe der sog. Flugzeitmesstechnik durchgeführt werden. Hierzu werden für ein Teilchen gleichzeitig der Impuls p aus der Bahnkrümmung in einem bekannten Magnetfeld und die Flugzeit t für das Durchfliegen einer bekannten Strecke L gemessen.

(i) Bestimmen Sie die Masse eines relativitischen Teilchens als Funktion der gemessenen Größen.

(ii) Eine typische Zeitauflösung für ein Flugzeitsystem liegt in der Größenordnung von $\sigma_t = 250$ ps. In welchem Impulsbereich können bei einer Flugstrecke von $L = 3$ m geladene Pionen von geladenen Kaonen getrennt werden, wenn für eine sichere Massentrennung eine Flugzeitdifferenz von mindestens $4\sigma_t$ gefordert wird. (Massenwerte: $m_{\pi^+} = 139.6$ MeV, $m_{K^+} = 493.7$ MeV)