

Kern- und Teilchenphysik II (SS18), Übungsblatt 3

Abgabe bis Freitag, 11. Mai 2017
im Kasten „Kernphysik“ vor Raum NB 2/131

1. Aufgabe: Zerfälle des J/ψ (15 Punkte)

In der Vorlesung wurden die Partialbreiten $\Gamma_{ee}, \Gamma_{\mu\mu}, \Gamma_{\text{had}}$ und die totale Breite Γ_ψ des J/ψ bestimmt, die jeweils zur Anzahl der beobachteten Zerfälle proportional sind.

- Berechnen Sie die Anteile der jeweiligen Zerfallsprozesse.
- Welche dominierende Wechselwirkung würden Sie anhand der totalen Breite Γ_ψ und der entsprechenden Lebensdauer für den Zerfall des J/ψ erwarten?
- Schwache Zerfälle des J/ψ sind nicht verboten, warum können Sie dennoch vernachlässigt werden?
- Das $\psi(3770)$ zerfällt nahezu ausschließlich in D -Mesonen $\psi(3770) \rightarrow D^+ D^-$. Für das J/ψ ist der Zerfall in D -Mesonen kinematisch verboten und es gibt viele verschiedene hadronische Zerfallsprozesse wie zum Beispiel $J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$. Skizzieren Sie die beiden Prozesse auf Quark-Level (Sie dürfen dabei wahlweise $\pi^0 = |u\bar{u}\rangle$ oder $\pi^0 = |d\bar{d}\rangle$ annehmen).

2. Aufgabe: Das Charmonium-Spektrum (20 Punkte)

In e^+e^- -Collidern können nur Charmonium-Resonanzen ψ mit den Quantenzahlen $J^{PC} = 1^{--}$ in Formation direkt erzeugt werden

- Skizzieren Sie den Produktionsprozess einer Charmonium-Resonanz aus einer e^+e^- -Annihilation, um sich zu verdeutlichen, woran das liegt.
- Eine Möglichkeit Zugang zu anderen Charmonium-Resonanzen X zu erhalten ist über radiative Zerfälle $\psi \rightarrow \gamma X$. Da es sich dabei um eine elektromagnetische Wechselwirkungen handelt, sind der Gesamtspin J , die Parität P und die C -Parität erhalten, das heißt es gilt $C_\psi = C_\gamma C_X$, $P_\psi = (-1)^{L_{\gamma X}} P_\gamma P_X$, $|J_X - J_\gamma| \leq J_{\gamma X} \leq |J_X + J_\gamma|$ und $|J_{\gamma X} - L_{\gamma X}| \leq J_\psi \leq |J_{\gamma X} + L_{\gamma X}|$. Welche Charmonium-Resonanzen sind so zugänglich?
- Ermitteln Sie die Orientierung der Spins des charm-Quarks und des charm-Antiquarks und gegebenenfalls des Bahndrehimpulses zwischen ihnen, und machen Sie sich klar, was jeweils bei den radiativen Übergängen passiert.

- (d) Schauen Sie im PDG unter den Zerfällen des ψ' nach über welchen dominanten Prozess die Charmonium-Resonanzen (mit einem Bahndrehimpuls $L \leq 1$ zwischen charm-Quark und charm-Antiquark) jeweils zugänglich sind, die nicht über radiative Zerfälle eines ψ erreicht werden können.

3. Aufgabe: Analogie Wasserstoff, Charmonium, Bottomonium (24 Punkte)

Inspiziert von der Hyperfein-Aufspaltung lässt sich vermuten, dass die Massen M von Mesonen mit Bahndrehimpuls $L = 0$ und Spin $S = 0$ oder $S = 1$ sich gemäß

$$M = m_1 + m_2 + A \frac{(\vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2)}{m_1 m_2}$$

berechnen lässt, wobei m_1 und m_2 die Konstituentenquarkmassen sind und \vec{s}_1 und \vec{s}_2 die Spins der beiden Quarks. Es lässt sich zeigen, dass $\vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 = -\frac{3\hbar^2}{4}$ für $S = 0$ und $\vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2 = +\frac{\hbar^2}{4}$ für $S = 1$ gilt. Die besten Ergebnisse für leichte Mesonen erhält man mit $A = (\frac{2m_u}{\hbar})^2 159 \text{ MeV}/c^2$. Berechnen Sie die Massen von π^+ und ρ^+ ($u\bar{d}$), K^+ ($u\bar{s}$) und K^{*+} , D^0 und D^{*0} ($c\bar{u}$), $\eta_c(1S)$ und $J/\psi(1S)$ ($c\bar{c}$), B^+ und B^{*+} ($u\bar{b}$), $\eta_b(1S)$ und $\Upsilon(1S)$ ($b\bar{b}$) mit den Konstituentenquarkmassen $m_u = m_d = 308 \text{ MeV}/c^2$, $m_s = 483 \text{ MeV}/c^2$, $m_c = 1600 \text{ MeV}/c^2$ und $m_b = 4900 \text{ MeV}/c^2$. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den experimentellen Befunden.