

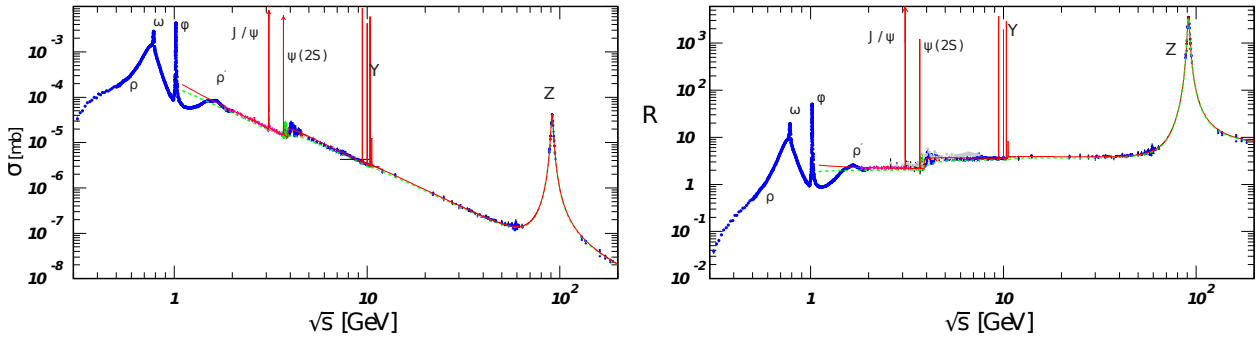
Übungen zu Physik V: Kerne und Teilchen (11)

Abgabetermin: bis 14.01.2025, 10:00 Uhr

Hinweis: Zur Lösung der Aufgaben benötigte bzw. hilfreiche Angaben finden Sie z.B. bei der Particle Data Group im Review of Particle Physics unter <https://pdg.lbl.gov>.

Aufgabe 1: Hochenergetische e^+e^- -Kollisionen

[LA: nur Teilaufgabe 4] (8 Punkte)



Die Abbildung zeigt auf der linken Seite den Wirkungsquerschnitt $\sigma_h(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})$ und auf der rechten Seite das Verhältnis $R = \sigma_h(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})/\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$ in Abhängigkeit der Schwerpunktsenergie \sqrt{s} .

1. Ab welcher Schwerpunktsenergie erwarten Sie, dass $\sigma_h > 0$ ist? Begründen Sie Ihre Antwort. (3 Punkte)
2. Der Charmonium-Grundzustand ist nicht das J/ψ sondern das η_c . Warum tritt dieser im obigen Wirkungsquerschnitt nicht auf? (1 Punkt)
3. Im Verhältnis

$$R = \frac{\sigma_h(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

ist oberhalb des $\psi(2S)$ -Zustandes eine Stufe zu sehen. Berechnen Sie die Höhe dieser Stufe und erläutern Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

4. Wie unterscheiden sich die $c\bar{c}$ -Zustände bei Schwerpunktsenergien oberhalb dieser Stufe von denen bis einschließlich des $\psi(2S)$ -Zustandes? Erklären Sie die Ursache für diesen Unterschied. (2 Punkte)

Aufgabe 2: J/ψ und Charmonium

[LA: nur Teilaufgaben 1,3,4] (13 Punkte)

1. Das J/ψ wurde in Elektron-Positron-Annihilation entdeckt. Schließen Sie aus dem Produktionsmechanismus auf die Quantenzahlen J^{PC} des J/ψ . Begründen Sie Ihre Antwort. (1 Punkt)
2. Das J/ψ zerfällt überwiegend in Hadronen, u.a. existiert wie für das ω -Meson der Zerfall

$$J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \quad \omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0.$$

Vergleichen Sie die Breiten Γ der beiden Mesonen. Welche Wechselwirkungen sind jeweils für diese Zerfälle verantwortlich? Warum sind die Breiten so unterschiedlich? (4 Punkte)

3. Tragen Sie die acht leichtesten $c\bar{c}$ -Zustände in ein Termschema (Masse gegen J^{PC}) ein.
Hinweis: In den *Summary Tables* der Particle Data Group sind die Zustände nach aufsteigender Masse sortiert. (3 Punkte)
4. Geben Sie zu jedem der Zustände aus Teilaufgabe 3 den Spin s und den Drehimpuls ℓ im Quarkmodell an.
Hinweis: Sie benötigen nur Drehimpulse $\ell < 2$. (3 Punkte)
5. Wie lässt sich der Charmonium-Zustand h_c erzeugen? (2 Punkte)

Aufgabe 3: Exotische Quantenzahlen

(7 Punkte)

1. Geben Sie die Quantenzahlen J^{PC} an, die ein $q\bar{q}$ -Zustand mit $J = 0$, $J = 1$ und $J = 2$ jeweils annehmen kann. (4 Punkte)
2. Alle weiteren denkbaren J^{PC} nennt man exotisch. Geben Sie diese exotischen Quantenzahlen für $J = 0$, $J = 1$ und $J = 2$ an. (1 Punkt)
3. Wie könnten Mesonen mit exotischen Quantenzahlen aufgebaut sein? Geben Sie mindestens zwei unterschiedliche Möglichkeiten an. (2 Punkte)

Aufgabe 4: τ -Zerfälle, Anzahl der Farben

[LA: komplette Aufgabe] (12 Punkte)

Das τ -Lepton zerfällt über die schwache Wechselwirkung, vermittelt durch den Austausch eines geladenen W -Bosons. Mit Hilfe der Crossing-Symmetrie kann man den Zerfall eines W^- in τ -Leptonen ableiten.

$$\tau^- \rightarrow \nu_\tau + W^- \xrightarrow{\text{crossing}} W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$$

Eine Eigenschaft der schwachen Wechselwirkung ist, dass die W -Bosonen an alle Quark- und Lepton-Dubletts gleich koppeln.

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}$$

Für den τ -Zerfall gilt also, dass man im Endzustand ein ν_τ findet, und die Zerfallsprodukte des W^- aus einem dieser Dubletts stammen.

1. Zeichnen Sie den Feynman-Graphen für den Zerfall des τ^- in ein Elektron (und Neutrinos). (3 Punkte)
2. Welche Dubletts können beim τ -Zerfall im Endzustand auftreten? (3 Punkte)
3. Nehmen Sie an es gäbe nur eine Farbe, wie groß wäre dann das Verhältnis

$$\frac{\sum_\ell BR(\tau^- \rightarrow \nu_\tau + \ell^- + \bar{\nu}_\ell)}{BR(\tau^- \rightarrow \nu_\tau + \text{Hadronen})}$$

wobei ℓ über alle beteiligten Lepton-Dubletts läuft und BR das Verzweungsverhältnis des Zerfalls bezeichnet. (3 Punkte)

4. Wie ändert sich das obige Verhältnis, wenn es 3 Farben gibt? Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit dem tatsächlichen Verhältnis (PDG). (3 Punkte)