

# Kern- und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2017/2018,  
Prof. Dr. H. Lacker, Dr. J. Dietrich, Dr. S. Mergelmeyer

## Hausaufgabenblatt 15

Abgabe: 12.02.2017 bis 13:15 vor Raum NEW 15 1'413/414

### Aufgabe 1: $J/\psi$ -Verzweigungsverhältnisse und -Zerfallsbreite

Die Energieabhängigkeit des  $e^+e^-$ -Wirkungsquerschnitts in ein Fermion-Antifermion-Paar  $f\bar{f}$  über eine  $J = 1$ -Resonanz ist gegeben durch:  $\sigma_f = \frac{3\pi}{s} \frac{\Gamma_e \Gamma_f}{(\sqrt{s}-M)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$ , mit der partiellen

Zerfallsbreite  $\Gamma_f$  der Resonanz in  $f\bar{f} = e^+e^-, \mu^+\mu^-, q\bar{q}$ , wobei letztere hadronisieren.

Die Messung  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-, \text{Hadronen}$  als Funktion von  $\sqrt{s}$  zeigt in der Nähe von  $M = 3,1$  GeV die  $J/\psi$ -Resonanz. Die Breite der Kurve wird durch die Energieunsicherheit des Elektron-/Positronstrahls dominiert. Die Linienbreite  $\Gamma(J/\psi)$  ist also wesentlich kleiner als diese beobachtete Breite. Der gemessene Wirkungsquerschnitt weicht auch aus folgenden Gründen von obiger Formel ab: 1. Im Anfangszustand kann ein Photon abgestrahlt werden, was zu einer Erhöhung des Wirkungsquerschnittes für  $\sqrt{s} > M$  führt. 2. Neben Bildung der Resonanz kann die  $e^+e^-$ -Annihilation auch über ein virtuelles Photon stattfinden, was zu Untergrundereignissen führt. 3. Die Amplituden über die Resonanz und über das virtuelle Photon interferieren, was zu einer Verringerung (Erhöhung) der Ereigniszahlen unterhalb (oberhalb) von  $\sqrt{s} = M$  führt.

- Wie groß ist der  $e^+e^-$ -Annihilationsquerschnitt über ein virtuelles Photon in *Hadronen* (für  $q = u, d, s$ ) bei  $\sqrt{s} = M = 3097$  MeV? (1 Punkt)
- Wie groß ist  $\sigma(e^+e^- \xrightarrow{\gamma^*} \text{Hadronen})$  im Integrationsbereich  $|\cos\theta| < 0,6$  im Vergleich zum über  $|\cos\theta| < 1$  integrierten Wirkungsquerschnitt? (1 Punkt)
- Warum ist der  $e^+e^-$ -Wirkungsquerschnitt über ein virtuelles Photon in den Endzustand  $e^+e^-$  deutlich größer als für  $\mu^+\mu^-$  bzw. *Hadronen*? (1 Punkt)
- Bestimmen Sie aus dem bei  $\sqrt{s} = M$  gemessenen Wirkungsquerschnitt  $\sigma_e$  nach Abzug des aus der Abbildung abschätzbaren  $\sigma(e^+e^- \xrightarrow{\gamma^*} e^+e^-)$ . Berücksichtigen Sie, dass der gemessene Wirkungsquerschnitt nur über  $|\cos\theta| < 0,6$  integriert wurde. (1 Punkt)  
Hinweis: Die Winkelabhängigkeit für das gestreute Fermion in  $e^+e^- \xrightarrow{J/\psi} f\bar{f}$  ist gleich der in  $e^+e^- \xrightarrow{\gamma^*} \mu^+\mu^-$  für das gestreute Myon. (Warum?)
- Wiederholen Sie (d) für  $\sigma_{\text{Had.}}$ , wobei Sie für den Untergrundabzug von  $e^+e^- \xrightarrow{\gamma^*} \text{Hadronen}$  das Ergebnis aus Teilaufgabe (a) verwenden. (1 Punkt)  
Hinweis: Diesmal wurde über den gesamten Winkelbereich integriert.
- Zeigen Sie, dass in guter Näherung gilt:  $\Sigma_f = \int_0^\infty \sigma_f d\sqrt{s} = \frac{6\pi^2 \Gamma_e \Gamma_f}{M^2 \Gamma}$ , wobei Sie den Term  $\frac{1}{s} = \frac{1}{M^2}$  setzen (Bronstein erlaubt). (1 Punkt)
- Unter der Annahme, dass der gemessene Wirkungsquerschnitt als Funktion von  $\sqrt{s}$  wegen der Strahlenergieunsicherheit in guter Näherung durch eine Gaußfunktion beschrieben wird, kann man das Integral durch Maximum mal Halbwertsbreite abschätzen.

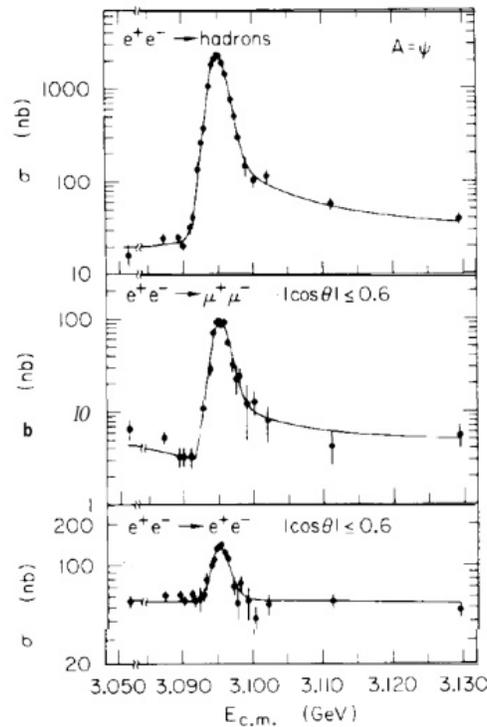


Abbildung 1: Entdeckung der  $J/\psi$ -Resonanz

Mit den gemessenen  $\Sigma_f$  (unter der Annahme  $\sigma_e = \sigma_\mu$ ) bestimmen Sie aus (d) und (e)  $BF(J/\psi \rightarrow e^+e^-)$ ,  $BF(J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-)$  und  $BF(J/\psi \rightarrow \text{Hadronen})$ . (1 Punkt)

- (h) Bestimmen Sie aus (d) und (e) und den von Ihnen aus der Abbildung abgeschätzten Werten für  $\Sigma_f$  die totale Zerfallsbreite  $\Gamma(J/\psi)$ . (1 Punkt)  
(Woran könnte es liegen, dass ihr Wert höher ist als der PDG-Wert?)

## Aufgabe 2: CP-Verletzung im Kaon-System

- (a) Zeichnen Sie Feynman-Diagramme für  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ,  $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ . (2 Punkte)  
 $K^0$  und  $\bar{K}^0$  können also in die selben Endzustände zerfallen und daher mischen.
- (b) Zeigen Sie, dass für große Zeiten, wenn also ein Strahl neutraler Kaonen in extrem guter Näherung in einen reinen  $K_L$ -Strahl übergegangen ist, gilt:

$$\frac{R(K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e) - R(K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e)}{R(K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e) + R(K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e)} = \frac{|p|^2 - |q|^2}{|p|^2 + |q|^2} \text{ (siehe Vorlesung)}. \text{ (2 Punkte)}$$

Hinweis: Die Raten sind durch die Wahrscheinlichkeit bestimmt, ein Kaon im  $K_L$ -Strahl zu finden, das in den genannten Endzustand zerfallen kann.

- (c) Ein neutrales Kaon ( $K^0$ ) mit einem Impuls von 1,1 GeV/c durchquert eine Strecke von 20 m. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, nach dieser Flugstrecke ein  $K_S$  bzw. ein  $K_L$  zu beobachten? (3 Punkte)  
Verwenden Sie  $\delta_L$  aus der Vorlesung und alle anderen gebrauchten Größen aus dem Particle Data Booklet.