Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Physik

Sommersemester 2009

Dr. U. Husemann, C. Lange

4. Übungsblatt zur Vorlesung Experimentelle Elementarteilchenphysik

Abgabe: Freitag, 29. Mai 2009, bis 15:00 Uhr im Sekretariat EEP (V. Fetting, NEW 15 2'415) oder im Postfach U. Husemann (NEW 15 2'413)

Aufgabe 10: (8 Punkte)

Zur Messung der Luminosität beim e^+e^--Speicherring LEP wird die Bhabha-Streuung als Referenzreaktion verwendet. Der differenzielle Wirkungsquerschnitt lautet in niedrigster Ordnung

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2s}\,\frac{1+\cos^4\frac{\theta}{2}}{\sin^4\frac{\theta}{2}} \quad \overset{\theta\to 0}{\approx} \quad \frac{16\,\alpha^2}{s}\,\frac{1}{\theta^4}.$$

Der Detektor zum Nachweis der Bhabha-Reaktion besteht aus zwei Komponenten, die sich in den Endkappen des Gesamtdetektors in unmittelbarer Strahlrohrnähe befinden. Er hat die Aufgabe, so viele Bhabha-Ereignisse aufzuzeichnen, dass die statistische Unsicherheit auf die Rate von Bhabha-Ereignissen kleiner ist als die statistische Unsicherheit in der Messung der Rate von Z-Ereignissen bei $\sqrt{s} \approx m_Z$ ($\sigma_Z \approx 35$ nb).

i) Bis zu welchem Winkel zur Strahlachse muss der Luminositätszähler sensitiv sein?

ii) Welchen Detektortyp würden Sie verwenden, um Bhabha-Ereignisse zweifelsfrei nachzuweisen? Begründen Sie Ihre Wahl. Beschreiben Sie die experimentelle Signatur für Bhabha-Ereignisse. Wie dick wird Ihr Detektor etwa?

iii) Die zur Endfokussierung des Strahls benötigten supraleitenden Quadrupolmagnete können nicht weiter als 3 m vom Wechselwirkungspunkt entfernt sein, damit am Wechselwirkungspunkt die Strahldivergenz groß und somit die Strahlgröße klein wird. Wo stellen Sie Ihren Luminositätszähler auf? Wie groß ist der maximal zulässige Strahlrohrdurchmesser am Ort des Luminositätszählers?

Aufgabe 11: (10 Punkte)

Betrachten Sie den Zerfall des Z-Bosons. Die Zerfallsbreite des Z-Bosons ist gegeben als:

$$\Gamma_{Z\to f\bar{f}} = \frac{\alpha\, m_Z}{12\sin^2\theta_W\cos^2\theta_W}\left((g_V^f)^2 + (g_A^f)^2\right).$$

i) In welche Fermion-Antifermion-Paare kann das Z zerfallen?

ii) Berechnen Sie das Verhältnis der Z-Zerfallsbreiten in neutrale und geladene Leptonen. Verwenden Sie $\sin^2\theta_W \approx 0{,}25$.

iii) Bestimmen Sie das Verhältnis der Z-Zerfallsbreiten in up-artige und down-artige Quarks.

iv) Ermitteln Sie die Verzweigungsverhältnisse für die einzelnen Fermion-Antifermion-Paare und vergleichen Sie diese mit den im PDG gegebenen Werten.

v) Berechnen Sie die Lebensdauer des Z-Bosons.

Aufgabe 12: (12 Punkte)

Zeichnen Sie die 90%-Vertrauensniveau-Bereiche im (g_A^ℓ, g_V^ℓ)-Diagramm (Lepton-Universalität vorausgesetzt), die durch folgende Meßwerte eingeschränkt werden:

a) $\nu_\mu e^- \to \nu_\mu e^-$: $\frac{\sigma}{s} = (3{,}7 \pm 0{,}7) \cdot 10^{-11}\ \mathrm{GeV}^{-4}$

b) $\bar{\nu}_\mu e^- \to \bar{\nu}_\mu e^-$: $\frac{\sigma}{s} = (4{,}1 \pm 0{,}9) \cdot 10^{-11}\ \mathrm{GeV}^{-4}$

c) $\bar{\nu}_e e^- \to \bar{\nu}_e e^-$: $\frac{\sigma}{s} = (1{,}1 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-10}\ \mathrm{GeV}^{-4}$

d) $e^+e^- \to Z \to \ell^+\ell^-$: $\Gamma_\ell = (83{,}91 \pm 0{,}10)$ MeV
$m_Z = (91{,}1867 \pm 0{,}0020)$ GeV
$A_{\mathrm{FB}}^\ell = 0{,}0171 \pm 0{,}0010$

e) $e^+e^- \to Z \to \tau^+\tau^-$: $\langle \mathcal{P}_\tau \rangle = -0{,}1406 \pm 0{,}0048$

f) $e^+e^-(\mathrm{pol.}) \to Z$: $A_{\mathrm{LR}} = 0{,}1547 \pm 0{,}0032$

Gibt es im Rahmen der Fehler eine konsistente gemeinsame Lösung? Ist diese eindeutig? Hinweis: $1\,\sigma$ entspricht 68% Vertrauensniveau.

Aufgabe 13: (14 Punkte)

In der Vorlesung wurde die Winkelabhängigkeit des Wirkungsquerschnitts $\sigma(e^+e^- \to Z \to f\bar{f})$ als zusammengesetzt aus folgenden vier Wirkungsquerschnitten für unterschiedliche Helizitäten der einfallenden Teilchen (L, R) und der auslaufenden Teilchen (l, r) eingeführt:

$$\begin{aligned}
\frac{\mathrm{d}\sigma_{Ll}}{\mathrm{d}\cos\theta} &\sim g_{Le}^2\, g_{Lf}^2 (1+\cos\theta)^2, & \frac{\mathrm{d}\sigma_{Rr}}{\mathrm{d}\cos\theta} &\sim g_{Re}^2\, g_{Rf}^2 (1+\cos\theta)^2, \\
\frac{\mathrm{d}\sigma_{Lr}}{\mathrm{d}\cos\theta} &\sim g_{Le}^2\, g_{Rf}^2 (1-\cos\theta)^2, & \frac{\mathrm{d}\sigma_{Rl}}{\mathrm{d}\cos\theta} &\sim g_{Re}^2\, g_{Lf}^2 (1-\cos\theta)^2.
\end{aligned} \tag{1}$$

Dabei wird angenommen, dass an jedem Vertex die Helizität erhalten ist.

i) Zeigen Sie, dass der in der Vorlesung angegebene Zusammenhang für den differenziellen Wirkungsquerschnitt gilt:

$$\frac{\mathrm{d}\sigma^f}{\mathrm{d}\cos\theta} = \frac{3}{8}\sigma_{\mathrm{tot}}^f \left[(1+\cos^2\theta) + 2\mathcal{A}_e\mathcal{A}_f\cos\theta\right].$$

Hinweis: Sortieren Sie die Winkelabhängigkeit zunächst nach Termen $\sim 1+\cos^2\theta$ und $\sim \cos\theta$. Benutzen Sie dann die Definition $\mathcal{A}_f := (g_{Lf}^2 - g_{Rf}^2)/(g_{Lf}^2 + g_{Rf}^2)$.

ii) Zeigen Sie, dass für die Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie folgender Zusammenhang gilt:

$$A_{\mathrm{FB}}^f := \frac{\sigma_F^f - \sigma_B^f}{\sigma_F^f + \sigma_B^f} = \frac{3}{4}\mathcal{A}_e\mathcal{A}_f.$$

iii) Wenn wie bei SLC der Elektronenstrahl polarisiert werden kann ($\mathcal{P}_e$ Grad der rechtshändigen Polarisation), verändern sich in den Gleichungen (1) die rechts- und die linkshändigen Kopplungen gemäß $g_L^2 \to (1-\mathcal{P}_e)g_L^2$ und $g_R^2 \to (1+\mathcal{P}_e)g_R^2$. Zeigen Sie, dass in diesem Fall der in der Vorlesung angegebene Zusammenhang gilt:

$$\frac{\mathrm{d}\sigma^f}{\mathrm{d}\cos\theta} = \frac{3}{8}\sigma_{\mathrm{tot}}^f \left[(1-\mathcal{P}_e\mathcal{A}_e)(1+\cos^2\theta) + 2(\mathcal{A}_e - \mathcal{P}_e)\mathcal{A}_f\cos\theta\right].$$