Teilchenphysik I

Übung 1: ep-Streuung an HERA

Aktuelle Informationen zur Vorlesung und zu den Übungen stehen im World-Wide-Web unter

`http://www-zeus.physik.uni-bonn.de/~paul/tp.html`
`http://www-zeus.physik.uni-bonn.de/~critten/eti/ss2000/html/title.html`

1 Anwesenheitsaufgaben

1.1 ep-Streuung an HERA

Im Speicherring HERA am DESY in Hamburg, der einen Umfang von 6336 m hat, wurden 1995 Positronen mit einer Energie von $E_\mathrm{e} = 27.5$ GeV mit Protonen einer Energie von $E_\mathrm{p} = 820$ GeV zur Kollision gebracht. Damit wollte man insbesondere den inneren Aufbau des Protons untersuchen. Berechnen Sie den Impuls der Strahlteilchen und überzeugen Sie sich davon, daß $E \approx |\vec{p}|$ eine gute Näherung darstellt.

Der Strom der umlaufenden Protonen beträgt 160 mA. Welche Gesamtenergie enthält der Protonstrahl. Welche Geschwindigkeit muß ein 7.5 t LKWs erreichen, um diese kinetische Energie zu haben?

1.2 Schwerpunktsenergie

Aufgrund der asymmetrischen Strahlenergien ist das Laborsystem nicht das Schwerpunktsystem der Positron-Proton-Streuung. Ermitteln Sie die Lorentz-Transformation in dieses ep-Schwerpunktsystem und berechnen Sie die Schwerpunktsenergie E^{ep}_{CM}. (Der Protonstrahl definiert die positive z-Achse.) Welche anschauliche Bedeutung hat die Schwerpunktsenergie? Zur Erinnerung:

$$\begin{pmatrix} E^* \\ p_x^* \\ p_y^* \\ p_z^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & 0 & 0 & -\gamma\beta \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\gamma\beta & 0 & 0 & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E^{lab} \\ p_x^{lab} \\ p_y^{lab} \\ p_z^{lab} \end{pmatrix} \tag{1}$$

wobei $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ ist.

1.3 Diskussion eines Streuereignisses

Die Positron-Proton-Kollisionen werden mit den beiden Detektoren H1 und ZEUS beobachtet. Abb. 1 zeigt das mit dem ZEUS-Detektor aufgezeichnete Ergebnis einer solchen

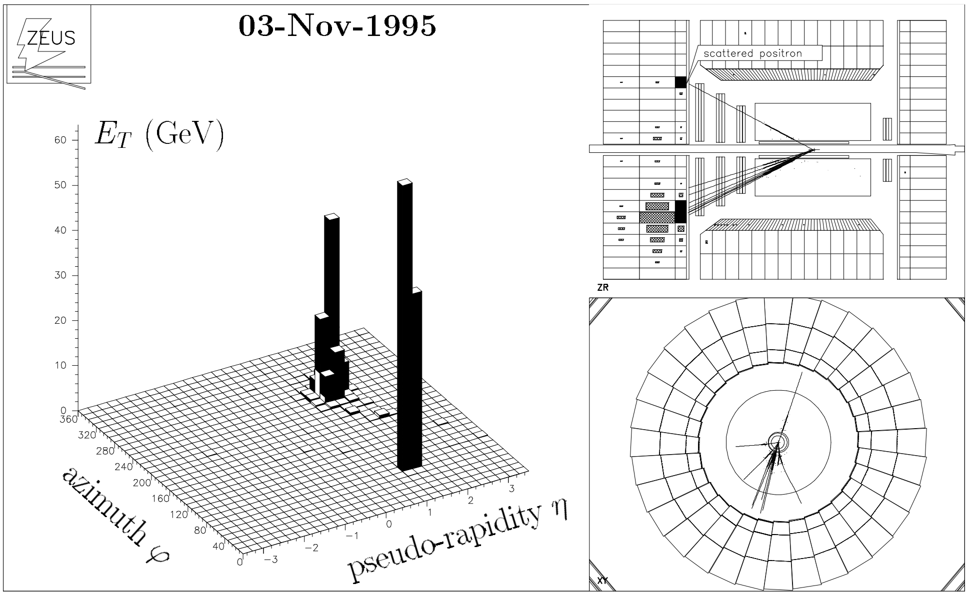

Abbildung 1: Ein Streuereignis im ZEUS-Detektor. In der Abbildung oben rechts kommt der Protonstrahl von rechts, der Positronstrahl von links. Für das gestreute Positron wurde eine Energie von $E_{e'} = 220$ GeV und ein Streuwinkel von $\theta_{e'} = 27.8°$ gemessen. Die gemessene Energie des Jets beträgt $E_{Jet} = 235$ GeV. (Die Pseudorapidität hängt über $\eta = -\ln\tan\theta/2$ mit dem Polarwinkel θ zusammen.)

ep-Streuung. Welche Detektorkomponenten sind notwendig, um den Endzustand untersuchen zu können, und was wird in diesem Ereignis beobachtet?

Interpretieren Sie dieses Ereignis. Kann man den in der unteren Detektorhälfte beobachteten Teilchen-Jet als die Überreste des Protons verstehen?

Wir wissen seit etwa 30 Jahren, daß das Proton aus elektrisch geladenen Quarks und neutralen Wechselwirkungsteilchen (Gluonen) aufgebaut ist. Skizzieren Sie die ep-Streuung als Positron-Quark-Streuung.

1.4 Die Variable x

Mit der Variablen x wird der Anteil an der Proton-Energie bezeichnet, der von dem getroffenen Quark getragen wird. Wie lautet der Zusammenhang zwischen der ep-Schwerpunktsenergie E_{CM}^{ep} und der Positron-Quark-Schwerpunktsenergie E_{CM}^{eq}? Schätzen Sie den Wert von x in dem gezeigten Ereignis mithilfe der angegebenen Energien des gestreuten Positrons und des Jets ab. Warum kann dieser Meßwert von dem wahren Wert in der Streuung abweichen?

Man kann die Größe x auch alleine aus dem Winkel und der Energie des gestreuten Positrons, oder auch aus den Winkeln von Positron und Jet bestimmen. Welche Vorteile kann das haben?

1.5 Auflösungsvermögen

Das maximale Auflösungsvermögen Δx, welches sich mit HERA erreichen läßt, kann mit der Heisenberg'schen Unschärferelation abgeschätzt werden:

$$\Delta x \approx \frac{\hbar}{\Delta p} = \frac{1}{\Delta p}. \tag{2}$$

Welcher Impuls ist für Δp anzusetzen? Überzeugen Sie sich, daß Δx in allen entlang der Strahlachse geboosteten Bezugssystemen den gleichen Wert hat. Wie groß kann das Auflösungsvermögen maximal werden?

1.6 Erlaubte/Verbotene Prozesse

Welche von den folgenden Prozessen sind kinematisch oder dynamisch nicht erlaubt? Wenn dynamisch nicht erlaubt, welche Quantenzahlerhaltungsregeln werden verletzt? Wenn der Prozess erlaubt ist, dann für welche Wechselwirkungen?

1. $p + \overline{p} \to \pi^+ + \pi^0$
2. $e^+ + e^- \to \mu^- + \tau^+$
3. $\Sigma^0 \to \Lambda + \pi^0$
4. $\Sigma^- \to n + \pi^-$
5. $e^+ + e^- \to \mu^+ + \mu^-$
6. $\mu^- \to e^- + \overline{\nu}_e$
7. $\Delta^+ \to p + \pi^0$
8. $\overline{\nu}_e + p \to n + e^+$
9. $e^- + p \to \nu_e + \pi^0$
10. $p + p \to \Sigma^+ + n + K^0 + \pi^+ + \pi^0$
11. $p \to e^+ + \gamma$

2 Hausaufgaben

2.1 Anwesenheitsaufgaben 1.1 - 1.5 (5 Punkte)

Lösen Sie die in der Übung besprochenen Anwesenheitsaufgaben 1.1 - 1.5!

2.2 Verbotene/Erlaubte Prozesse (5 Punkte)

Wie in der Anwesenheitsaufgabe.

1. $p + p \to p + p + p + \overline{p}$
2. $n + n \to \pi^+ + \pi^- + \pi^0$
3. $\pi^+ + n \to \pi^- + p$
4. $K^- \to \pi^- + \pi^0$
5. $\Sigma^+ + n \to \Sigma^- + p$
6. $\Sigma^0 \to \Lambda + \gamma$
7. $\Xi^- \to \Lambda + \pi^-$
8. $\Xi^0 \to p + \pi^-$
9. $\pi^- + p \to \Lambda + K^0$
10. $\pi^0 \to \gamma + \gamma$
11. $\Sigma^- \to n + e^- + \overline{\nu}_e$