

Moderne Experimentalphysik III (Teilchenphysik) (SS 18)

<http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~rwolf/teaching/ss18-teilchen.html>

Übungsblatt 1

Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

Namen der bearbeitenden Gruppe:

Aufgabe 1: Mandelstam-Variablen**(5 Punkte)**

Betrachten Sie eine Reaktion zwischen zwei Teilchen mit Viererimpulsen p_1^μ und p_2^μ . Die auslaufenden Teilchen sollen die Impulse p_3^μ und p_4^μ haben. Einmal soll die Reaktion im Schwerpunktsystem betrachtet werden und einmal im Ruhesystem des Teilchens 2 (“target”), das mit dem Laborsystem zusammenfallen soll (“fixed-target experiment”). Zeigen Sie unter der Annahme kleiner Massen ($m_i \ll E_i$), dass die folgenden Beziehungen gelten:

Größe	Schwerpunktsystem	Laborsystem
$s = (p_1^\mu + p_2^\mu)^2 = (p_3^\mu + p_4^\mu)^2$	$4 E_1^{*2}$	$2 m_2 E_1$
$t = (p_1^\mu - p_3^\mu)^2 = (p_4^\mu - p_2^\mu)^2$	$\frac{s}{2} (\cos \theta^* - 1)$	$2 m_2 (E_3 - E_1)$
$u = (p_1^\mu - p_4^\mu)^2 = (p_3^\mu - p_2^\mu)^2$	$-\frac{s}{2} (\cos \theta^* + 1)$	$-2 m_2 E_3$

$$s + t + u = \sum_{i=1}^4 m_i^2$$
Aufgabe 2: Kinematik am HERA Beschleuniger**(10 Punkte)**

HERA war ein Speicherring mit einem Umfang von 6,3 km am Deutschen Elektron Synchrotron (DESY) in Hamburg, an dem Elektronen mit einem Impuls von 27,5 GeV an Protonen mit einem Impuls von 920 GeV gestreut wurden. Wählen Sie für die Beantwortung der folgenden Fragen das Koordinatensystem so, dass sich die Protonen im Laborsystem entlang der positiven z-Achse bewegen.

a)

Berechnen Sie die Geschwindigkeit β und die Energie der Elektronen und Protonen.

b)

Stellen Sie die Vierervektoren für Elektronen und Protonen auf und berechnen Sie die Schwerpunktsenergie der Elektron-Proton-Kollision.

c)

Eine wichtige Ereignisvariable, um bei den HERA Experimenten überprüfen zu können, dass das Elektron nicht bereits vor dem Streuprozess Energie durch Abstrahlung verloren hatte, und dass der hadronische Endzustand vollständig im Detektor nachgewiesen werden konnte war die Summe

$$\sum_i (E_i - p_{zi})$$

über die Energie E_i und die z-Komponente des Impulses p_{zi} aller Energiedepositionen i im Detektor. Welchen Wert erwarten Sie für diese Größe, falls die obigen Bedingungen erfüllt sind?

d)

Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich der Schwerpunkt der kollidierenden Teilchen am HERA Beschleuniger durch den Detektor?

e)

Elektronen der kosmischen Höhenstrahlung stoßen in der Atmosphäre mit (ruhenden) Protonen zusammen. Wie hoch muss die Energie der Elektronen sein, damit die Schwerpunktsenergie ebenso hoch ist wie bei HERA?

Aufgabe 3: Wirkungsquerschnitt und Stoßparameter

(5 Punkte)

Ein paralleler, uniformer Strahl kleiner Kugeln (der Masse m und des Radius r) wird an einer großen Kugel (der Masse M und des Radius R) elastisch gestreut. Es gelte $M \gg m$ und $R \gg r$.

a)

Berechnen Sie den differentiellen und totalen geometrischen Wirkungsquerschnitt (Hinweis: verwenden Sie die Relation $\sin(x + y) = \sin(x) \cos(y) + \cos(x) \sin(y)$).

b)

Wie groß ist der Anteil der kleinen Kugeln, die unter einem Streuwinkel $\theta \leq 30^\circ$ gestreut werden.

c)

Der totale Wirkungsquerschnitt für Elektron-Proton-Streuung beträgt bei HERA-Energien etwa 10 mb. Vergleichen Sie diese Zahl mit dem geometrischen Querschnitt des Protons (nehmen Sie hierzu einen Radius von 0,862 fm für das Proton an). Was bedeutet dieses Resultat?

d)

Der Speicherring HERA wurde in den Jahren 1999 – 2000 mit einer *bunch crossing* Rate, mit der die gebündelten Elektronen- und Protonenpakete zur Kollision gebracht wurden, von 10 MHz, und mit einer instantanen Luminosität von $\mathcal{L} = 10^{31}$ [Kollisionen] $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ betrieben. Gehen Sie davon aus, dass die Anzahl der Kollisionen pro *bunch crossing* nach Poisson verteilt sind. Und nutzen Sie die Angabe des totalen Wirkungsquerschnitts aus Aufgabenteil c). In welchem Anteil der *bunch crossings* fand tatsächlich eine Elektron-Proton-Kollision statt? In welchem Anteil der *bunch crossings* fand mehr als eine Kollision statt?