

---

**Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik II**  
**Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik**  
**Sommersemester 2011/12**

---

Blatt Nr. 1

19. April 2012

### Aufgabe 1 : Elektron-Quark-Streuung

Der allgemeine Ausdruck für den Wirkungsquerschnitt einer Zweiteilchenreaktion  $p_a + p_b \rightarrow p_1 + p_2$  ist gegeben durch

$$d\sigma = \frac{(2\pi)^{-2}}{4 \sqrt{(p_a p_b)^2 - m_a^2 m_b^2}} |\mathcal{M}|^2 \delta^4(p_1 + p_2 - p_a - p_b) \frac{d^3 p_1}{2p_1^0} \frac{d^3 p_2}{2p_2^0}$$

mit dem Matrixelement  $\mathcal{M}$  aus den Feynmanregeln.

- Bestimmen Sie den Wirkungsquerschnitt  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  im Schwerpunktsystem (CMS) für den speziellen Fall, dass alle Massen vernachlässigt werden können,  $m_a = m_b = m_1 = m_2 = 0$ . Der Streuwinkel  $\theta$  ist dabei definiert als der Winkel zwischen  $\vec{p}_a$  und  $\vec{p}_1$ .
- Betrachtet werde die Elektron-Quark-Streuung im CMS in der Hochenergienäherung, wo man alle Massen vernachlässigen kann,  $e(p) + q(k) \rightarrow e(p') + q(k')$   
Berechnen Sie den unpolarisierten Wirkungsquerschnitt  $\frac{d\sigma}{dt}$  ausgedrückt in den Mandelstam-Variablen  $s = (p + k)^2$ ,  $t = (p - p')^2$ ,  $u = (p - k')^2$ .
- Was ändert sich am Ergebnis, wenn statt der Streuung am Quark die Streuung am Antiquark erfolgt?

Formeln zum Umgang mit Dirac-Matrizen und Spinoren (siehe Übungen im WS11/12)

$$(\bar{u}_1 \Gamma u_2)^* = \bar{u}_2 \bar{\Gamma} u_1$$

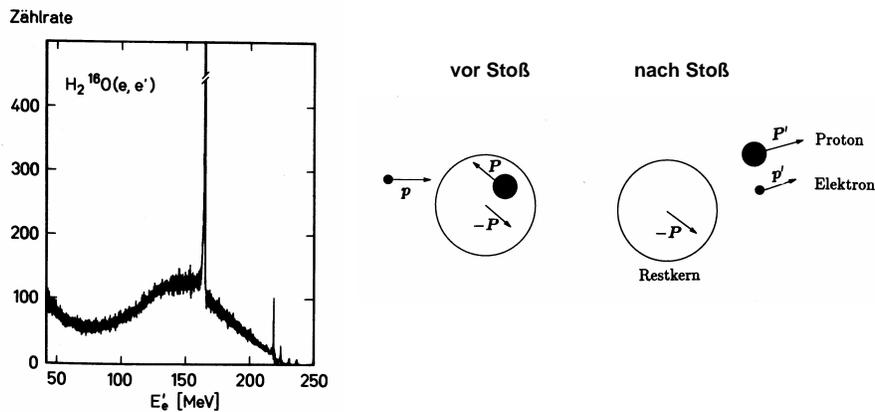
$$\sum_{\sigma} u_{\sigma}(p) \bar{u}_{\sigma}(p) = \not{p}, \quad \sum_{\sigma} v_{\sigma}(p) \bar{v}_{\sigma}(p) = \not{p}$$

$$\text{Tr}(\not{a} \gamma_{\mu} \not{b} \gamma_{\nu}) = 4(a_{\mu} b_{\nu} + a_{\nu} b_{\mu} - g_{\mu\nu} a \cdot b)$$

### Aufgabe 2 : Elastische und inelastische Streuung von Elektronen an Kernen

Die Abbildung zeigt ein Energiespektrum von Elektronen, die an einem H<sub>2</sub>O-Target gestreut wurden. Die Daten wurden am Linearbeschleuniger MAMI-A in Mainz bei 246 MeV Strahlenergie unter einem Streuwinkel von 148.5° aufgenommen.

- Berechnen sie die Elektronenenergie für elastische Streuung an den Wasserstoffkernen.
- Berechnen sie die Elektronenenergie für elastische Streuung am Grundzustand sowie für inelastische Streuung zum ersten angeregten Zustand ( $E^* = 6049$  keV) von  $^{16}\text{O}$ .



- c. Lassen sich in dieser Messung Strukturen innerhalb des  $^{16}\text{O}$ -Kerns auflösen?
- d. Bei welcher Energie würden sie Elektronen erwarten, die an einem im  $^{16}\text{O}$ -Kern gebundenen Proton gestreut werden und dieses aus dem Kern herausschlagen (Abbildung, rechts)? Nehmen sie dafür zunächst an, die Protonen seien in Ruhe. Gibt es den zugehörigen Peak im Spektrum?
- e. Im Kern ist ein Proton in einem Potenzialtopf der Tiefe  $-S$  gebunden und hat eine Impulsverteilung, wobei der maximale Impuls etwa  $230 \text{ MeV}/c$  beträgt (dieser sogenannte *Fermi-Impuls*  $p_F$ ). Die Streuung von Elektronen an im Kern gebundenen Protonen wird als *quasielastische* Streuung bezeichnet.

Berechnen sie die Breite der Verteilung des Nukleonenimpulses in Strahlrichtung  $\sigma_{P_z}$  (Standardabweichung). Daraus lässt sich nun die Breite der Verteilung der Energien für Elektronen bestimmen, die an Protonen im Kern gestreut werden. Sehen sie jetzt den zugehörigen "Peak" im gemessenen Spektrum?

### Aufgabe 3 : Tiefinelastische Elektron-Proton Streuung

Am HERA Speicherring am DESY in Hamburg wurde (u.a. mit dem ZEUS-Detektor) die tiefinelastische Streuung von Elektronen an Protonen untersucht. Dazu lässt man Elektronen mit einer Energie von  $27.5 \text{ GeV}$  frontal mit Protonen ( $E = 920 \text{ GeV}$ ) kollidieren.

- a. Wie groß ist die Schwerpunktsenergie? Warum wurden die Energien nicht so gewählt, dass der Schwerpunkt im Laborsystem in Ruhe ist?
- b. Geben sie den Vierer-Impulsübertrag  $Q^2$  in Abhängigkeit des Elektron-Streuwinkels  $\theta$ , des Streuwinkels  $\phi$  des Quarks und der Energie des Elektrons vor dem Stoß an. Wie kann man  $\phi$  experimentell bestimmen?
- c. Welches ist der maximal mögliche Wert für  $Q^2$  bei HERA? Welche räumliche Auflösung der Protonenstruktur wird damit bestenfalls erreicht?
- d. Welchen  $Q^2$ -Bereich deckt ZEUS ab, wenn man annimmt, dass der Detektor in einem Winkelbereich zwischen  $7^\circ$  und  $178^\circ$  sensitiv ist und die Schwelle für den Nachweis von Elektronen bei  $5 \text{ GeV}$  liegt? Welcher x-Bereich ist dadurch zugänglich?