

---

# Übungen zur Vorlesung Physik IV

## – Kern- und Teilchenphysik –

Frank Ellinghaus

Sommersemester 2019

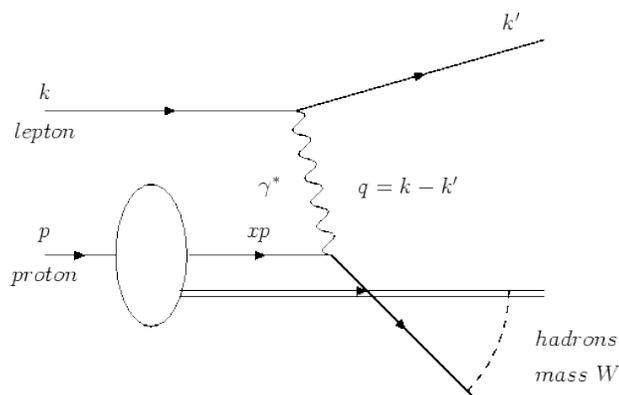
Universität Wuppertal

---

### BLATT VIII

ABGABE BIS MONTAG, DEN 17. JUNI UM 10:00  
(IN DAS POSTFACH VON F. ELLINGHAUS IN GEBÄUDE D, EBENE 9)

#### 1. Kinematik der tiefinelastischen Elektron-Proton Streuung (6 Punkte)



Tief inelastische Elektron-Proton Streuung kann als elastische Streuung an Partonen, also an den Bestandteilen des Protons, angesehen werden.

In der Abbildung oben trägt das Parton, auf das das Photon einwirkt, einen Teil  $x$  des Protonimpulses  $P$ . Die Impulse des einfallenden und gestreuten Elektrons sind  $k$  und  $k'$ , der Impulsübertrag ist  $q = k - k'$  ( $P$ ,  $k$ ,  $k'$  und  $q$  sind Vierer-Vektoren).

(a) Björken  $x$ : Zeigen Sie, dass  $x$  gegeben ist durch  $x_{\text{Björken}}$ , wobei:

$$x_{\text{Björken}} = \frac{-q^2}{2P \cdot q}, \quad (1)$$

falls der transversale Impuls des Partons und die Massen des Partons, des Protons und des Elektrons vernachlässigt werden. Was ist der physikalisch sinnvolle Wertebereich von  $x$  ?

(b) Energieübertrag: Zeigen Sie, dass die Lorentzinvariante  $\nu = P \cdot q/M$  dem Energieübertrag  $\nu = E - E'$  des Elektrons im Protonruhesystem entspricht, wobei  $M$  der Proton Masse entspricht.

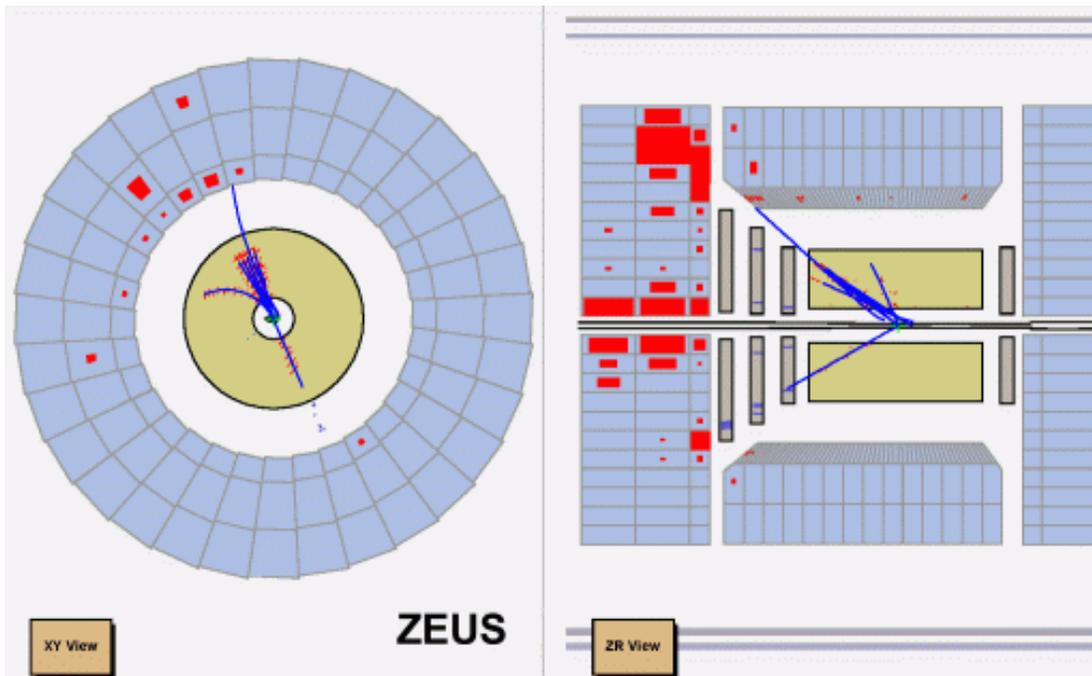
- (c) Invariante Masse der hadronischen Endzustände: Zeigen Sie, dass die invariante Masse  $W^2$  der hadronischen Endzustandsteilchen (“alles was rauskommt ausser dem gestreuten Elektron”) gegeben ist durch

$$W^2 = M^2 + 2M\nu(1 - x) \quad (2)$$

## 2. DIS bei ZEUS

(8 Punkte)

Die Abbildung unten zeigt ein typisches DIS-Ereignis, das mit dem ZEUS-Detektor am DESY in Hamburg aufgenommen wurde.



Hinweis: Das ZEUS Koordinatensystem ist ein rechtshändiges System, wobei die  $z$  Achse mit der Richtung des Protonstrahls übereinstimmt, die  $x$ -Achse auf die Mitte des HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) Beschleunigers zeigt und die  $y$  Achse zeigt nach oben (Richtung Erdoberfläche).

In der Abbildung oben rechts kommt das Positron von links mit einer Energie von  $E_{e^+} = 27.5$  GeV, das Proton von rechts mit einer Energie von  $E_p = 920$  GeV. Der Polarwinkel  $\theta$  wird in Bezug auf die Protonstrahlrichtung gemessen. Das Positron hat nach der Streuung einen Polarwinkel von  $\theta_{e^+} = 39.3^\circ$ . Es wird eine Energie von  $E'_{e^+} = 166$  GeV im elektromagnetischen Kalorimeter gemessen.

Die folgende Lorentzinvarianten beschreiben gewöhnlich die Kinematik eines Ereignisses:

$$x = \frac{-q^2}{2P \cdot q} \quad y = \frac{P \cdot q}{P \cdot k} \quad s = (k + P)^2 \quad Q^2 = -q^2. \quad (3)$$

- (a) Kinematische Variablen: Zeigen Sie dass  $Q^2 = xys$ . Vernachlässigen Sie alle Massen.

- (b)  $x$  und  $Q^2$ : Berechnen Sie  $x$  und  $Q^2$  für das obige Ereignis.  
Hinweis: Berechnen Sie  $x$  aus  $y$  und  $Q^2$ .
- (c) Es gibt auch Fälle, in denen kein gestreutes Positron detektiert wird. Woran kann das liegen ? Geben Sie mindestens zwei (deutlich verschiedene) Gründe an.

### 3. Strukturfunktionen

(6 Punkte)

Die Strukturfunktion des Protons  $F_2(x)$  ist gegeben als:

$$F_2(x) = \sum_{i=u,d,s} e_i^2 x f_i(x) \quad (4)$$

Die Summe geht über die Quarkflavors  $u, d, s$  sowie deren Anti-Quarks (unter Vernachlässigung schwererer Quarks), mit  $e_q$  der Ladung des Quarks  $q$  und der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $f_q(x)$  des Quarks  $q$  im Proton.

Skizzieren Sie die Strukturfunktion des Protons  $F_2(x)$  fuer ein festes  $Q^2$  unter der Annahme, dass das Proton

- ein einziges elementares Quark ist
- aus drei nicht-wechselwirkenden Quarks, also den Quarks im statischen Quarkmodell, besteht
- aus drei wechselwirkenden Quarks (den Valenzquarks) besteht
- aus Valenz- und Seequarks sowie aus Gluonen besteht

Zeichnen Sie zu jedem der vier Fälle ein Feynmandiagramm.