

Tiefinelastische Streuung am Nukleon und Fragmentationsfunktionen

Nicolas du Fresne von Hohenesche

Gruppen-Meeting 31.01.2011

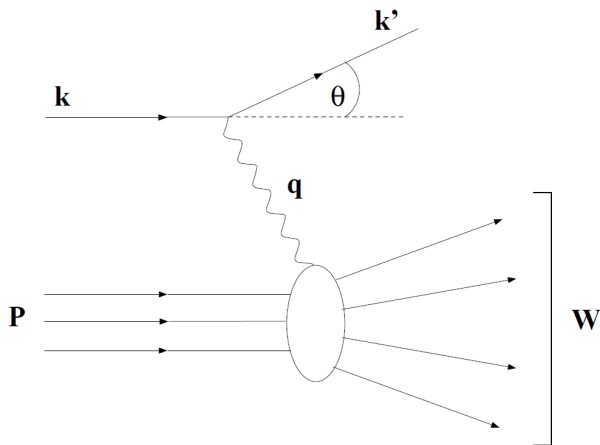
- Einblicke über innersten Strukturen der Materie durch Streuung
- Teilchenbeschleuniger mit hohen Energie notwendig (seit Ende der 60iger Jahre)
- Erzeugung von Resonanzen, die bei höheren Energie in ein Kontinuum übergehen
- \Rightarrow Tiefinelastische Streuung (oder Deep Inelastic Scattering)
- Impulsverteilung der Quarks (PDF)
- Durch Identifikation der Fragmente lassen sich ein Rückschluss über den Quark-Inhalt ziehen, insbesondere $s + \bar{s}$

Wechselwirkung des Projektils (hier: Muon) mit einem Quark des Nukleon-Verbundes

$$l + N \rightarrow l' + X$$

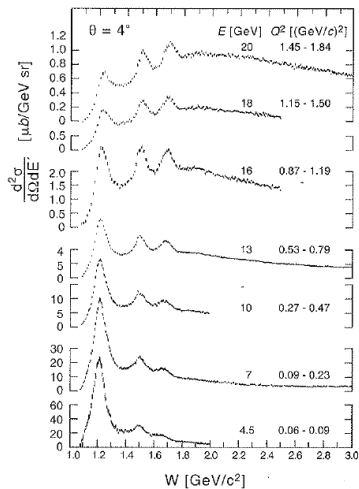
Wir unterscheiden zwischen

- inklusive Streuung \Rightarrow nur Messung des getreuten Leptons l'
- semiinklusive Streuung \Rightarrow Messung von l' und mindestens einem weiteren Hadron h
- exklusive Streuung \Rightarrow Messung aller Teilchen des Prozesses



$$W \equiv (\mathbf{P} + \mathbf{q})^2 \stackrel{\text{lab}}{=} M^2 + 2M\nu - Q^2$$

Tiefinelastisch, falls
 $W > 2...3 \text{ GeV}$



Kinematische Variablen

$$Q^2 \equiv -\mathbf{q}^2 = -(\mathbf{k} - \mathbf{k}') \stackrel{\text{lab}}{\simeq} 4EE' \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\nu \equiv \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}}{M} \stackrel{\text{lab}}{=} E - E'$$

$$y \equiv \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}}{\mathbf{P} \cdot \mathbf{k}} \stackrel{\text{lab}}{=} \frac{\nu}{E}$$

$$x \equiv \frac{Q^2}{2\mathbf{P} \cdot \mathbf{q}} \stackrel{\text{lab}}{=} \frac{Q^2}{2M\nu}$$

$$z \equiv \frac{\mathbf{p}_h \cdot \mathbf{P}}{\mathbf{q} \cdot \mathbf{P}} \stackrel{\text{lab}}{=} \frac{E_h}{\nu}$$

p_T = Transversal-Impuls

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} = \frac{\alpha^2}{MQ^4} \frac{E'}{E} L_{\mu\nu} W^{\mu\nu}$$

Der leptonische L und der hadronische W Tensor lassen sich in einen symmetrischen (Spinunabhängigen) und einen asymmetrischen (Spinabhängigen) Term aufteilen

$$L_{\mu\nu} = L_{\mu\nu}^{(S)} + iL_{\mu\nu}^{(A)}$$

$$W_{\mu\nu} = W_{\mu\nu}^{(S)} + iW_{\mu\nu}^{(A)}$$

gemischt symmetrische Term fallen weg, somit bleibt:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} = \frac{\alpha^2}{MQ^4} \frac{E'}{E} (L_{(S)}^{\mu\nu} W_{\mu\nu}^{(S)} + L_{(A)}^{\mu\nu} W_{\mu\nu}^{(A)})$$

Der polarisationsunabhängige hadronische Tensor $W_{\mu\nu}^S$ kann durch dimensionslose spinunabhängige Strukturfunktionen ersetzt werden

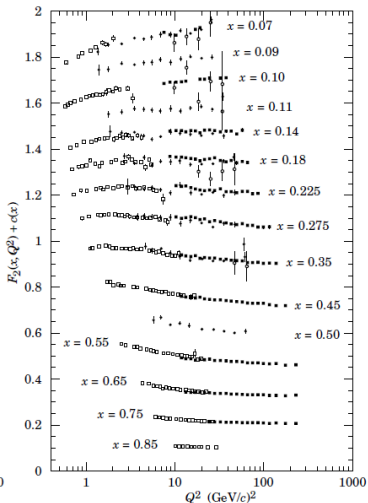
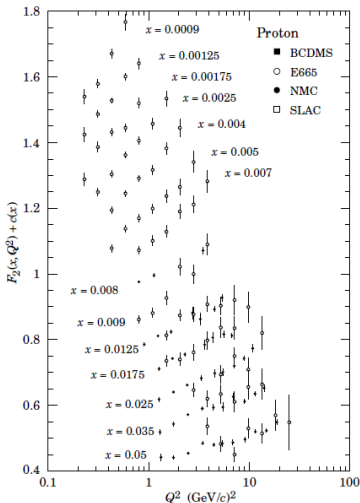
$$F_1(x, Q^2) \text{ und } F_2(x, Q^2)$$

F_2 wurde über einen großen Bereich vermessen.

Mit den Strukturfunktion erhält man den unpolarisierten Wirkungsquerschnitt

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} = \frac{4\alpha^2(E')^2}{Q^4} \left[\frac{1}{\nu} F_2(x, Q^2) \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + \frac{2}{M} F_1(x, Q^2) \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \right]$$

Messergebnisse der Strukturfunktionen

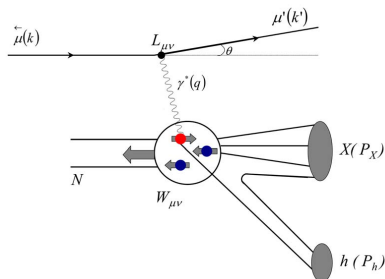


Die schwache Q^2 Abhängigkeit bei festem x bezeichnet man als *Scaling*.

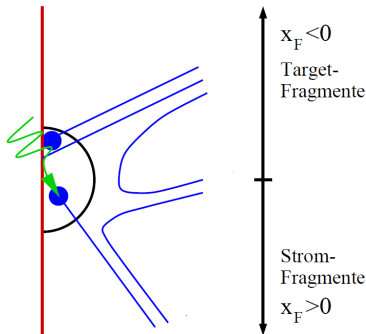
Semiinklusive tiefinelastische Streuung

Nachweis eines Hadrons h in
Koinzidenz mit einem gestreuten
Lepton l'

$$l + N = l' + h + X$$



- Zwei Parameter notwendig zur Beschreibung von SIDIS
- Richtung des virtuellen Photons als Bezugssystem
- z, p_T oder x_F, p_T oder y, p_T



$$x_f = \frac{2p_h^L}{W}$$

$$y = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + p_L}{E - p_L} \right)$$

Fragmentationsfunktionen

Nicht farbneutrale Fragmente nach der Streuung vorhanden \Rightarrow Hadronisierung

Welche Hadronen entstehen? Und wieviele? \Rightarrow

Fragmentationsfunktionen $D_q^h(z)$: nicht normierte Wahrscheinlichkeit, dass aus Quark q eine Hadron h entsteht mit dem Impulsbruchteil z

\Rightarrow FF sind Umkehrungen von Quarkverteilung $q(x)$

Eigenschaften von D_q^h :

$$\sum_h \int_0^1 z \cdot D_f^h(Q^2, z) dz = 1$$

$$n_h = \sum_f \int_{z_{\text{Schwelle}}}^1 D_f^h(Q^2, z) dz$$

- Unabhängig vom Streuprozess (\Rightarrow Unabhängigkeit von x)
- Universalität, d.h. unabhängig von der Produktionsart des Quark, das hadronisiert

Fragmentationsfunktionen aus $e^+ e^-$

Zugang der FF durch $e^+ e^-$ (LEP), pp (RHIC) und IN (COMPASS)

Annihilation von Elektron und Positron (LEP)

$$e^+ e^- \rightarrow \gamma, Z_0 \rightarrow q\bar{q} \rightarrow \text{hadron}$$

Bei Collider-Experimente ist der Impulsübertrag fest vorgegeben $q^2 = s$.

Faktorisierung von ($e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}$) und ($q\bar{q} \rightarrow \text{hadron}$)

$$\sigma(e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}) = 3e^4 \cdot \frac{4\pi\alpha^2}{3s}$$

$$\frac{d\sigma}{dz} = (e^+ e^- \rightarrow hX) = \sum_q \sigma(e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}) \left[D_q^h(dz) + D_{\bar{q}}^h(z) \right]$$

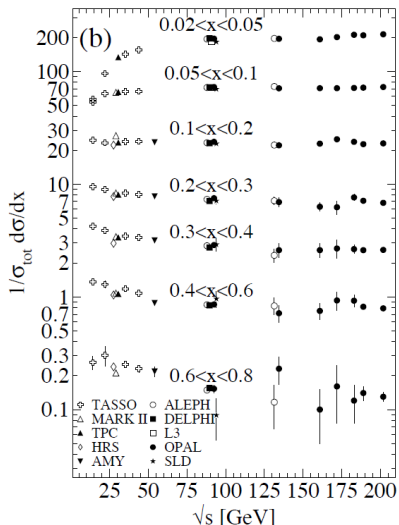
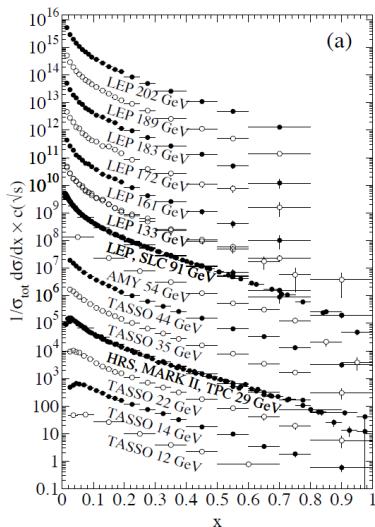
⇒ Messung von Fragmentationsfunktion

Vorteil IN : Richtung des virtuellen Photons bekannt

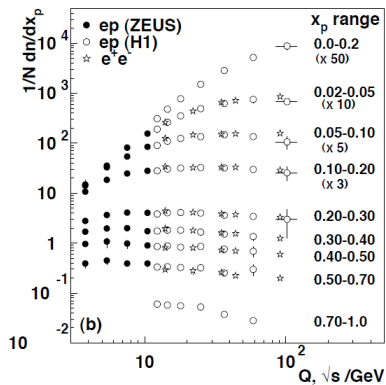
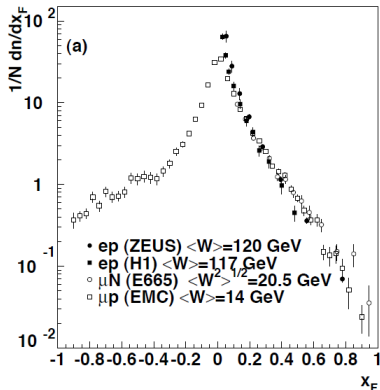
- Reaktion $IN \rightarrow l' hX$
- Target- und Stromfragmentation
- Semiinklusive Variablen
 - z (siehe oben)
 - p_T Transversalimpuls relativ zum virtuellen Photon
- Die Variable x_F dient zur Unterscheidung von Target- ($x_F < 0$) und Stromfragmente ($x_F > 0$)

\Rightarrow Messung von Fragmentationsfunktion mit PDF

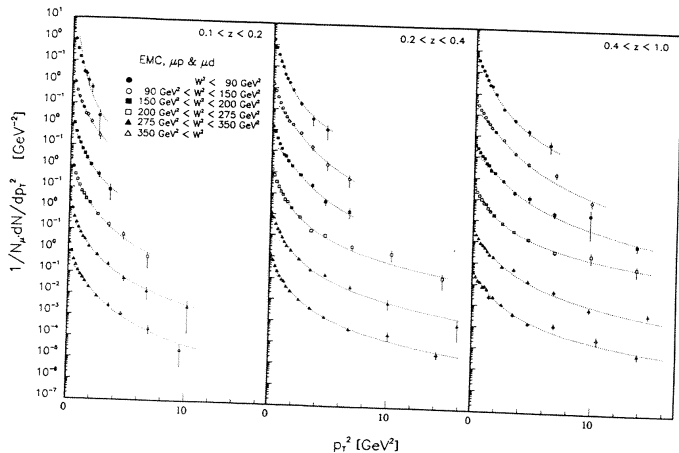
Ergebnisse von LEP



Ergebnisse von IN , (x_F, Q^2)



Ergebnisse von IN , (p_T)



Multiplizität für Hadron vom Typ h

$$\frac{1}{\sigma_{tot}} \frac{d\sigma^h}{dz} = \frac{1}{N_{tot}} \frac{dN^h}{dz}$$

Für e^+e^- : $\frac{\sum_q e_q^2 [D_q^h(z) + D_{\bar{q}}^h(z)]}{\sum_q e_q^2}$

Für SIDIS: $\frac{\sum_q e_q^2 q(x) D_q^h(z)}{\sum_q e_q^2 q(x)}$

Gemessen werden Summen von Fragmentationsfunktion mit unterschiedlichen Gewichtungen

Fragmentationsfunktion III

Es gibt viele Fragmentationsfunktionen, z.B.:

$$D_U^{\pi^+}, D_U^{\pi^-}, D_{\bar{U}}^{\pi^+}, D_U^{K^-}, D_{\bar{U}}^{\pi^0} \text{ usw.}$$

Durch Isospinsymmetrie und Ladungskonjugation reduzieren sich die FF.

Unterscheidung von *favoured* und *unfavoured*

$$D_U^{\pi^+} = D_d^{\pi^+} = D_d^{\pi^-} = D_{\bar{U}}^{\pi^-} \rightarrow \text{favoured}$$

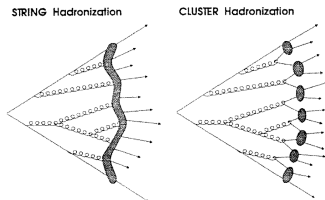
$$D_{\bar{U}}^{\pi^+} = D_d^{\pi^+} = D_d^{\pi^-} = D_U^{\pi^-} \rightarrow \text{unfavoured}$$

Hier gelten einige Annahmen zur Vereinfachung

- $D_{fav} > D_{unfav}$
- alle nonfavoured FF sind gleich
- alle favoured FF von leichten Quarks in Pionen sind gleich

Fragmentations-Modelle

- String Hadronisierung
- Cluster-Hadronisierung
- Modernes Modell der Hadronisierung: mehrstufige Hadronisierung
 - elektroschwache WW im QPM
 - perturbative QCD
 - Fragmentation in Cluster oder String
 - Zerfall der Meson oder Baryonen



Standard Event-Selektion

- Best Primary Vertex
- Reconstructed μ and μ'
- Target cut

Auswahl des Hadrons

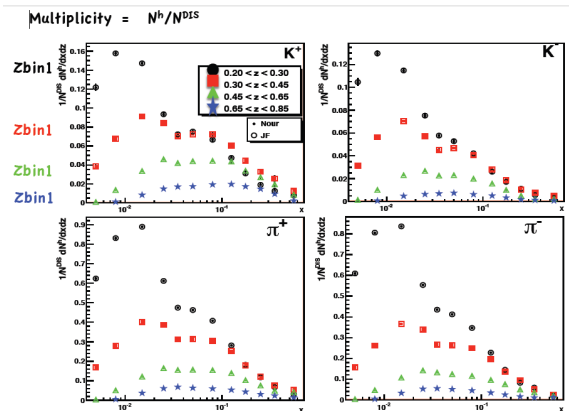
- $x_F > 0$ Stromquark
- $0,1 < x < 0,5$ Valenzquarkregion oder Seequarkregion
- $10 \text{ GeV}/c^2 < p < 50 \text{ GeV}/c^2$ für Identifikation im RICH

⇒ Messen von Hadronen (π, K und p)

Vergleich von z.B.: Ladungsvertauschung

Aktuelle Analyse bei COMPASS

- Nour Makke: 2004 Muon Daten mit Deuterium Target (*LiD*)
- AKzeptanz bestimmen aus Monte-Carlo und Vergleich mit RD
- Problem bei Multiplizitäten von Kaon \Rightarrow Problem mit MC?



- 2009 DVCS Test-Run Daten
- Ab 2012 (??) Datennahme mit 1H_2 -Target für das DVCS-Programm