

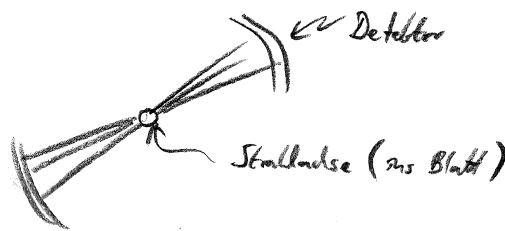
Bem: • Schwelbenergie (θ -Wert): Prozeß für $E < m_{\text{quark}}$ verboten; brauchen genug Energie, um $q\bar{q}$ -Paar zu erzeugen!

• für große Strahlenergien ist die Näherung der letzten Zeile sehr gut: $\sqrt{1 - \frac{m_c^2}{E^2}} \left(1 + \frac{m_c^2}{2E^2}\right) \approx 1 - \frac{3}{8} \frac{m_c^4}{E^4} + \dots$!
(ebener zufällig)

(Korrektur in m_c ist $O(\frac{m_c^2}{E^2})$, aber $m_c^2 \ll m_{\text{quark}}^2$)

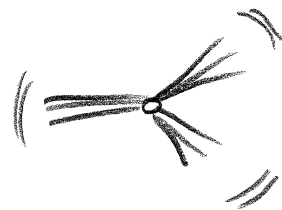
• es werden tatsächlich Prozesse beobachtet, die dem oben skizzierten Modell entsprechen:

"2-Jet-Ereignis"



$e^+e^- \rightarrow q\bar{q} \rightarrow \text{Hadronisierung}$

"3-Jet-Ereignis"



$e^+e^- \rightarrow q\bar{q}G \rightarrow \text{Hadronisierung}$
expt. Beweis für Existenz der Gluonen!

• die Anzahl der Farben ist als $N_c = 3$ gemessen:

$$R(E) \equiv \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \approx N_c \cdot \sum_i Q_i^2 \theta(E - m_i)$$

→ erwarten bei niedrigen Energien (u, d, s -Quark tragen bei)

$$R \approx N_c \left[\left(\frac{2}{3}\right)^2 + \left(-\frac{1}{3}\right)^2 + \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \right] = \frac{2}{3} N_c$$

→ zwischen c - und b -Schwelle $R \approx \left[\frac{2}{3} + \left(\frac{2}{3}\right)^2 \right] N_c = \frac{10}{9} N_c$

→ über b -Schwelle $R \approx \left[\frac{10}{9} + \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \right] N_c = \frac{11}{9} N_c$

→ über t -Schwelle $R \approx \left[\frac{11}{9} + \left(\frac{2}{3}\right)^2 \right] N_c = \frac{17}{9} N_c$

Siehe z.B.

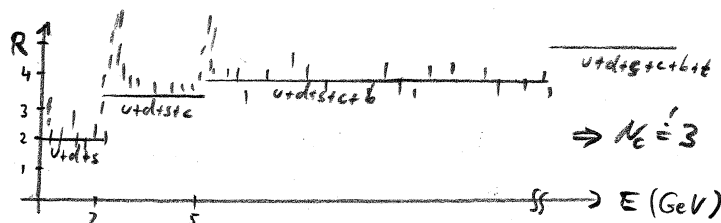
[hep-ph/0312114]

oder auch

[pdg.lbl.gov/2007/]

hadronic-xsections/

Exp:



⇒ $N_c = 3$

⇒ die Quark- und Farb-Hypothesen scheinen richtig zu sein!

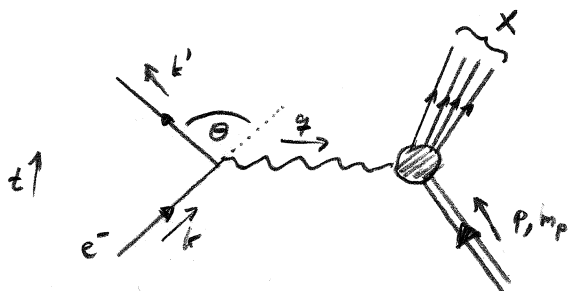
Tiefinelastische e^-p^+ -Streuung

wie z.B. bei HERA/DESY, 1992-2007

→ präzise Untersuchung der inneren Struktur des Protons,
und damit der Eigenschaften von Quarks + Gluonen.

Grundidee: Rutherford-Streuung $\Rightarrow$ Zahl der unter großen Winkeln
abgelenkten Teilchen deutet auf Atomstruktur hin (Kern).

Tiefinelastische Streuung $\Rightarrow$ Zahl der unter großen Winkeln
abgelenkten Teilchen deutet auf Protonstruktur hin (Qu. + Gl.)



e^- mit hoher Energie

→ inelastischer Prozess

$$e^- + p^+ \rightarrow e^- + X$$

$$k = (E, \vec{k}), \quad k' = (E', \vec{k}')$$

"inclusiver" Prozess: nur auslaufendes e^- wird registriert.

$X \hat{=}$ "hadronische Splitter" des Protons

wenn p, k bekannt ist, und alles über X unbekannt ist, gilt

es zwei unabhängige Variablen: E', θ

$$\Rightarrow k' = (E', \sqrt{E'^2 - m_e^2} \vec{e}_{k'})$$

((vgl. mit elastischer Streuung $e + p \rightarrow e + p$:

wegen E - p -Erhaltung ist dann $p'^2 = (k + p - k')^2 \stackrel{!}{=} m_p^2$

→ nur eine unabh. Variable, z.B. θ

))

üblicherweise wählt man $Q_E^2 \hat{=} -q^2$, $x \hat{=} \frac{Q_E^2}{2q \cdot p}$ ("Bjorken x ")

Zusammenhang $(Q_E^2, x) \leftrightarrow (E', \theta)$: s. Übung, Aufgabe 28

für $E \gg m_e$ parametrisiert man den Wirkungsquerschnitt als

$$\frac{d\sigma}{dE' d\Omega} = \left(\frac{\alpha_{\text{EM}}}{2E \sin^2(\frac{\theta}{2})} \right)^2 \left\{ 2W_1(Q_E^2, x) \sin^2(\frac{\theta}{2}) + W_2(Q_E^2, x) \cos^2(\frac{\theta}{2}) \right\}$$

Strukturfunktionen des Protons
enthalten Eigenschaften des Protons
experimentell gut bekannt

(vgl. Rott-Formel, S. 41; elastische Streuung,

falls $E \gg m_e \Rightarrow |\vec{q}_1| = E \Rightarrow \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{\alpha_{\text{EM}}}{2E \sin^2(\frac{\theta}{2})} \right)^2 \left\{ \cos^2(\frac{\theta}{2}) \right\}$

hier also E' nicht unabhängig von E, θ))
aber wie berechnet man die Strukturfkt. ? $\rightarrow$ Partonmodell

Partonmodell [Björken, Callan, Gross 1967-69]

Björken hat ein Stufenverhalten vorhergesagt: bei großen Impulsüberträgen
 $Q_E^2 \gtrsim (1 \text{ GeV})^2$ sollte alles nur von einer Variablen abhängen:

$$m_p W_1(Q_E^2, x) \rightarrow F_1(x)$$

$$\frac{Q_E^2}{2m_p x} W_2(Q_E^2, x) \rightarrow F_2(x)$$

Callan und Gross haben vorhergesagt, daß für nicht zu kleines x gilt

$$2x F_1(x) = F_2(x)$$

$\Rightarrow$ statt 2 Fkt von 2 Variablen nur 1 Fkt von 1 Variable!

also muß das System eine spezielle Struktur haben, die es
so dramatisch vom allgemeinen Fall abheben lässt!

dieses Verhalten wurde kurz darauf am SLAC experimentell bestätigt.

was ist diese spezielle Struktur des Protons?

$\rightarrow$ "Partonmodell". (es geht eigentlich um Quarks + Gluonen, aber
damals hatten sich diese Begriffe noch nicht durchgesetzt, wegen
der auf S. 43 angesprochenen Probleme des Quarkmodells))