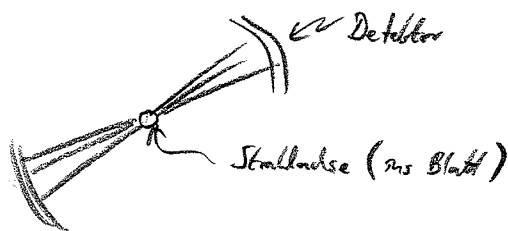


- Bem:
- Schwelbenergie (θ -Flut): Prozess für $E < m_{quark}$ verboten; brauchen genug Energie, um $q\bar{q}$ -Paar zu erzeugen!
 - für große Strahlenenergien ist die Näherung der letzten Zeile sehr gut: $\sqrt{1 - \frac{m_c^2}{E^2}} \left(1 + \frac{m_c^2}{2E^2}\right) \approx 1 - \frac{3}{8} \frac{m_c^4}{E^4} + \dots$!
(eben zufällig)
 - (Korrektur in m_c ist $O(\frac{m_c^2}{E^2})$, aber $m_c^2 \ll m_{quark}^2$)

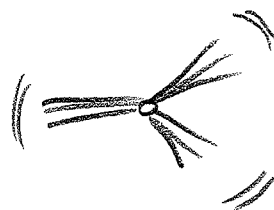
- es werden hauptsächlich Prozesse beobachtet, die dem oben skizzierten Modell entsprechen:

"2-Jet-Ereignis"

"3-Jet-Ereignis"



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



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

expt. Beweis für Existenz der Gluon!

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

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

→ annähernd bei niedrigen Energien (u, d, s -Quark Energie $\ll m_i$)

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

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

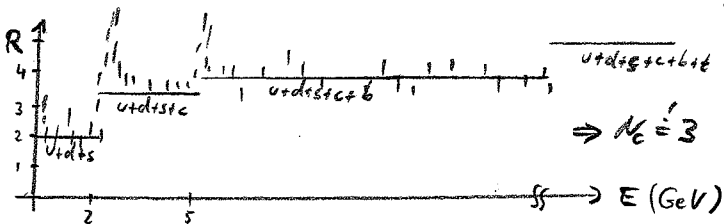
→ über b - Schwelle $R \approx \left[\frac{10}{9} + \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \right] N_c = \frac{11}{9} N_c$

→ 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/2010/ hadronic-xsections/]

Exp.:



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

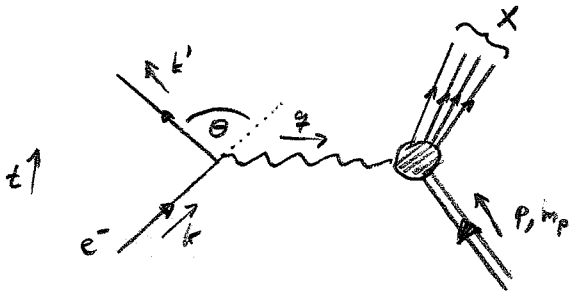
Tiefinelastische e^-p^+ -Streuung

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.+Glu.)



e^- mit hoher Energie

\rightarrow 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 sind, und alles über X unbekannt ist, gibt

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 $p_i^2 = (k+p-k')^2 \stackrel{!}{=} m_p^2$

\rightarrow nur eine unabh. Variable, z.B. θ)

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

Zusammenhang $(Q_E^2, x) \leftrightarrow (E', \theta)$: s. Übung, Aufgabe 32

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

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

Strukturfunktionen des Protons

enthalten Eigenschaften des Protons
experimentell gut bekannt

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

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

hier also E' nicht unabhängig von E, θ))

aber wie berechnet man die Strukturfkt'n? \rightarrow Partonmodell

Partonmodell [Björken, Callan, Gross 1967-69]

Björken hat ein Skalenverhalten 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 abweisen 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))