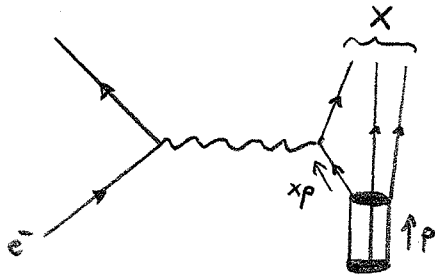


Grundidee: mit einer gewissen Unschärfe (bestimmt durch



eine "Verteilungsfunktion") löst sich ein Parton (Quark, Gluon) von Proton, und streut dann elastisch am virtuellen Photon.

→ es kann bewiesen werden, dass aus dieser Grundidee (plus unseren Resultate für ep-Streuung) sowohl das Bjorken-Strukturverhalten als auch die Callan-Gross-Beziehung folgt, mit

$$F_2(x) = x \sum_i Q_i^2 f_i(x), \quad 0 \leq x \leq 1$$

[5. Übung, Aufgabe 32(b)]

Partonverteilungsfunktionen / Wahrscheinlichkeitsdichten

aus welchen Partonen besteht das Proton?

- "Valenz"-Quarks, s. Quarkmodell.

Verteilungsfkt'n: $u_v(x), d_v(x)$

- "See"-Quarks, virtuelle $q\bar{q}$ -Paare

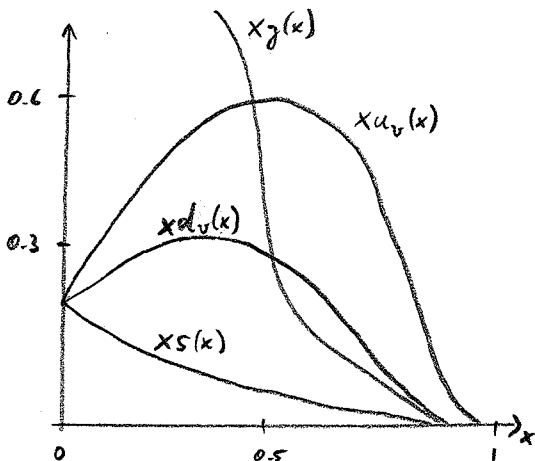
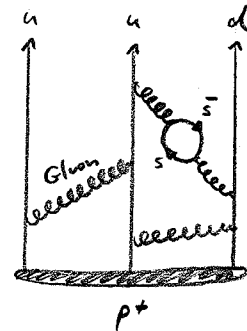
→ $s(x), \bar{s}(x)$

- Gluonen: $g(x)$

diese haben keine elektrische Ladung, koppeln also nicht an das Photon, tragen also nicht zu $F_2(x)$ bei!

tragen jedoch Teil des Proton-Gesamtimpulses $p = \int_0^1 dx \sum_i f_i(x) \cdot x p$

↳ (mehr solcher Summenregeln: Aufg. 33)



"Weiche" Partonen
wenig Impuls

"harte" Partonen
viel Impuls

⇐ experimentell gemessene
Partonverteilungsfunktionen

Quantenchromodynamik (QCD)

→ Stoff einer ganzen Vorlesung! [→ KS, SS 2011]

hier: vier Struktur / Selbsterwiederholung / hochfrequent

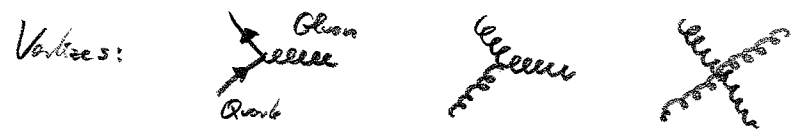
historisch: Nambu; Gell-Mann; Fritzsch;
Gross, Wilczek, Politzer 1973 → Nobel 2004

QCD ≡ Theorie der starken Wechselwirkungen


≡ Modelle dieses Kapitels (Quarks, Farbe; Partonen)

+ mathematische Struktur (nichtabelsche Eichtheorie [Yang, Mills 1954])

analog zur QED: spezifiziere QCD durch Feynmanregeln



Bem:

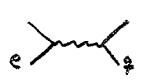
- Gluon koppelt an Farbladung
Quarkfarbe ändert sich typischerweise an ggg-Vertex
z.B. , Gluon trägt Differenz
- Gluon wechselwirkt daher mit sich selbst
(im Gegensatz zum el. neutralen Photon)
- QCD hat sehr wenige Parameter:
"Eichinvarianz" erfordert $\gamma \sim g_s$, $X \sim g_s^2$
- analog zu QED: def. $\alpha_s = \frac{g_s^2}{4\pi}$
hier ist $\alpha_s \approx \frac{1}{10}$ "groß"
- daher funktioniert Störungstheorie i.A. nicht
so perfekt wie in der QED.
→ Theorie ist "interessanter", vielseitiger, es
gibt einige unerwartete Konsequenzen (s.u.)
- Berechnungen selten präziser als ~ 1%

- eine wichtige Lösungsmethode ist (numerische) Gitter-QCD
- Störungstheorie möglich z.B. für Systeme schwerer Quarks

QCD-Highlights:

- Asymptotische Freiheit:

Kopplungsstärke g_s ist keine Konstante, sondern hängt von Impulsstufen ab, $g_s(Q_E)$ [s. Übung, Aufgaben 30, 31]
 in tiefenl. Störung z.B. und $g_s \downarrow$ wenn $Q_E^2 \uparrow$,
 und sogar $\lim_{Q_E^2 \rightarrow \infty} g_s = 0$.

\Rightarrow erklärt Bjorken-Strukturverhalten: für großes Q_E^2 sind die Partonen tatsächlich freie Teilchen! 

Endliches $Q_E^2 \rightarrow$ Korrekturen: Partonverteilungs-fkt. $f_i(x) \rightarrow f_i(Q_E^2, x)$
 etc

- Quarkenschluss

$g_s \uparrow$ für $Q_E^2 \downarrow$: W 's sind stark \Rightarrow eng gebundene Zustände (Hadronen)

- "chirale Symmetriebrechung"

(Begriffsklärung: später)

Konsequenz: Massen der leichten Hadronen sind nicht wie vom Quarkmodell suggeriert (z.B. $m_{\pi^+} \approx m_u + m_d$), sondern $m_{\pi^+} \approx \sqrt{2 \text{ GeV} \cdot (m_u + m_d)}$

- [\rightarrow s. auch 3 Sonderblätter]