

WQ mit Rückstoß

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rückstoß}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{ohne Rückstoß}} \left(\frac{E'}{E}\right) \quad E + E' \Rightarrow \vec{q}^2 \neq Q^2$$

Rosenbluth-Streuung:

Elektron-Streuung an ausgedehnten Spin = 1/2 Protonen
 realen

→ Einführung zweier Formfaktoren $G_E(Q^2)$ und $G_M(Q^2)$, die die Verteilung der elektrischen Ladung und des magnetischen Moments berücksichtigen.

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rosenbluth}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} \left(\frac{E'}{E}\right) \left[\frac{G_E^2(Q^2) + \tau G_M^2(Q^2)}{1 + \tau} + \frac{2\tau G_M^2(Q^2)}{B(Q^2)} \tan^2 \theta / 2 \right]$$

Da q ($Q^2 = -q^2$) 4er Impuls, könne die Formfaktoren G_E , G_M nicht mehr bzw. nur für kleine Q^2 Werte als Fouriertransformierte der Verteilung der elektrischen Ladung bzw. des magnetischen Moments betrachtet werden.

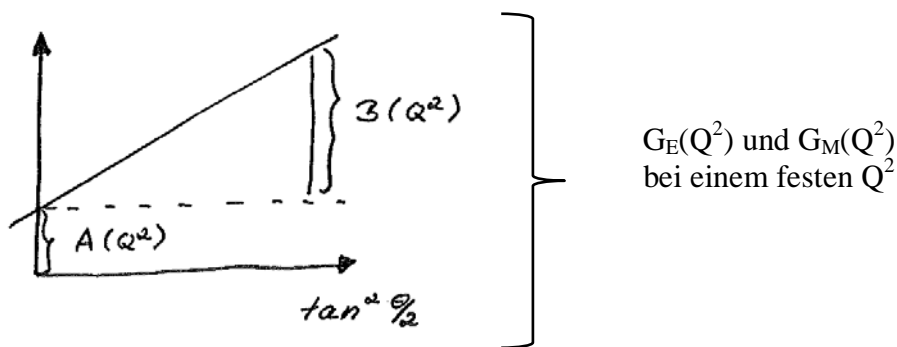
Verhalten für $Q \rightarrow 0$

$$\begin{array}{lll} G_E^P(Q^2 = 0) = 1 & G_E^n(Q^2 = 0) = 0 & \left(\tau = \frac{Q^2}{4M_p^2 c^2}\right) \\ \underbrace{G_M^P(Q^2 = 0) = 2,79}_{\text{aus e-p-Streuung}} & \underbrace{G_M^n(Q^2 = 0) = -1,91}_{\text{aus e-n-Streuung}} & \end{array}$$

Verhalten für $Q \rightarrow 0$ (dann auch $\tau \rightarrow 0$) entspricht Streuung an punktförmigen p/n mit anomalem magnetischen Moment.

Um $G_E(Q^2)$ und $G_M(Q^2)$ getrennt zu messen, muss der WQ bei festem Q^2 für verschiedene Streuwinkel, d. h. verschiedenen Elektronenenergien gemessen werden.

$$R = \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rosenbluth}}}{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} \left(\frac{E'}{E}\right)} = A(Q^2) + B(Q^2) \tan^2 \theta / 2$$



Die Messung von G_E und G_M bei mehreren Q^2 Werten ergibt folgende Ergebnisse:

$$1) \quad G_E^P(Q^2) = \frac{G_M^P(Q^2)}{2.79} = \frac{G_M^n(Q^2)}{-1.91}$$

d. h. „elektrische“ und „magnetische Ausdehnung“ sind gleich (G_E^n vernachlässigbar)

2) Die Form wird durch Dipolformel beschrieben:

$$G(Q^2) = \left(1 + \frac{Q^2}{0.71^2 (\text{GeV}/c)^2}\right)^{-2}$$

(„Dipolform“ entspricht einer Ladungsverteilung, die exponentiell abfällt)
 $\rho(r) = \rho(0) e^{-ar}$ $a = 4.27 \text{fm}^{-1}$

3) Mittlerer quadratischer Radius aus Protons/Neutrons:

$$\begin{aligned} \langle r^2 \rangle_{Dipol} &= -6\hbar \frac{d G_E^{Dipol}(Q^2)}{d Q^2} \Big|_{Q^2=0} = \frac{12}{a^2} \\ &= 0.66 \text{fm}^2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\langle r^2 \rangle_{Dipol}} = 0.81 \text{fm}$$

Bem: Neueste Resultate zeigen, dass Formfaktoren von Dipolform abweichen und bei hohem Q^2 magnetischer und elektrischer Formfaktor voneinander abweichen.

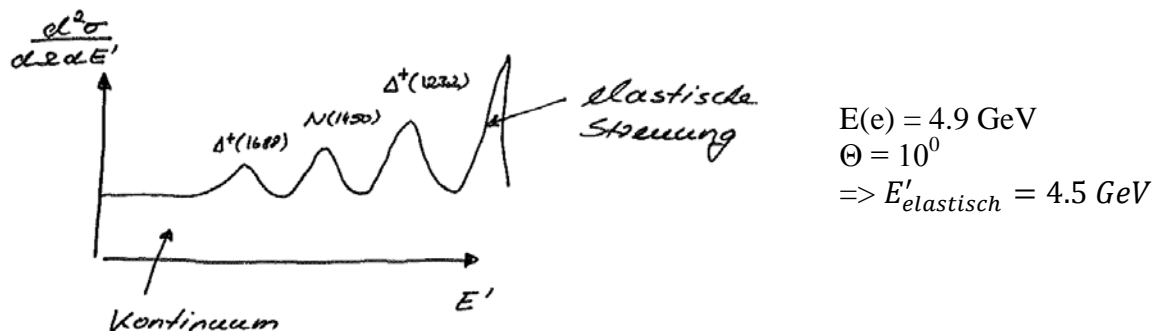
(siehe Folien)

4.4 Tief inelastische Streuung

Steigert man den Energieübertrag der e^- auf die Protonen, kommt es zur Anregung von inneren Freiheitsgraden (Protonen sind zusammengesetzte Teilchen!).

z. B. des Δ^+ Teilchens (Quarkkontent $|uud\rangle$) hat Spin = 1 ist der erste Anregungszustand des Protons; $m(\Delta^+) = 1232 \text{ MeV}/c^2$

(siehe Folie)



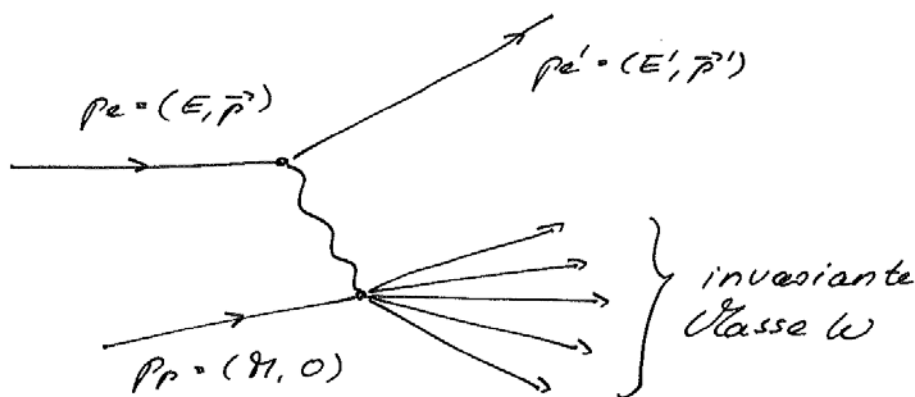
$\Gamma(\Delta^+(1232)) \sim 120 \text{ MeV} \Rightarrow \tau = \frac{\hbar}{\Gamma} = 5.5 \cdot 10^{-24} \text{ s} \Rightarrow$ Zerfall durch starke WW

z. B. $\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$ oder $\Delta^+ \rightarrow n + \pi^+$

Kinematik inelastischer Streuung

elastische Streuung: Streuprozess mit vorgegebener Energie E ist mit einem Parameter beschrieben (z. B. Θ, Q^2, E', \dots)

inelastische Streuung:



$v = E - E'$ Energieübertrag
 $W^2 = (P + q)^2 = M^2 + 2 Pq + q^2$
 mit $2 Pq = 2 Mv$
 folgt: $q^2 = W^2 - M^2 - 2 Mv = -Q^2$

Ruhsystem des Protons

für elastische Streuung $W = M \Rightarrow \frac{Q^2}{2Mv} = 1$

für inelastische Streuung $W > M \Rightarrow 2Mv - Q^2 > 0$

$$x_B := \frac{Q^2}{2Mv} < 1$$

x_B : Bjorken-Skalenvariable

$0 < x_B < 1$ x_B ist Maß für Elastizität der Streuung

inelastische Streuung wird durch zwei Parameter beschrieben z. B. (Θ, E') , (Q^2, ν) , (Q^2, x_B) , ...

WQ für tiefinelastische Streuung

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} \underbrace{\frac{E'}{E}}_{\text{Rückstoss}} [W_2(Q^2, \nu) + 2W_1(Q^2, \nu) \tan^2 \Theta/2]$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{Vergleich zu Dirac-Formel} \\ \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} (1 + 2\tau \tan^2 \Theta/2) \text{ mit } \tau = \frac{Q^2}{4M_p^2 c^2} \end{array} \right)$$

$W_2(Q^2, \nu)$, $W_1(Q^2, \nu)$ heißen Strukturfunktionen. Heute werden statt den dimensionsbehafteten Strukturfunktionen die dimensionslosen Strukturfunktionen

$$\begin{aligned} F_1(x_B, Q^2) &= Mc^2 W_1(Q^2, \nu) \\ F_2(x_B, Q^2) &= \nu W_2(Q^2, \nu) \end{aligned}$$

benutzt.