

KAPITEL 5 :

Elastische Streuung an p, n

- 5.1 Elastische e–Streuung an Nukleonen (p, n)**
- 5.2 Formfaktoren der Nukleonen**

5.1 Elast. e^- Streuung an Nukleonen

Erhalte Information über Kernbausteine: p, n

Experimentell: p : H-Target
 n : Deuterium-Target,
muss Effekt des Protons abziehen

$e - N$ Streuung: zusätzlich zu berücksichtigen:
Rückstoss
Spin des Targetteilchens (p, n)
→ magnetisches Moment

Für Rückstoss zusätzlicher Faktor in σ_{Mott} :

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Mott}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Mott}}^* \cdot \frac{E'}{E}$$

Energieverlust der Elektronen durch Rückstoss
→ Verwende Viererimpulsübertrag

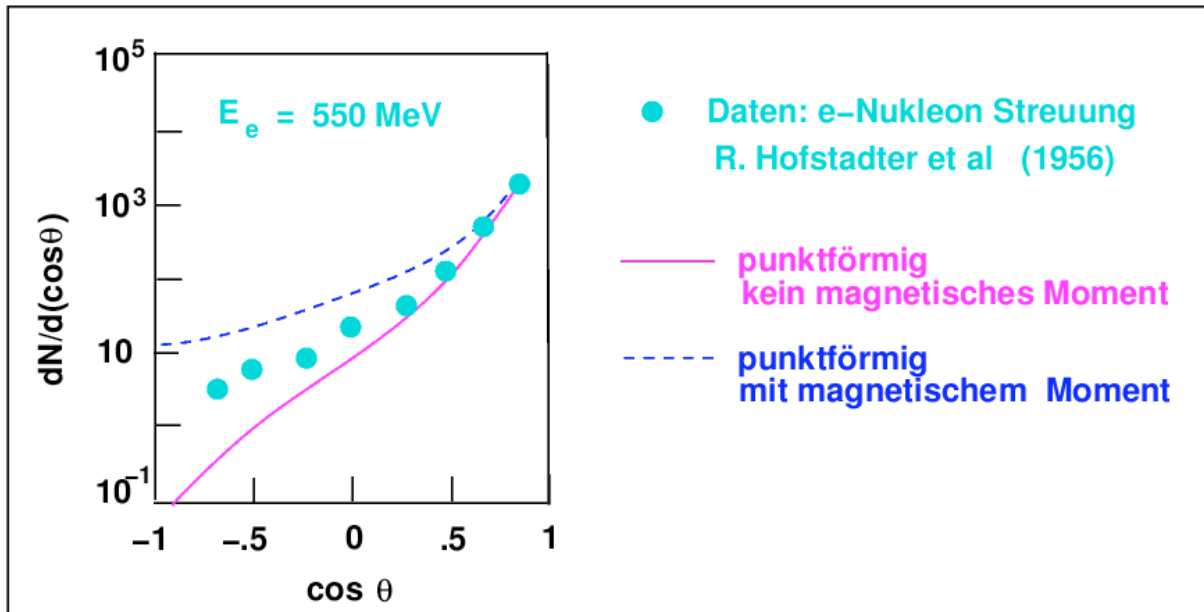
$$q^2 = (p_e - p'_e)^2 = - \frac{4EE'}{c^2} \sin^2 \frac{\Theta}{2} \quad \text{mit } |\vec{p}_e|, |\vec{p}'_e| \gg m_e c$$

Definiere: $Q^2 = - q^2$

5.2 Formfaktor der Nukleonen

e – N Streuung: Information über Verteilung von Ladung und magnetischem Moment im p, n
→ studiere elektromagnetische Struktur von Protonen (p) und Neutronen (n)

1956: e – N Streuung: R. Hofstadter et al:



Bei grösseren Streuwinkeln:

$$\sigma (\text{Daten}) < \sigma (\text{Punktförmig} + \text{Magnet. Moment})$$

Folgerungen:

Proton hat räumliche Ausdehnung

Proton ist nicht punktförmig



Hofstadter: Nobelpreis 1961

Rosenbluth Formel: $G_E(Q^2), G_M(Q^2)$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Mott}} \left[\frac{G_E^2(Q^2) + \tau G_M^2(Q^2)}{1 + \tau} + 2\tau G_M^2(Q^2) \tan^2 \frac{\Theta}{2} \right]$$

$G_E(Q^2)$... elektrischer Formfaktor: charakterisiert elektrische Verteilung

$G_M(Q^2)$... magnetischer Formfaktor: charakterisiert magnetische Verteilung

$\tau = \frac{Q^2}{4M^2 c^2}$: Q^2 ... (Viererimpuls)², M ... Masse des Nukleons

Grenzfall: $Q^2 \rightarrow 0$: ergibt für G_E gesamte Ladung
und für G_M gesamtes magnet. Moment

$$G_E^p = 1$$

$$G_E^n = 0$$

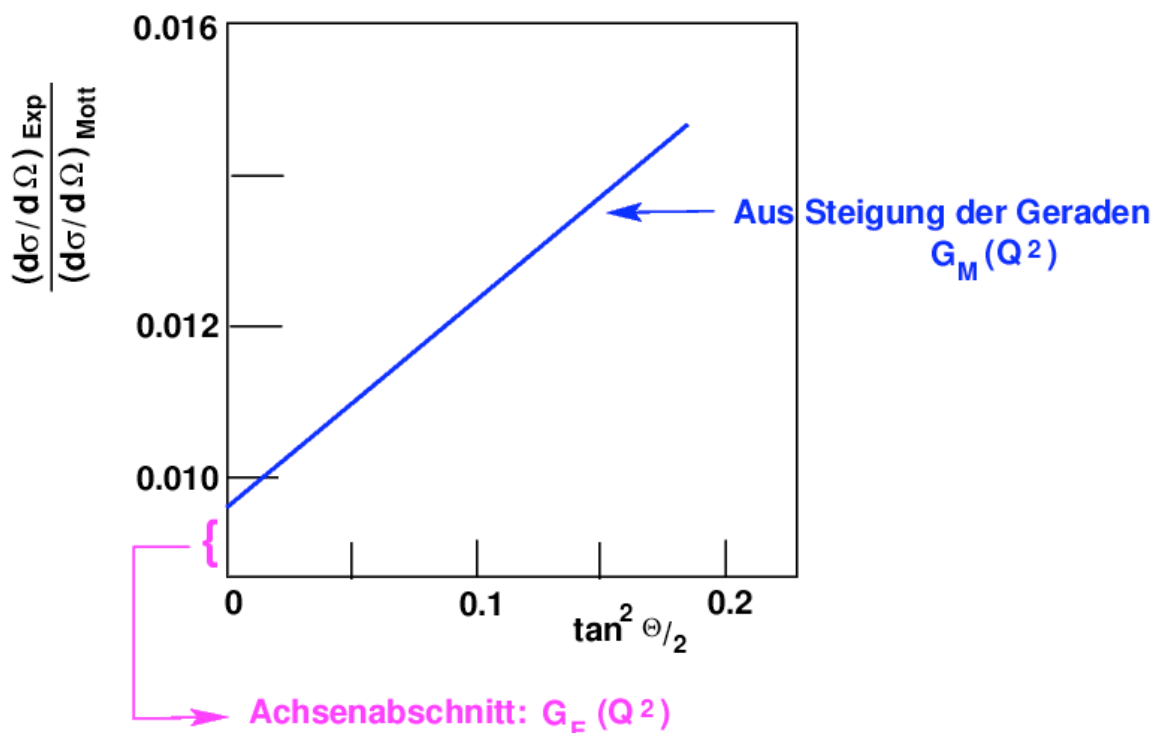
$$G_M^p = \frac{\mu_p}{\mu_N} = 2.79$$

$$G_M^n = \frac{\mu_n}{\mu_N} = -1.91$$

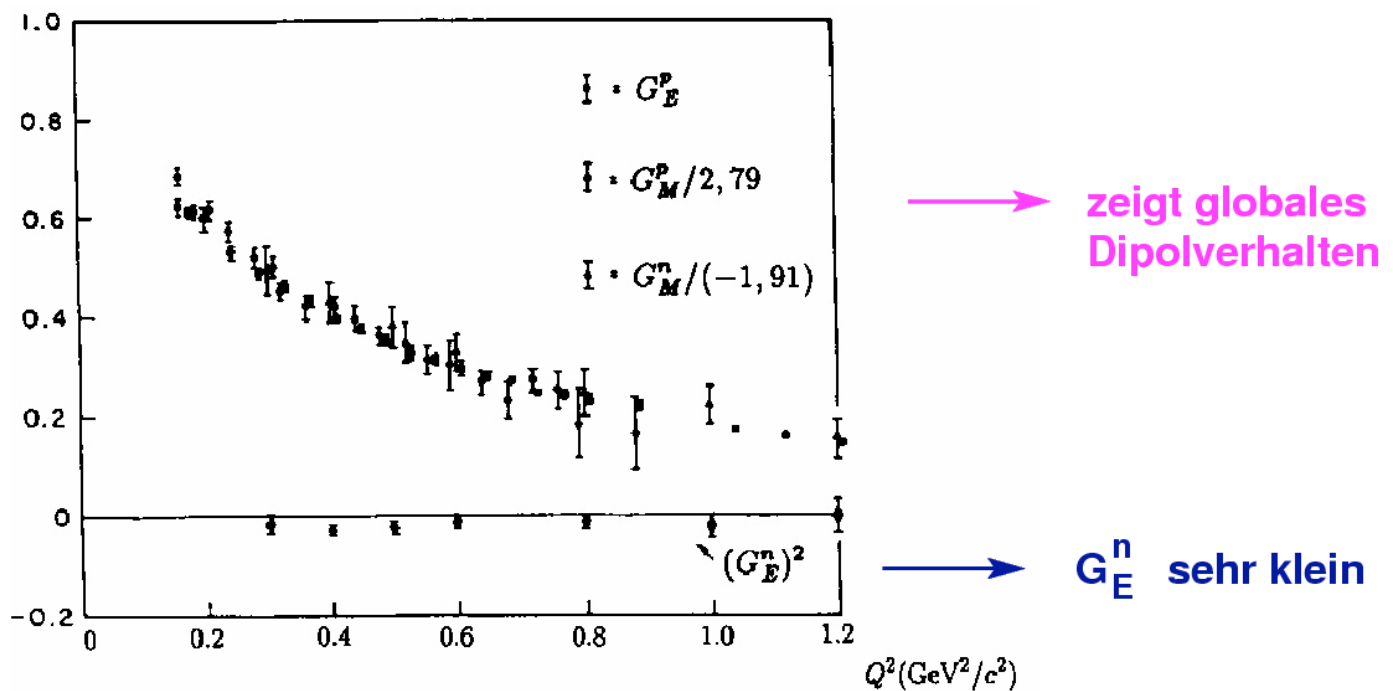
Bestimmung von $G_E(Q^2)$ und $G_M(Q^2)$:

Bestimme $\frac{\frac{d\sigma}{d\Omega}_{\text{Exp}}}{\frac{d\sigma}{d\Omega}_{\text{Mott}}}$ für feste Q^2 Werte bei verschiedenen
Streuwinkeln

Form: $y = a + bx$



Q^2 -Abhängigkeit von $G_E(Q^2)$, $G_M(Q^2)$



Beschreibung der Daten (Fit):

$$G_E^p(Q^2) = \frac{G_M^p(Q^2)}{2.79} = \frac{G_M^n(Q^2)}{-1.91} = \left(1 + \frac{Q^2}{0.71 \text{ GeV}^2/c^2}\right)^{-2}$$

Dipolform

Formfaktor nicht konstant $\rightarrow$ Nukleon ist nicht punktförmig

Ladungsverteilung: $\rho(r) = \rho(0)e^{-ar}$ $a = 4.27 \text{ fm}^{-1}$

Ladungsradius: $p: \sqrt{\langle r^2 \rangle_p} = 0.86 \text{ fm}$

$n: \sqrt{\langle r^2 \rangle_n} = 0.10 \text{ fm}$

Neutron nur nach aussen hin neutral,
im Inneren des Neutrons: elektrisch
geladene Konstituenten, die auch
magnetisches Moment tragen

Zusammenfassung: Streuexperimente

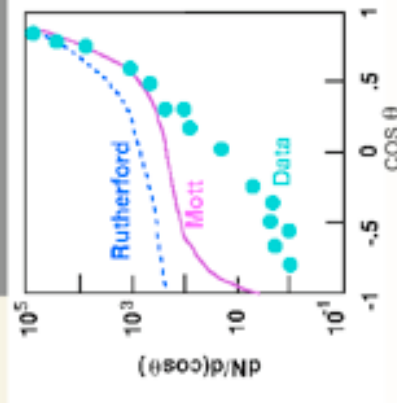
$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \left(\frac{Z^2 \alpha^2 (hc)^2}{4 E^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}}\right) F(Q^2) ^2$	$\left(1 - \beta^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}\right)$	$\left(\frac{E'}{E}\right)$	$\left(a + b \tan^2 \frac{\theta}{2}\right)$
$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rutherford}}$	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}}^*$	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}}$	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rosenbluth}}$
☐ $Z\alpha \ll 1 \Rightarrow$ Bornsche Näherung ☐ Kein Rückstoss ☐ Kein Spin ☐ Punktförmiges Teilchen	$\Rightarrow \text{Spin } (e^-) = 1/2$	$\Rightarrow \text{mit Rückstoss}$	$\Rightarrow \text{Spin } (p) = 1/2$



α - Kern: ~ 5 MeV
1909: Rutherford

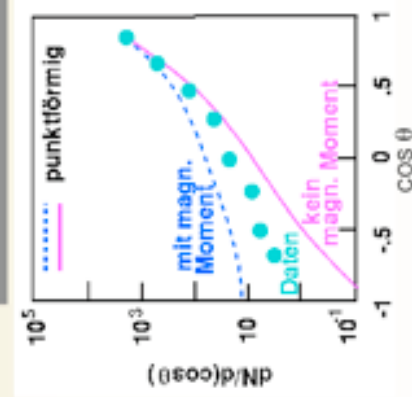
$$|F(Q^2)|^2 \equiv 1$$

e - Kern: 125 MeV
1953: Hofstadter



$$|F(Q^2)|^2 \neq 1$$

e - Nukleon: 550 MeV
1953: Hofstadter



$$\left(\frac{G_E^2(Q^2) + \tau G_M^2(Q^2)}{1 + \tau} + 2\tau G_M^2(Q^2) \tan^2 \frac{\theta}{2}\right)$$