

# Das magnetische Moment des Protons

Proseminar Präsentationstechnik c

Prof. Dr. Harmut Schmieden

Jonas Wortmann

Universität Bonn

28. Oktober 2024

## ① Entdeckung des Protons

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment
- ③ Das Proton als Elementarteilchen

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment
- ③ Das Proton als Elementarteilchen
- ④ Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment
- ③ Das Proton als Elementarteilchen
- ④ Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN
- ⑤ Die Substruktur des Protons

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment
- ③ Das Proton als Elementarteilchen
- ④ Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN
- ⑤ Die Substruktur des Protons
- ⑥ SLAC Experiment

# Inhaltsverzeichnis

- ① Entdeckung des Protons
- ② Magnetisches (Dipol-)Moment
- ③ Das Proton als Elementarteilchen
- ④ Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN
- ⑤ Die Substruktur des Protons
- ⑥ SLAC Experiment
- ⑦ Das Proton als Baryon



# Inhaltsverzeichnis

- 1 Entdeckung des Protons
- 2 Magnetisches (Dipol-)Moment
- 3 Das Proton als Elementarteilchen
- 4 Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN
- 5 Die Substruktur des Protons
- 6 SLAC Experiment
- 7 Das Proton als Baryon
- 8 Ausblick

# Entdeckung des Protons

# Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz**.

→ von **H-Atomen** verursacht.[1]

# Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz**.

→ von **H-Atomen** verursacht.[1]

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen von **H-Atomen** verursacht.

# Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz**.

→ von **H-Atomen** verursacht.[1]

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen von **H-Atomen** verursacht.

Stickstoff muss H-Atome als Bestandteile besitzen.

# Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz**.

→ von **H-Atomen** verursacht.[1]

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit  $\alpha$ -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen von **H-Atomen** verursacht.

Stickstoff muss H-Atome als Bestandteile besitzen.

1920 RUTHERFORD: **Jedes** Atom muss aus **H-Atomen** (Protonen) bestehen.

# Magnetisches (Dipol-)Moment

# Magnetisches (Dipol-)Moment

Magnetisches Moment gibt **Stärke** und **Richtung** eines magnetischen Dipols an

$$\mathbf{m} = \frac{1}{2} \int d^3r [\mathbf{r} \times \mathbf{j}(\mathbf{r})] \quad \vec{m} = I \cdot \mathbf{A}$$



# Magnetisches (Dipol-)Moment

Magnetisches Moment gibt **Stärke** und **Richtung** eines magnetischen Dipols an

$$\mathbf{m} = \frac{1}{2} \int d^3r [\mathbf{r} \times \mathbf{j}(\mathbf{r})] \quad \vec{m} = I \cdot A$$

Klassische / Quantenmechanische Betrachtung mit **Drehimpuls**

$$\mu_l = \frac{q}{2m_q} l \quad \hat{\mu}_q = \frac{q}{2m_q} \hat{l} \quad \hat{\mu}_s = g_s \frac{q}{2m_q} \hat{s}$$

# Magnetisches (Dipol-)Moment

Magnetisches Moment gibt **Stärke** und **Richtung** eines magnetischen Dipols an

$$\vec{m} = \frac{1}{2} \int d^3r [\vec{r} \times \vec{j}(\vec{r})] \quad \vec{m} = I \cdot A$$

Klassische / Quantenmechanische Betrachtung mit **Drehimpuls**

$$\mu_l = \frac{q}{2m_q} l \quad \hat{\mu}_q = \frac{q}{2m_q} \hat{l} \quad \hat{\mu}_s = g_s \frac{q}{2m_q} \hat{s}$$

BOHR'sche Magneton (Elektronen  $\ell = 1$ ) & Kernmagneton (DIRAC-Teilchen)

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} \quad \mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$$

# Magnetisches (Dipol-)Moment

wofür mag moment gut?

# Das Proton als Elementarteilchen

DIRAC-Theorie:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \phi(x, t) = 0$$

Lösungen: erlaubte Zustände elementarer Fermionen.

# Das Proton als Elementarteilchen

DIRAC-Theorie:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m) \phi(x, t) = 0$$

Lösungen: erlaubte Zustände elementarer Fermionen.

Proton als DIRAC-Teilchen.

$$\mu_p = 1\mu_N = 1 \frac{e\hbar}{2m_p} \approx 5.505 \times 10^{-27} \text{ J/T}$$

CODATA[2]

# Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN

BILD EXPERIMENT

BILD BERECHNETES MAGNETON

# Die Substruktur des Protons

Einteilung der Teilchen: Hadron

→ Baryon: Fermion aus 3 Quarks

→ Meson: Boson aus 2 Quarks

# SLAC Experiment



# SLAC Experiment

Elektronen streuen an Nukleonen mit **großen Winkeln**

→ Analogie RUTHERFORD: Nukleonen haben punktförmige **Substruktur**.

# SLAC Experiment

Elektronen streuen an Nukleonen mit **großen Winkeln**

→ Analogie RUTHERFORD: Nukleonen haben punktförmige **Substruktur**.

Interpretation FEYNMAN & BJORKEN: Proton besteht aus **Partonen**.

→ Partonen sind als GELL-MANNs & ZWEIGs **Quarks** zu identifizieren.

# Das Proton als Baryon

# Das Proton als Baryon

Proton *kein* elementares Fermion, sondern ein **Baryon** (u,u,d).

# Das Proton als Baryon

Proton *kein* elementares Fermion, sondern ein **Baryon** (u,u,d).

$$\mu_p = \frac{3}{4}\mu_u - \frac{1}{3}\mu_d \approx 2.792\mu_N \approx 1.410 \times 10^{-27} \text{ J/T}$$

CODATA[3]

# Das Proton als Baryon

Proton *kein* elementares Fermion, sondern ein **Baryon** (u,u,d).

$$\mu_p = \frac{3}{4}\mu_u - \frac{1}{3}\mu_d \approx 2.792\mu_N \approx 1.410 \times 10^{-27} \text{ J/T}$$

CODATA[3]

Differenz:

$$|\mu_{PF} - \mu_{PB}| \approx 4.095 \times 10^{-27} \text{ J/T}$$

# Ausblick

# Bibliography



John Campbell.

Rutherford, transmutation and the proton.

<https://cerncourier.com/a/rutherford-transmutation-and-the-proton/>, 8. May 2019.

Letzter Zugriff: 2024-10-27.



CODATA.

[https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mun|search\\_for=nuclear+magneton](https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mun|search_for=nuclear+magneton), 2022.

Letzter Zugriff: 2024-10-27.



CODATA.

[https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mup|search\\_for=magnetic+moment+proton](https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mup|search_for=magnetic+moment+proton), 2022.

Letzter Zugriff: 2024-10-27.