

Das magnetische Moment des Protons

Proseminar Präsentationstechnik c

Prof. Dr. Harmut Schmieden

Jonas Wortmann

Universität Bonn

29. Oktober 2024

① Entdeckung des Protons

Draft

Inhaltsverzeichnis

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

Draft

Inhaltsverzeichnis

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

Draft

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

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

Draft

Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz** (zu kurz für α).

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

Draft

Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz** (zu kurz für α).

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

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

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

Draft

Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz** (zu kurz für α).

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

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

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

Stickstoff muss H-Atome als Bestandteile besitzen.

Entdeckung des Protons

1913 MARDSEN: Wasserstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

→ Aufblitzen auf einem Zinksulfidschirm in **großer Distanz** (zu kurz für α).

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

RUTHERFORD: Stickstoff wird mit α -Teilchen beschossen.

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

Stickstoff muss H-Atome als Bestandteile besitzen.

1920 RUTHERFORD: **Jedes** Atom muss aus **H-Atomen** (Protonen) bestehen.[1]

Entdeckung des Protons

is the only atom which is expressed by $4n+2$. We should anticipate from radioactive data that the nitrogen nucleus consists of three helium nuclei each of atomic mass 4 and either two hydrogen nuclei or one of mass 2. If the H nuclei

[4]

Draft

Entdeckung des Protons

mass. Under such conditions, it is to be expected that the α particle would only occasionally approach close enough to the H nucleus to give it the maximum velocity, although in many cases it may give it sufficient energy to break its bond with the central mass. Such a point of view would explain

[4]

Draft

Entdeckung des Protons

able. Considering the enormous intensity of the forces brought into play, it is not so much a matter of surprise that the nitrogen atom should suffer disintegration as that the α particle itself escapes disruption into its constituents.

[4]

Draft

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

Magnetisches (Dipol-)Moment

Draft

Magnetisches (Dipol-)Moment

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

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

Draft

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**:

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

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**:

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

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?

Draft

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

Das Proton als Elementarteilchen

DIRAC-Theorie:

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

Lösungen sind erlaubte Zustände elementarer Fermionen.

Draft

Das Proton als Elementarteilchen

DIRAC–Theorie:

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

Lösungen sind 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]

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

Experiment Otto Robert FRISCH & Otto STERN

BILD EXPERIMENT

BILD BERECHNETES MAGNETON

Draft

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

Die Substruktur des Protons

Einteilung der Teilchen in Hadronen:

- Baryon: Fermion aus 3 Quarks
- Meson: Boson aus 2 Quarks

Draft

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

SLAC Experiment

Draft

SLAC Experiment

Elektronen streuen an Nukleonen mit **großen Winkeln**.

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

Draft

SLAC Experiment

Elektronen streuen an Nukleonen mit **großen Winkeln**.

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

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

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

Draft

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

Das Proton als Baryon

Draft

Das Proton als Baryon

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

Draft

Das Proton als Baryon

Das Proton ist *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]

Draft

Das Proton als Baryon

Das Proton ist *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:

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

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

Ausblick

Draft

Ausblick

Magnetresonanztomographie

Draft

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, 2022.

Letzter Zugriff: 2024-10-27.



CODATA.

https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mup|search_for=magnetic+moment+proton, 2022.

Letzter Zugriff: 2024-10-27.



Prof. Sir Ernest Rutherford.

Collision of α particles with light atoms. an anomalous effect in nitrogen.

The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 37:581–587, 1919.