

Zusammenfassung

v105 - magnetisches Moment

Max Rademacher
max.rademacher@tu-dortmund.de

17.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

1 Ziel

Bestimmung des magnetischen Moments eines Permanentmagneten auf drei Arten.

2 Theorie

- keine magnetische Monopole \rightarrow Dipol kleinste Form von Magnet
- stromdurchflossene Leiterschleife $\vec{\mu} = I \cdot \vec{A}$
- Für Permanentmagneten ist $\vec{\mu}$ schwer zu berechnen \rightarrow experimentelle Bestimmung
- In homogenen Magnetfeld wirkt Drehmoment $\vec{D} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

2.1 Helmholtzspulenpaar

- zwei gleichsinnig durchflossene Kreisspulen, Strom I
- Abstand der Spulen = Radius der Kreisspulen (optimal)
- homogenes Magnetfeld im Zentrum entlang Symmetrieachse
- Feldgradient im Idealfall auf Symmetrieachse vernachlässigbar
- $B(I) = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot I \text{ [T]}$

3 Aufbau

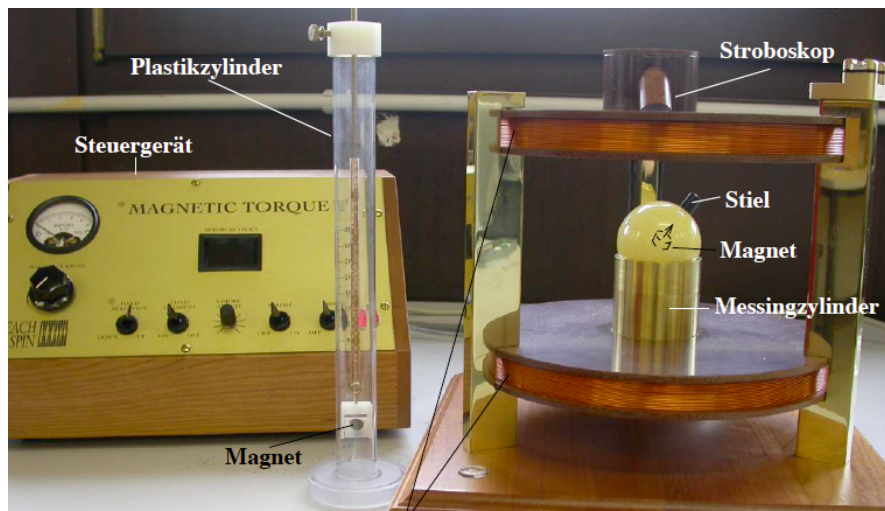


Abbildung 1: Aufbau.

- Permanentmagnet in Billardkugel
- Messingzylinder mit Luftkissen, reibungsfreie Bewegung
- Stroboskop an oberer Spule
- Stroboskop, Luftkissen, Strom, Feldgradient kann an externem Steuergerät eingestellt werden
- Aluminiumstab mit verschiebbarem Gewicht

4 Durchführung/Auswertung

4.1 Gravitation

- Gravitationskraft bewirkt Drehmoment $\vec{D}_G = m \cdot (\vec{r} \times \vec{g})$, r = Abstand Gewicht - Kugelzentrum
- Magnetfeld \vec{B} wirkt Gravitation entgegen, Drehmoment $\vec{D}_B = \vec{\mu} \times \vec{B}$
- Ziel: Gleichgewicht zwischen D_G und D_B verursachen, nach Vereinfachung da $g \parallel B$

$$\mu \cdot B = m \cdot r \cdot g$$

4.1.1 Durchführung

- eingeschaltetes Luftkissen, Feld zeigt nach „oben“
- beliebigen Abstand r zwischen Masse und Kugel einstellen, System durch Magnetfeldregelung in Gleichgewicht bringen
- Berechnung von $\vec{\mu}$ mit linearer Regression (r gegen B auftragen)

4.1.2 Auswertung

$$B = \alpha \cdot r + \beta \implies \mu = \frac{mg}{\alpha} \approx 0,5 \text{ A m}^2$$

- Luftkissen beschädigt, Kugel konnte nicht vollständig reibungsfrei schweben
- gute Bestimmungsmethode, da Wert nah an Mittelwert des Dipols

4.2 Schwingung

- Permanentmagnet in Billardkugel verhält sich in homogenem Magnetfeld wie harmonischer Oszillator

$$-|\vec{\mu} \times \vec{B}| = J_K \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2}, J_K: \text{Trägheitsmoment } \frac{2}{5}mr^2$$

- Lösung der DGL ist Schwingungsdauer, kann berechnet werden mit

$$T^2 = \frac{4\pi^2 J_K}{\mu} \frac{1}{B}$$

4.2.1 Durchführung

- Kugel auf Luftkissen, reibungsfreie Bewegung
- Auslenken von Kugel an Stiel, Messung von 10 Periodendauern
- Auftragen von T^2 gegen $1/B$, Bestimmung durch lineare Regression

4.2.2 Auswertung

$$\frac{1}{B} = \alpha \cdot T^2 + \beta \implies \mu = \alpha \cdot 4\pi^2 J_K \approx 0,1 \text{ A m}^2$$

- Luftkissen beschädigt, Kugel konnte nicht vollständig reibungsfrei schweben
- schlechte Methode, Wert weit von Mittelwert entfernt

4.3 Präzession

- Wirkt Kraft auf rotierenden Körper, bewegt sich Drehachse auf Kegel um Drehimpulsachse (Präzession)
- Kugel wird in Rotation versetzt
- Auslenkung um kleinen Winkel \rightarrow Magnetfeld einschalten \rightarrow Präzessionsbewegung

$$\vec{\mu} \times \vec{B} = \frac{d\vec{L}_K}{dt}$$

- lösbar mit Präzessionsfrequenz $\Omega = \frac{\mu B}{|L_K|}$
- Drehimpuls wird über Trägheitsmoment J_K und Winkelgeschwindigkeit ω bestimmt
- Stroboskop um Leuchtfrequenz mit Winkelgeschwindigkeit abzustimmen

- Winkelgeschwindigkeit nimmt exponentiell mit Zeit ab (2 Hz/min)

4.3.1 Durchführung

- wähle Frequenz ν zwischen 4 Hz – 6 Hz
- Versetzen der Kugel in Rotationsbewegung
- Abgleichen der Rotationsgeschwindigkeit mit Stroboskop \rightarrow Kippen der Kugel aus senkrechtem Zustand
- Magnetfeld einschalten \rightarrow eine Periodendauer messen (einen Umlauf)
- Bestimmen von μ durch lineare Regression (auftragen von $1/T$ gegen B)

4.3.2 Auswertung

$$B = \alpha \frac{1}{T} + \beta \implies \mu = \frac{4\pi^2 J_K \cdot \nu}{\alpha} \approx 0,4 \text{ A m}^2$$

- Luftkissen beschädigt, Kugel konnte nicht vollständig reibungsfrei schweben
- gute Methode, Wert war Mittelwert am nächsten