V105 - Korrektur

Das magnetische Moment

Evelyn Romanjuk
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona Kallo
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.11.17 Abgabe Korrektur: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Auswertung

1.1 Vorbereitung

In der vorbereitenden Aufgabe wird zunächst die Flussdichte B_0 für einen Strom I von 1A berechnet. Hierfür wird [FORMEL] verwendet sowie die Werte für das Helmholtz-Spulenpaar, welche in Kapitel [KAPITEL] zu finden sind. Wird für die magnetische Feldkonstante $\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6} \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}$ verwendet, ergibt sich eine Flussdichte von

$$B_0 = 4.86 \cdot 10^{-3}\mathrm{T}.$$

Weiterhin wird mit [FORMEL] das Trägheitsmoment J_K der im Versuch verwendeten Billiardkugel mit

$$r_\mathrm{K} = 2.5\mathrm{cm},$$
$$m_\mathrm{K} = 150\mathrm{g}$$

ermittelt. Das Trägheitsmoment beträgt damit $J_\mathrm{K} = 3,75 \cdot 10^{-5}\mathrm{kgm}^2$.

1.2 Bestimmung des magnetischen Momentes unter Ausnutzung der Gravitation

Die in dieser Methode eingestellten Ströme und gemessenen Abstände r sind in Tabelle (1) zu finden. Die zu den Strömen gehörigen Flussdichten B können mithilfe von Formel [FORMEL] berechnet werden.

Tabelle 1: Gravitationsmethode: Ermittelte Größen

$I/\,\mathrm{A}$	$B/10^{-3}\,\mathrm{T}$	$r/10^{-2}\,\mathrm{m}$
2,0	2,72	2,7
2,3	3,13	3,5
2,5	3,40	4,7
2,6	3,54	4,5
2,8	3,81	5,9
3,0	4,08	4,2
3,2	4,35	7,6
3,5	4,76	7,3
3,7	5,03	8,8
4,0	5,44	9,3

Es wird nun r gegen B aufgetragen wie in Abbildung (1) zu sehen ist. Die Steigung der Ausgleichsgeraden der Form $y = a \cdot x + b$ beträgt

$$a = \frac{r}{B} = (24{,}816 \pm 3{,}018)\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{T}}$$

und der y-Achsenabschnitt liegt bei

$$b = (-0{,}041 \pm 0{,}012)\,\mathrm{m}.$$

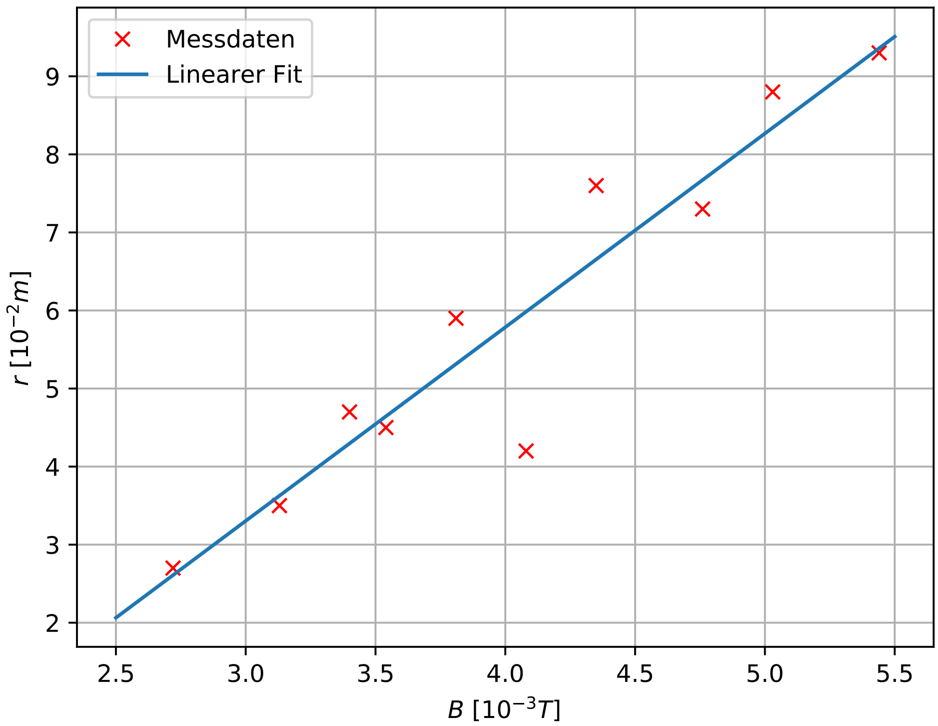

Abbildung 1: Lineare Regression zur Bestimmung des magnetischen Moments über die Gravitation.

Mit dem Gewicht der kleinen Masse m von $m = 0{,}0014\,\mathrm{kg}$ und der Erdbeschleunigung g, welche hier $g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ ist, lässt sich so ein magnetisches Moment μ_{Dipol} über Gleichung [Mü und B/R und soo!!] berechnen. Da es sich bei a um eine fehlerbehaftete Größe handelt, wird der Fehler $\Delta\mu_{\mathrm{Dipol}}$ des magnetischen Momentes mithilfe der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = \sqrt{\left(\frac{\partial\mu_{\mathrm{Dipol}}}{\partial a}\right)^2 \cdot (\Delta a)^2}$$

$$\implies \Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = \sqrt{(m \cdot g)^2 \cdot (\Delta a)^2}$$

$$\iff \Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = m \cdot g \cdot \Delta a \tag{1}$$

Werden nun alle Werte in Gleichung [Mü und B/R und so] sowie in (1) eingesetzt, ergibt sich ein magnetisches Moment von

$$\mu_{\mathrm{Dipol}} = (0{,}34 \pm 0{,}04)\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{m}^2.$$

1.3 Bestimmung des magnetischen Momentes über die Schwingungsdauer

In diese Messmethode wird das magnetische Moment μ_{Dipol} über Gleichung [GLEICHUNG] ermittelt. Das hierfür benötigte Trägheitsmoment J_{K} der im Versuch verwendeten Billiardkugel mit den Geometriedaten

$$r_{\mathrm{K}} = 2{,}5\,\mathrm{cm},$$
$$m_{\mathrm{K}} = 150\,\mathrm{g}$$

wird mit

$$J_{\mathrm{K}} = \frac{2 \cdot m_{\mathrm{K}} \cdot r_{\mathrm{K}}^2}{5}$$

bestimmt. Das Trägheitsmoment beträgt damit

$$J_{\mathrm{K}} = 3,75 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{kgm}^2.$$

In Tabelle (2) sind die eingestellten Ströme sowie die gemessenen Periodendauern zu finden.

Tabelle 2: Schwingungsmethode: Ermittelte Größen

I/A	$B/10^{-3}\mathrm{T}$	$\frac{1}{B}/\frac{1}{T}$	T/s	T^2/s^2
2,0	2,72	367,65	1,172	1,374
2,3	3,13	319,49	1,106	1,223
2,5	3,40	294,12	1,053	1,109
2,6	3,54	282,49	1,038	1,077
2,8	3,81	262,47	0,991	0,982
3,0	4,08	245,09	0,963	0,927
3,2	4,35	229,89	0,931	0,867
3,5	4,76	208,77	0,897	0,805
3,7	5,03	198,81	0,860	0,739
4,0	5,44	183,82	0,768	0,589

Die Steigung der Ausgleichgeraden der Form $y = a \cdot x + b$ beträgt

$$a = T^2 \cdot B = (0.00402 \pm 0.00019)\,\mathrm{s}^2 \cdot \mathrm{T},$$

der Y-Achsenabschnitt ist

$$b = (-0.07 \pm 0.05)\,\mathrm{s}^2.$$

Dies kann in Gleichung [GLEICHUNG] eingesetzt werden. Der Fehler wird über die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung ermittelt:

$$\Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = \sqrt{\left(\frac{\partial\mu_{\mathrm{Dipol}}}{\partial a}\right)^2 \cdot (\Delta a)^2}$$
$$\implies \Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = \sqrt{\left(-\frac{4\pi^2 \cdot J_{\mathrm{K}}}{a^2}\right)^2 \cdot (\Delta a)^2}$$

$$\iff \Delta\mu_{\mathrm{Dipol}} = \frac{4\pi^2 \cdot J_{\mathrm{K}}}{a^2} \cdot \Delta a \tag{2}$$

Nach Einsetzen der Werte für J_{K}, a und Δa in Gleichung [GLEICHUNG] und (2) folgt für das magnetische Moment:

$$\mu_{\mathrm{Dipol}} = (0{,}368 \pm 0{,}017)\,\mathrm{A} \cdot \mathrm{m}^2.$$

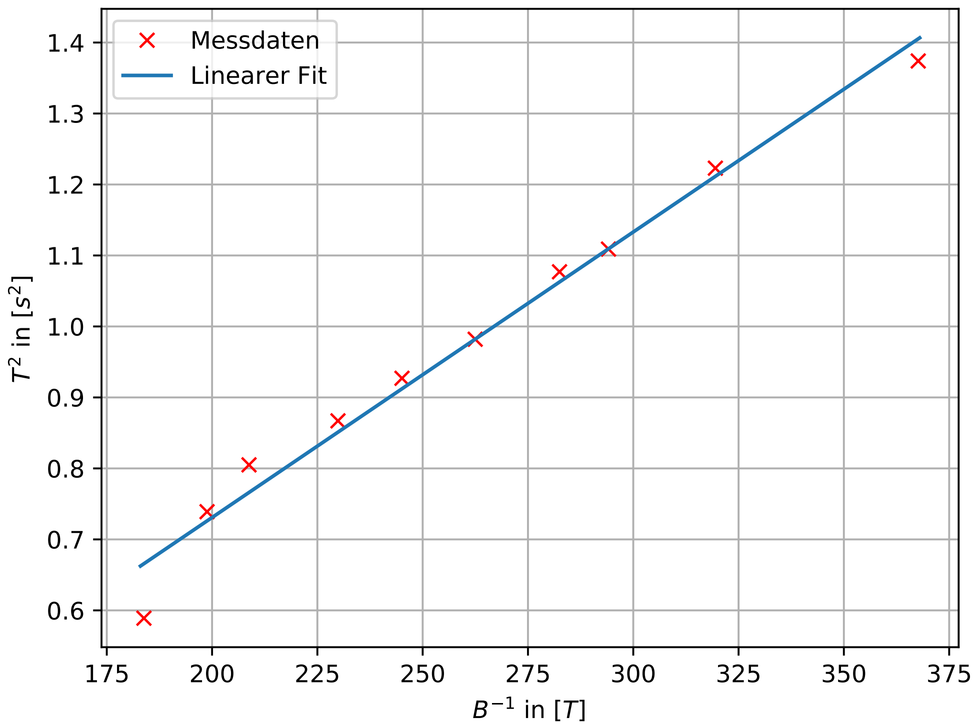

Abbildung 2: Lineare Regression zur Bestimmung des magnetischen Moments über die Schwingungsdauer.

1.4 Bestimmung des magnetischen Moments über die Präzession

Mit Gleichung [GLEICHUNG] kann μ_{Dipol} über die Präzessionsmethode berechnet werden. Der Drehimpuls L_{K} ist

$$L_{\mathrm{K}} = J_{\mathrm{K}} \cdot 2\pi\nu \tag{3}$$

Das Trägheitsmoment mit $J_{\mathrm{K}} = 3{,}75 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{kgm}^2$ und die Frequenz, welche $\nu = 5{,}8\,\mathrm{Hz}$ beträgt, können in (3) eingesetzt werden. Der Drehimpuls ist damit

$$L_{\mathrm{K}} = 1{,}367 \cdot 10^{-3}\,\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}.$$

Aus Tabelle (3) können die Ströme I, die daraus resultierenden magnetischen Flussdichten B und die Periodendauern T entnommen werden. Weiterhin enthält sie die gemittelten Periodendauern $\bar{T}$ sowie die Kehrwerte $\frac{1}{T}$. Der Mittelwert wird hierbei mit

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} T_\mathrm{i}$$

und der zugehörige Fehler mit

$$\Delta\bar{T} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (T_\mathrm{i} - \bar{T})^2}$$

berechnet.

Tabelle 3: Präzessionsmethode: Ermittelte Größen

I/A	$B/10^{-3}$T	T_1/s	T_2/s	T_3/s	$\bar{T}$/s	$\frac{1}{T}/\frac{1}{\mathrm{s}}$
0,5	0,68	25,28	25,06	20,88	23,7	
1,0	1,36	12,88	15,15	15,75	14,6	
1,5	2,04	10,06	8,13	8,60	8,93	
2,0	2,72	8,31	8,04	7,50	7,95	
2,5	3,40	6,69	5,91	5,90	6,16	
2,7	3,67	6,59	6,69	7,29	6,86	
3,0	4,08	4,62	5,78	6,06	5,486	
3,5	4,76	4,66	5,09	4,59	4,78	
3,7	5,03	4,69	4,37	5,09	4,72	
4,0	5,44	5,00	4,81	4,50	4,77	

In Abbildung (3) werden die gemittelten, reziproken Periodendauern T_p gegen die magnetischen Flussdichten aufgetragen. Aus der linearen Regression der Form $y = a{\cdot}x{+}b$ ergibt sich die Steigung a und der y-Achsenabschnitt b:

$$a = \frac{1}{T_\mathrm{p} \cdot B} = (xxx \pm xxx)\frac{1}{s \cdot T},$$
$$b = xxxxx.$$

Das magnetische Moment ist somit

$$\mu_\mathrm{Dipol} = (0.0887 \pm 0.0054)\frac{J}{T}.$$

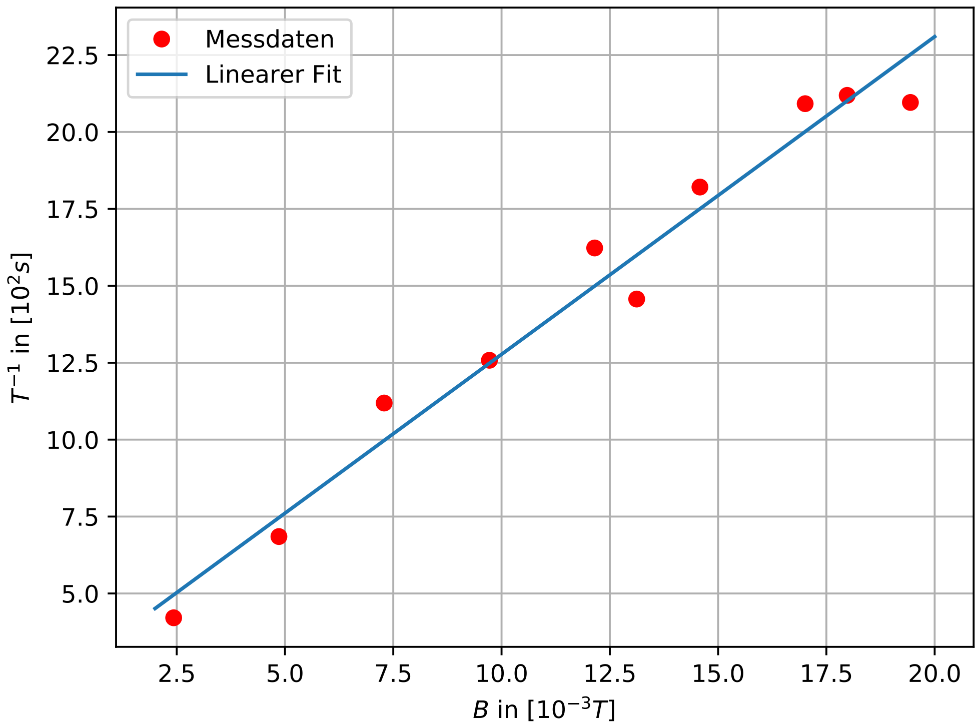

Abbildung 3: Präzession

2 Diskussion

Ziel dieses Versuches war es, das magnetische Moment eines Permanentmagneten auf drei verschiedene Weisen zu berechnen. In jeder der Messmethoden gab es Fehlerquellen, die berücksichtigt werden müssen. Zunächst die Gravitationsmethode. Hier könnten Fehler beim Vermessen der Billiardkugel mitsamt des Stiels auftreten sein. Zudem ist es möglich,dass die Abstände r von der Masse bis zur Kugel nur ungenau bestimmmt wurden und es ein Intervall gab, in der die Masse bei einem bestimmten Magnetfeld noch stabil war. Diese ungenauen Abstände würden sich damit direkt auf die Berechnung von μ_{Dipol} auswirken.

Bei der Methode über die Schwingungsdauer könnte es sein, dass die Auslenkungen nicht bei jeder Messung gleich groß waren und die Durchführungen somit nicht einheitlich, da Periodendauern dadurch vergrößert oder verkleinert wurden. Bei kleinen Periodendauern könnten sich außerdem Fehler beim Stoppen der Zeit ergeben haben.

Zuletzt gab es auch bei der Präzessionsmethode einige Fehlerquellen. Zunächst musste die Kugel in Rotation und in einen stabilen Zustand versetzt werden. Wenn dies gelungen war, präzidierte die Kugel häufig schon, bevor der Strom richtig eingestellt wurde.

Außerdem kam es auch hier, wie in der Schwingungsmethode, vor, dass die Kugel nicht immer gleich stark ausgelenkt wurde. Weiterhin ergaben sich sicherlich auch Fehler beim Messen der Periodendauer, da es nicht immer genau ersichtlich war, wann eine Periode erreicht wurde.

Ferner spielte bei allen Messmethoden eine Rolle wie lange der Strom eingeschaltet war, weil beim Erwärmen des Spulendrahtes dessen Widerstand ansteigt. Daraus würde folgen, dass das Magnetfeld schwächer wird, was sich auf die gesamte Berechnung der magnetischen Momente der verschiedenen Messmethoden auswirkt.

Die Ergebnisse dieses Versuchs sind die folgenden magnetischen Momente:

$$\mu_{\text{Dipol, Grav}} = (0.0953 \pm 0.0115)\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{T}}$$
$$\mu_{\text{Dipol, Schwing}} = (0.1028 \pm 2.4674)\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{T}}$$
$$\mu_{\text{Dipol, Präz}} = (0.0887 \pm 0.0054)\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{T}}$$

Diese Werte weichen mindestens mit 6.93% und maximal mit 15.9% voneinander ab. Es ist zu erkennen, dass das magnetische Moment, das über die Schwingungsmethode bestimmt wurde, den größten Fehlerwert aufweist. Dagegen hat die Präzessionsmethode den kleinsten. Auffällig ist hierbei, dass die Präzessionsmethode eigentlich die meisten Fehlerquellen hat, aber dennoch die Methode ist, bei der das magnetische Moment den kleinsten Fehlerwert hat.