

Experimentelle Übungen I

Versuchsprotokoll E5

Magnetische Suszeptibilität

Hauke Hawighorst, Jörn Sievneck

Gruppe 9

`h.hawighorst@uni-muenster.de`

`j_siev11@uni-muenster.de`

15. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Zusammenfassung	1
3. Einfluss eines Magneten auf Wasser - Eine Fermi-Abschätzung.	1
3.1. Methoden	1
3.2. Ergebnisse	1
4. Einfluss eines Magneten auf eine Aluminiumplatte und auf einen Aluminiumkamm	3
5. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr mit und ohne Schlitz.	4
6. Volumensuzibilität χ_V	6
6.1. Methode	6
6.2. Ergebnisse und Analyse	6
7. Schlussfolgerung	8
A. Anhang	9

1. Zusammenfassung

2. Zusammenfassung

3. Einfluss eines Magneten auf Wasser - Eine Fermi-Abschätzung.

3.1. Methoden

Um den Einfluss eines Magnetfeldes zu untersuchen wurde ein Laser auf eine Wasseroberfläche gerichtet. Unter dem Behälter mit dem Wasser (einer Petrischale) wurde dann ein Magnet drunter hergeschoben. Anhand der Bewegung des auf eine Wand reflektierten Lasers konnte man erkennen auf welche Art das Wasser beeinflusst wurde. Um einschätzen zu können wie groß der Einfluss des Magnetfeldes war wurden alle für die Rechnung relevanten Werte abgeschätzt. Bei dieser Abschätzung handelte es sich um eine Fermi-Abschätzung. Das heißt man schätzt die Werte grob ab und geht davon aus dass die Unsicherheiten sich gegenseitig aufheben. Diese Abschätzung liefert keine genauen Werte, jedoch liefert sie einen guten Hinweis auf die Größenordnungen in der man sich bewegt.

3.2. Ergebnisse

Beim durchführen des Experimentes fiel auf dass sich der Laserpunkt erst nach oben und dann nach unten bewegte. Dies ist darauf zurückzuführen dass Wasser diamagnetisch ist, also aus Magnetfeldern verdrängt wird. Das führt dazu dass sich eine Einbuchtung in der Oberfläche bildet die bei der Rechnung durch ein Dreieck approximiert wurde. Die Abschätzung der relevanten Werte lieferte, für einen Versuchsaufbau ähnlich zu ??, für $x = 400 \text{ cm}$, $y = 130 \text{ cm}$, $\Delta y \pm 3,5 \text{ cm}$ und $d = 1 \text{ cm}$ (Die Bedeutungen der einzelnen Werte sind in Abb. 1 zu sehen). Mithilfe einiger trigonometrischer Zusammenhänge kommt

man dann auf die Gleichungen:

$$2\beta = \arctan\left(\frac{\Delta y + y}{x}\right) - \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (3.1)$$

$$\tan(\beta) = \frac{2h}{d} \quad (3.2)$$

Setzt man diese Gleichungen ineinander ein und stellt sie nach h um erhält man für einen Wert für h von 0,00198 cm. Magnetfeldes auf Wasser nur sehr klein ist. Da Wasser Diamagnetisch ist und Diamagnetismus meist nur sehr schwach auftritt entspricht die Größenordnung des erhaltenen Wertes der Erwarteten Größenordnung. Wie schon zu Beginn festgestellt wurde handelt es sich bei diesem Wert nicht um einen Exakten Wert sondern nur um einen Näherungswert, was auf die Art und Weise zurückzuführen ist wie die Werte abgeschätzt wurden.

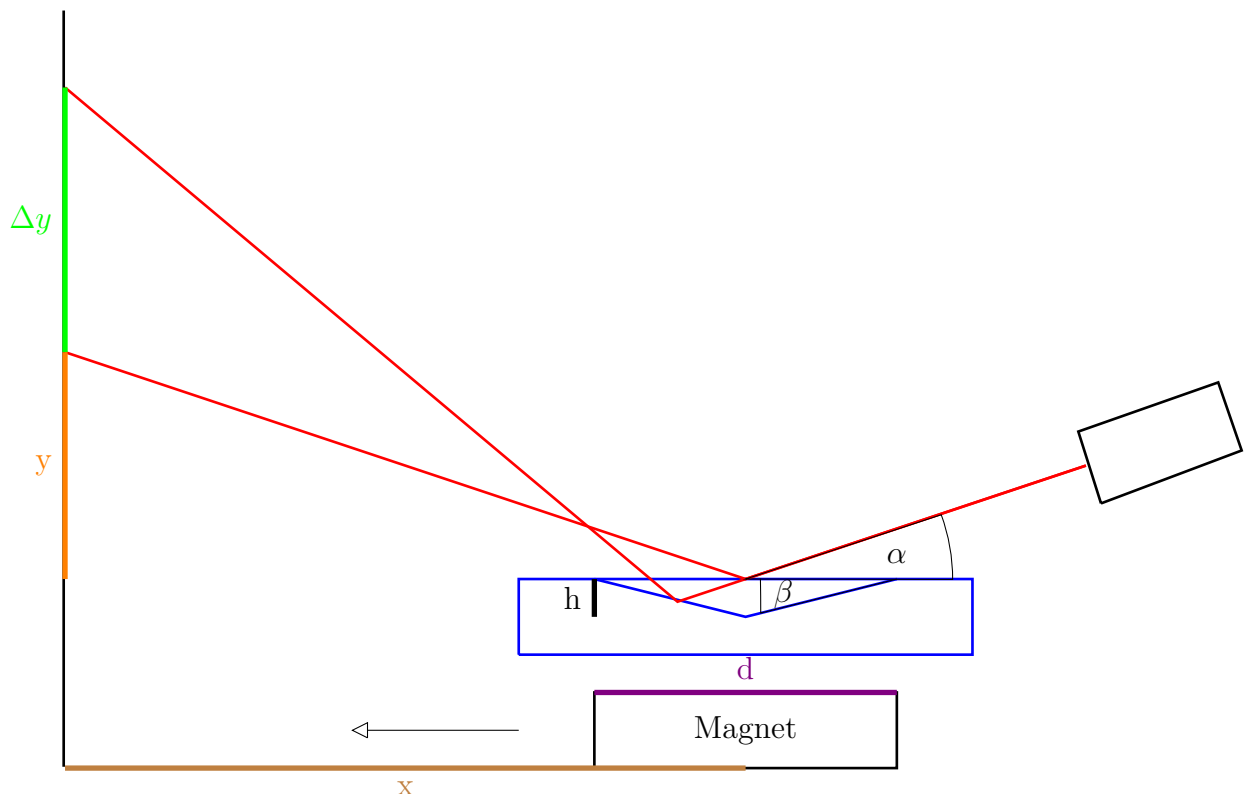


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus. Hier ist jedoch nur einer der beiden beobachteten Fälle betrachtet. Der Fall für $-\Delta y$ ist nicht explizit aufgeführt.

4. Einfluss eines Magneten auf eine Aluminiumplatte und auf einen Aluminiumkamm

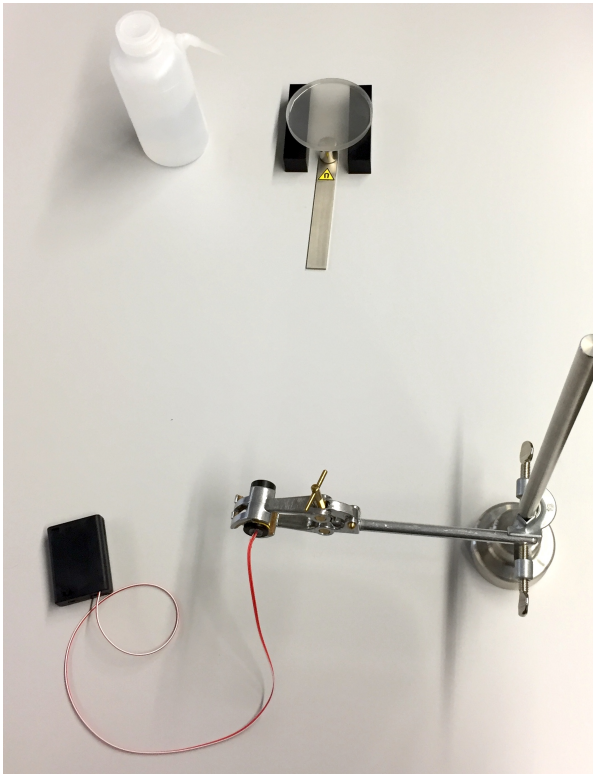


Abbildung 2: Zusehen ist hier der Versuchsaufbau mit dem der Einfluss eines Magnetfeldes auf Wasser untersucht wurde¹.

4. Einfluss eines Magneten auf eine Aluminiumplatte und auf einen Aluminiumkamm

Bei diesem Experiment ging es darum das Verhalten zweier unterschiedlich geformter Körper aus dem gleichen Material zu untersuchen. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 zu sehen. Um das Verhalten der Platte und des Kamms zu untersuchen wurde eine Reihe aus drei Magneten einmal schnell auf die Platte zubewegt und wieder entfernt und danach langsam angenähert und langsam wieder entfernt. Diese Aktionen wurden danach bei dem Kamm wiederholt. Beim schnellen Annähern an die Platte schwang die Platte zurück und beim langsamen Entfernen wurde sie mitgezogen. Dieses Verhalten ist auf Diamagnetismus beziehungsweise Paramagnetismus zurückzuführen. Beim schnellen Annähern tritt der Diamagnetismus auf und die Platte wurde aus dem Magnetfeld

¹Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

5. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr mit und ohne Schlitz

verdrängt. Entfernt man die Magneten jedoch langsam wieder überlagern die deutlich stärkeren Paramagnetischen Effekte den Diamagnetismus und die Platte wird mitgezogen. Das bei dem Kamm nur der Paramagnetismus auftritt und das auch nur sehr schwach ist auf die Unterbrechungen in der Oberfläche zurückzuführen. Diese Unterbrechungen sorgen dafür das die Wirbelströme die auf die Oberfläche induziert werden deutlich schwächer ausfallen als bei der Platte. Dadurch wird der sowieso schon sehr schwache Diamagnetische Effekt so stark abgeschwächt das er bei einem so schwachen Magnetfeld nicht mehr zu sehen ist.



Abbildung 3: In dieser Abbildung ist der Versuchsaufbau zu sehen mit dem man den Einfluss eines Magneten auf eine Aluplatte und auf einen Alukamm untersucht wurde².

5. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr mit und ohne Schlitz.

Dieses Experiment untersucht das gleiche Verhalten das auch schon in Abschnitt 4 zu beobachten war. Hier wurde ein Magnet erst durch ein Rohr ohne Unterbrechungen in der Mantelfläche fallen gelassen und danach durch ein Rohr das an der Seite einen Schlitz hatte sodass die Oberfläche vollständig unterbrochen war (vgl. Abb. 4). Beobachtet

²Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

5. Verhalten eines Magneten beim Fall durch ein Aluminiumrohr

wurde bei der Durchführung das der Magnet durch das nicht ganz geschlossene Rohr zwar langsamer fällt als wenn man ihn einfach so fallen gelassen hätte. Jedoch deutlich schneller als durch das Rohr mit dem nicht durchbrochenem Mantel. Dies ist eben genau auf diese Unterbrechung zurückzuführen, denn diese verhindert das schon in Abschnitt 4 angesprochene induzieren von Wirbelströmen auf die Oberfläche des Rohrs. Da dies verhindert wurde ist der auftretende Paramagnetische Effekt ungleich kleiner als bei der vollständig geschlossenen Röhre wo dies möglich ist.



Abbildung 4: In dieser Abbildung sind die in diesem Experiment verwendeten Aluminiumrohre zu sehen³.

³Entnommen am 20.11.17 aus dem Learnweb Kurs „Experimentelle Übungen I 17-18“

6. Berechnung der Volumensuzibilität χ_V auf verschiedene Materialien

Ziel dieser Versuche war die Quantifizierung des Einflusses eines Magnetfeldes auf para- und diamagnetische Stoffe. Die zu untersuchenden Proben waren aus pyrolytischem Graphit, und Glas als diamagnetische Stoffe, sowie Aluminium als paramagnetisches Element.

6.1. Methode

Zu Bestimmen war die Kraft der Probe aufgrund des Magnetfeldes. Da bei der Kraftmessung nur die vertikale Komponente gemessen wurde, ist auch bei dem Magnetfeld nur die vertikale Komponente zu berücksichtigen. Die Kräfte wurden durch eine digitale Waage mithilfe von Differenzwägung bestimmt. Zu Berücksichtigen war die Gewichtskraft der Proben sowie der Einfluss des Magnetfeldes auf die Probenhalterung. Gemessen wurde daher die Kraftdifferenz auf die Waage der Probenhalterung, sowie der gesamten Probe, bedingt durch das Magnetfeld. Um eine konstante Magnetfeldstärke einstellen zu können wurde durch eine Kunststoffplatte jeweils ein Abstand von 1 mm zwischen Magneten und Probe eingestellt. Jede Messung wurde zweimal durchgeführt. Nicht im Laborbuch vermerkte Messgrößen und Gleichungen sind der Anleitung entnommen.

6.2. Ergebnisse und Analyse

Tabelle 1: Messwerte der Magnetismuswaage

Material	$\Delta m_{\text{Halterung}} [\text{g}]$	$\Delta m_{\text{Probe mit Halterung}} [\text{g}]$	$\Delta m_p [\text{g}]$
Aluminium	0,41	0,38	-0,03
Graphit	0,42	1,59	1,17
Glas	0,40	0,43	0,03

Die Tabelle 1 gibt die Messwerte sowie die errechneten Volumensuzibilitäten χ_V wieder. Die Kontrollmessungen sind nicht aufgeführt, da die Differenzen zwischen $\Delta m_{\text{Halterung}}$ und Δm_{Probe} welche für die Berechnung relevant waren identisch waren, sie sind jedoch

im Laborbuch nachzulesen.

Die Volumensuzibilität wurde mithilfe der folgenden Gleichungen näherungsweise berechnet:

$$\chi_V = \frac{2\mu_0 \Delta m_p g}{V_p \frac{\partial B_z^2}{\partial z}} \quad (6.1)$$

$$V_p = \pi h_p R_p^2 \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial B_z^2}{\partial z} \approx \frac{B_z^2(d) - B_z^2(d + h_p)}{h_p} \quad (6.3)$$

$$B_z(z) = \frac{B_m}{2} \left(\frac{h_m + z}{\sqrt{R_m^2 + (h_m + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R_m^2 + z^2}} \right) \quad (6.4)$$

$$U_{ges} = \chi_V \sqrt{\left(\frac{U_{B_m}}{B_m} \right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta m}}{\Delta m} \right)^2} \quad (6.5)$$

Größen mit Index m beziehen sich hierbei auf den Magneten, der Index p auf die Proben. Des weiteren ist R der Radius, h die Höhe des betrachteten Zylinders und χ_V ist die zu berechnende Volumensuzibilität. B_m ist eine Materialkonstante des Magnetens, im Versuch war $B_m = (1,87 \pm 0,10)$ T. Die Unsicherheiten U sind in erster Linie die Anzeige der Waage sowie die Unsicherheiten Magnetfeldstärke charakterisiert mit Hilfe von B_m . Die weiteren Zahlenwerte und Ergebnisse sind aus Gründen der Lesbarkeit in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2: Abmessungen des Versuchsaufbaus und berechnete Volumensuzibilität

Material	R	d	h	χ_V
Aluminium	20 mm	1 mm	5 mm	$(1,38 \pm 0,15) \cdot 10^{-5}$
Graphit	20 mm	1 mm	5 mm	$(-5,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$
Glas	20 mm	1 mm	8 mm	$(-8,7 \pm 0,9) \cdot 10^{-6}$
Magnet	30 mm	1 mm	15 mm	

Aus den relativ betrachtet Großen Unsicherheitsintervallen lässt sich folgern, dass die Instrumente im Grenzbereich des sinnvoll messbaren eingesetzt wurden. So konnte zum

Beispiel bei Δm nur eine signifikante Stelle gemessen werden. Sodass die Schwankung um eine Endziffer das Ergebnis um $\frac{1}{3}$ verändert hätte. Außerdem konnten mangels Angabe weder geometrische Unsicherheiten noch Messunsicherheiten der Waage, abgesehen ihrer Anzeige, berücksichtigt werden. Bei Wiederholung der Messung wäre eine Waage welche mindestens im Bereich von 1 mg misst sinnvoll, da die Effekte Änderungen in der Größenordnung von 10 mg verursachen. Dennoch lassen die gemessenen Werte einen guten Rückschluss auf die Größenordnung der Volumensuzebilitäten schließen. Dies zeigt sich auch im Vergleich mit den Literaturwerten.

7. Schlussfolgerung

A. Anhang