

Das Magnetfeld eines Dauermagneten

Ein Stabmagnet wird *Dipol* genannt, da er zwei Pole besitzt, die allgemein mit Nord und Süd bezeichnet werden. Wird ein Magnet in zwei Teile gebrochen, erhält man nicht zwei isolierte Pole, sondern jedes Fragment besitzt immer noch zwei Pole. Ebenso weisen zwei Magnete zusammen nur zwei Pole auf. Da es unserem Wissen nach keine magnetischen Monopole gibt, ist der Dipol die einfachste magnetische Feldquelle.

Das Dipol-Feld ist nicht auf Stabmagnete beschränkt, da ein elektrischer Strom, der in einer Ringleitung fließt, auch das gängige Verhalten eines solchen Magnetfelds aufweist.

Das Magnetfeld B_{achse} (gemessen in Tesla) eines idealen Dipols, das entlang seiner Achse gemessen wird ist

$$B_{achse} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mu}{d^3}$$

wobei μ_0 die Permeabilitätskonstante ($4\pi \times 10^{-7}$ T m/A) ist, d der Abstand von der Mitte des Dipols in Metern und μ das magnetische Moment. Das magnetische Moment misst die Stärke eines Magneten etwa so, wie die elektrische Ladung die Stärke einer elektrischen Feldquelle misst. Beachten Sie, dass die Abhängigkeit vom Abstand dieser Funktion eine inverse Kubik-Funktion ist, die sich von der inversen Quadrat-Beziehung unterscheidet, die Sie vielleicht schon kennen.

In diesem Experiment werden Sie untersuchen, wie das Magnetfeld eines kleinen, starken Magneten sich mit dem Abstand, der entlang der Achse gemessen wird, ändert. Mithilfe eines Magnetfeld-Sensors wird der Betrag des Feldes gemessen.

Einfache Labor-Magnete sind annähernd Dipole, auch wenn Magnete von komplexerem Format komplexere Felder aufweisen. Durch Vergleich Ihrer Feld-Daten mit dem Feld eines idealen Dipols können Sie überprüfen, ob Ihr Magnet sich annähernd wie ein Dipol verhält. Tut er dies, können Sie auch sein magnetisches Moment messen.

LERNZIELE

- Mithilfe eines Magnetfeld-Sensors das Feld eines kleinen Magneten messen
- Vergleichen der Abstands-Abhängigkeit des Magnetfeldes mit dem magnetischen Dipol-Modell
- Messen des magnetischen Moments eines Magneten

MATERIAL

Computer
Vernier Computerschnittstelle
Logger *Pro*
Vernier Magnetfeld-Sensor

Kreppband
zwei starke Scheibenmagnete
Metermaß
Karteikarte

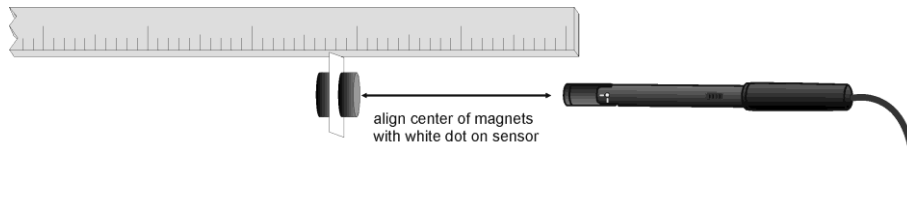


Abbildung 1

VORBEREITENDE FRAGE

1. Legen Sie einen Magneten auf den Tisch und halten Sie den anderen in Ihrer Hand genau über dem ersten. Senken Sie den oberen Magneten nun langsam zum unteren ab. Beobachten Sie den Moment, wenn der untere Magnet hoch springt, um den oberen zu berühren. Trennen Sie die Magnete und versuchen Sie es erneut. Was können Sie aus dem plötzlichen Sprung des unteren Magneten darüber schließen, wie die magnetische Kraft zwischen Magneten sich mit dem Abstand verändert?

VORGEHENSWEISE

Kleben Sie das Metermaß auf den Tisch und den Magnetfeld-Sensor an eine günstige Stelle. Der klare Plastikstab sollte so zum Metermaß liegen, so dass der weiße Punkt im Stab entlang des Metermaßes in Richtung der ansteigenden Meterskala zeigt. Messen Sie vorsichtig den Ort des Sensors auf dem Metermaß. Dies wird Ihr Ursprung für alle Messungen sein.

Eine praktische Möglichkeit, bis zur Mitte des Magneten zu messen und mit den kleinen Magneten umzugehen ist es, die Magnete durch eine Karteikarte hindurch einander anziehen zu lassen. Die Magnete sollten auf der Karte an der Stelle bleiben. Die Karte selbst dient zur Markierung der Mitte des Magnetpaares.

Verbinden Sie den Magnetfeld-Sensor mit *Channel 1* der Computerschnittstelle. Stellen Sie den Schalter auf dem Sensor auf 6,4 mT (niedrige Verstärkung).

Öffnen Sie die Datei "31 Mag Field Magnet" im Ordner *Physik mit Vernier*.

Zuerst wird der Sensor auf Null gestellt, wenn die Magnete weit entfernt sind vom Sensor, damit die Auswirkung des Erd-Magnetfeldes und jeglicher lokaler Magnetismen entfernt wird. Der Sensor wird nur für diese Position auf Null gestellt, deshalb werden in späteren Schritten nur die Magnete bewegt und nicht der Sensor.

- a. Bewegen Sie die Magnete weit weg vom Sensor.
- b. Sobald die Anzeige des Messgeräts stabil ist, drücken Sie auf  Zero .

Sie sind nun bereit, Magnetfeld-Daten als Funktion des Abstandes zu erfassen.

- a. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf  Collect .
- b. Legen Sie die Karte mit den Magneten neben das Metermaß, 2 cm entfernt vom Magnetfeld-Sensor, so dass die Karte senkrecht zum Metermaß liegt. Messen Sie von der Karte bis zur Mitte des Magnetfeld-Sensors.
- c. Der aktuelle Magnetfeld-Wert wird im Messgerät angezeigt. Drehen Sie die Magnete wenn nötig um, damit der Messwert positive ist und positionieren Sie die Karte wieder 2 cm vom Sensor entfernt. Beträgt der Messwert mehr als 6 mT, dann erhöhen Sie den Abstand, bis der Wert unter 6 mT liegt.
- d. Bestimmen Sie vorsichtig den Abstand von der Karte zum Sensor.
- e. Drücken Sie zum Speichern des Magnetfeldes auf  Keep .

- f. Um spätere Berechnungen zu erleichtern, geben Sie den Abstand in Metern im Computer ein, 2 cm sind 0,02 m. Drücken Sie zum Vervollständigen des Eintrags auf .

Erfassen Sie für die nächsten zehn Punkte die Feld- und Abstanddaten wie zuvor.

- Lassen Sie den Magnetfeld-Sensor an seinem Platz und erhöhen Sie den Abstand der Magnete um 0,25 cm.
- Drücken Sie zum Speichern des Magnetfeldes auf .
- Geben Sie den Abstand in Metern am Computer ein.
- Drücken Sie nach dem letzten Punkt zum Beenden der Datenerfassung auf .

Den Graph, den Sie sehen, zeigt das magnetische Feld gegenüber dem Abstand vom Magneten. Das Feld sollte schnell nachlassen.

DATEN-TABELLE

| | |
|---------------------------|--|
| Modell-Parameter A | |
| Magnetisches Moment | |
| μ [A m ²] | |

ANALYSE

- Zum Vergleich Ihrer Daten mit dem inversen Kubik-Modell

$$B_{achse} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mu}{d^3} = \left(\frac{\mu_0 2\mu}{4\pi} \right) \frac{1}{d^3}$$

können Sie die Funktion $y = A/x^3$ zusammen mit Ihren Daten zeichnen. Um beide zusammen auf denselben Graphen zu zeichnen, führen Sie folgendes durch:

- Wählen Sie *Curve Fit* aus dem Menü *Analyze*. Es öffnet sich ein neues Fenster.
 - Wählen Sie *Variable Power* aus der Liste *General Equation*.
 - Geben Sie -3 in das Feld *Power* ein. Diese Einstellung passt die Funktion an eine inverse Kubik-Beziehung an.
 - Drücken Sie zum Anzeigen der angepassten Funktion auf .
 - Drücken Sie auf , um zum Hauptgraphen zurück zu kehren.
 - Notieren Sie den numerischen Wert von A in der Datentabelle.
- Wie gut passt das inverse Kubik-Modell zu Ihren experimentellen Daten? Zeigt Ihr Magnet nach dem Vergleich bezüglich des magnetischen Feldes das Verhalten eines Dipols?
 - Der Computer hat den Parameter A angepasst, daher kommt die Kurve der Gleichung so nah wie möglich an Ihre Datenpunkte heran. Wird der Parameter A mit dem Feld-Ausdruck eines magnetischen Dipols verknüpft, erkennt man $A = (\mu_0 2 \mu 10^3) / (4\pi)$. Der Faktor 10^3 resultiert daraus, dass das magnetische Feld in mT gemessen wurde und nicht in T. Bestimmen Sie mithilfe Ihres Wertes für A das magnetische Moment μ Ihres Magneten, wenn das inverse Kubik-Modell zu Ihren Daten passt.

ERWEITERUNGEN

1. Nehmen Sie andere Magnete, wie Kühlschrank-Magnete, Hufeisen-Magnete und Scheibenmagnete und schauen Sie, ob auch diese das magnetische Feld eines Dipols aufweisen.
2. Messen Sie das Dipol-Moment eines einzelnen Neodym-Magneten, sowie das von vier zusammenhängenden. Verhält sich das Dipol-Moment additiv, wenn Sie zwei oder mehr zusammenhängende Magnete verwenden?
3. Zeigen Sie, dass die Einheit des magnetischen Moments $A \cdot m^2$ (Ampere*Meter²) ist.
4. Die Einheit von μ könnte eine Beziehung des magnetischen Moments zu einem elektrischen Strom andeuten. Tatsächlich ist ein Strom, der in einem geschlossenen Ring fließt, ein magnetischer Dipol. Ein Strom I , der in einem Kreis der Fläche πr^2 fließt, besitzt das magnetische Moment $\mu = I \pi r^2$. Wenn ein einzelner Strom-Ring denselben Radius wie Ihr Permanentmagnet hätte, welcher Strom wäre nötig, um dasselbe magnetische Feld zu erzeugen? (Sie werden überrascht sein.) Fließen im Dauermagneten Ströme im Kreis?