Ziel:

Ziel des Versuches ist die Bestimmung des magnetischen Moments µ eines Permanentmagneten. Dieses soll durch drei verschiedene Methoden ermittelt werden. Die Methoden sind auf ihre Genauigkeit zu vergleichen.

Theorie:

Jeder magnetische Dipol verfügt über ein magnetisches Dipolmoment, kurz magnetisches Moment, welches die Stärke des Dipols beschreibt. Beispielsweise hat eine ebene Leiterschleife das magnetische Moment µ = A \* I=A\*n\_A\*I, mit der Stromstärke I, dem Normalenvektor n\_A, der Fläche A. Auch Permanentmagneten verfügen über ein magnetisches Moment, welches die magnetische Flussdichte erzeugt. Das magnetische Moment eines Permanentmagneten lässt sich im Allgemeinen nicht einfach theoretisch berechnen. In diesem Versuch soll es daher experimentell auf drei verschiedene Weisen berechnet werden.

Alle Methoden beruhen auf der Eigenschaft des magnetischen Moments, dass ein Drehmoment M = µ x B auf den Dipol ausgeübt wird, falls das magnetische Moment und die Richtung der Flussdichte eines äußeren magnetischen Feldes nicht übereinstimmen. Dieses Drehmoment neigt dazu, das magnetische Moment und die magnetische Flussdichte gleich zu orientieren, weil seine Richtung mit dem Kreuzprodukt beider Größen berechnet wird. Nun kann zum Beispiel eine Gravitationskraft Fg = m\*g=m(0 0 -g), wobei g die Schwerebeschleunigung der Erde ist, am Dipol angreifen. Dann wirkt ein Drehmoment M = mrxg auf den Dipol und es ist möglich, dass sich ein Gleichgewicht der Drehmomente einstellt und die relevanten Größen gemäß mrg = µB voneinander abhängen. Dies ist genau dann der Fall, falls das Magnetfeld und das Gravitationsfeld entgegengesetzt gerichtet sind, da dann die beiden Winkel … gleich sind (siehe Skizze).

Des Weiteren schwingt ein magnetischer Dipol mit magnetischem Moment µ in einem äußeren Magnetfeld bei Auslenkung um kleine Winkel gemäß der Gleichung des harmonischen Oszillators der Rotation M = -µxB=…, wobei J das Trägheitsmoment des Körpers mit magnetischem Moment und Theta der Auslenkungswinkel ist. Diese Differentialgleichung wird durch die Schwingungsdauer T mit T^2 = … gelöst.

Die Kraft auf ein magnetisches Objekt lässt es präzedieren, wenn man während einer Rotation des Objektes die Figurenachse von der Rotationsachse verschiebt. Dies ist analog zu einem schweren Kreisel aus der Mechanik, bei dem die Gravitionskraft das Drehmoment auf den Kreisel ausübt, welches ihn präzedieren lässt. Die Differentialgleichung … beschreibt die Präzession des magnetischen Dipols, dabei ist L=J\*omega der Drehimpuls des magnetischen Dipols und omega seine Winkelgeschwindigkeit, und wird durch die Präzessionsfrequenz … gelöst. Eine Bestimmungsgleichung für das magnetische Moment ist dann …, in ihr ist die Präzessionsfrequenz durch die Umlaufzeit T\_P ausgedrückt worden.

Das für den Versuch benötigte äußere Magnetfeld wird durch ein Helmholtz-Spulenpaar mit der magnetischen Flussdichte … in der Mitte erzeugt, welches sich durch das Gesetz von Biot-Savart als Superposition zweier Spulen darstellen lässt. Dabei ist µ\_0 die magnetische Feldkonstante, I der die Spulen durchfließende Strom, R ihr Radius und x ihr halber Abstand. Das Feld hat die Eigenschaft, dass es im Inneren auf der Symmetrieachse der Spulen nahezu homogen ist.

Aufbau und Durchführung:

Der Permanentmagnet ist in eine Billiardkugel eingelassen, sein magnetisches Moment ist entlang eines kleinen Stils ausgerichtet. Der Stil ist an der Außenseite der Kugel befestigt. Es lässt sich ein Stab in den Stil hineinstecken. Auf den Stab kann man eine Masse m befestigen, die für die statische Methode benötigt wird. Das bereits zuvor erwähnte Helmholtz-Spulenpaar erzeugt ein näherungsweise homogenes Magnetfeld, das in diesem Versuch nach oben zeigt, und verfügt über eine Fassung, in die die Kugel bei allen Messungen hineingelegt wird. Um die Messungen reibungsfrei durchzuführen, lässt sich ein Luftkissen einschalten, auf dem die Kugel gleiten kann.

Zuallererst sind die Apparatekonstanten zu prüfen bzw. zu bestimmen. Die Abmessungen des Helmholtz-Spulenpaars haben mit denen aus der Versuchsanleitung übereinzustimmen. Dann ist der Radius bzw. der Durchmesser und die Masse der Billiardkugel zu messen. Die Länge des Stils an der Kugel und die Masse des auf den Stab aufsteckbaren Körpers, der für die erste Methode notwendig ist, werden bestimmt.

Bei allen Methoden ist das Luftkissen während allen Messungen eingeschaltet.

Zuerst wird bei der statischen Methode eine Masse auf den Aluminiumstab aufgesteckt, der in den Stil hineingesteckt wird. Es wird zunächst der Abstand r vom Schwerpunkt der Masse zum Anfang des Stils gewählt und mithilfe einer Schieblehre eingestellt. Durch Auslenkung aus der Senkrechten greift ein durch die Gewichtskraft der Masse verursachtes Drehmoment an der Kugel an, das versucht, die Kugel vollständig zu kippen. Dann ist die Stromstärke am Steuergerät so einzustellen, dass sich ein Gleichgewicht von Mmag und Mgrav einstellt. Das Einstellen und Notieren der Stromstärke wurde für ein gegebenes r fünf Mal wiederholt, es wurden Messreihen für 10 verschiedene Abstände r aufgenommen.

Bei der zweiten Methode wird die Eigenschaft der Kugel ausgenutzt, dass sie sich wegen ihres magnetischen Moments im äußeren Magnetfeld wie ein harmonischer Oszillator verhält. Für eine gegebene Stromstärke I wird die Kugel leicht aus ihrer Ruhelage ausgelenkt und die zehnfache Periodendauer ihrer Schwingung ermittelt. Dabei ist darauf zu achten, die Kugel nur um kleine Winkel auszulenken. Wie bei der ersten Methode wurden für eine Stromstärke fünf Messungen durchgeführt und insgesamt zehn Messreihen für verschiedene Stromstärken aufgenommen.

Die letzte Methode nutzt die im Abschnitt „Theorie“ erwähnte Präzession eines Magneten im äußeren Magnetfeld aus. Bei ausgeschaltetem Magnetfeld wird die Kugel am Stil angedreht, um sie in Rotation zu versetzen. Die Gleichmäßigkeit und Frequenz der Rotation wurde durch ein Stroboskop überprüft. Im Stroboskoplicht erscheint ein weißer Punkt auf dem Stil stationär, wenn die Kugel mit der eingestellten Frequenz des Stroboskops rotiert, diese Frequenz ist auch zu notieren. Danach wird der Stil aus seiner senkrechten Position ausgelenkt. Das Magnetfeld wird nun rasch eingeschaltet und der Stil beginnt seinen Umlauf in einer Präzessionsbewegung, wobei seine Umlaufzeit gemessen wird. Es wurde für zehn verschiedene Stromstärken drei Mal die Umlaufzeit der Präzession gemessen.