EINGEGANGEN AM 08. MAI 2019

M. i. N.
Studiengang / Semester / Kurs

Gruppe: 12

Name, Vorname:
Ställe, Julian
Beier, Sönke

Betreuer: Winkl

Testat / Pre-LAB: 2/2

Laborbuch: 1/1

Datum, Unterschrift des Betreuers:
17.4.19 J. Winkl

A6 Elektronenspinresonanz

Versuchsbewertung: Σ 10 / 10

Bericht: 7/7

Datum, Unterschrift des Betreuers:
8.5.19 J. Winkl

A6 Elektronenspinre

Julian Stähle, Sönke Beier

8. Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Experiments

In diesem Experiment soll mithilfe eines Oszillators der Spinresonanzeffekt einer gegebenen paramagnetischen Probe nachgewiesen werden und der Landé-Faktor für die quasi freien Elektronen der Probe bestimmt werden. ✓

2 Theoretischer Hintergrund

Die Elektronenspinresonanz ähnelt dem bekannten Resonanzeffekt der Akustik, bei welchem eine gespannte Saite angeregt werden kann indem man sie mit Schallwellen, die in der Eigenfrequenz der Saite schwingen, aussetzt. Hierbei wird Energie von der Schallwelle übertragen. Im Gegensatz zur Akustik werden in diesem Experiment quasifreie Elektronen eines paramagnetischen Stoffes mittels Radiowellen angeregt ihre Spinrichtung zu ändern. Der Elektronenspin kann sich hierbei am ehesten als Eigendrehimpuls vorgestellt werden, der aber letztendlich nur zwei Mögliche Werte, nämlich $S_n = \pm\frac{\hbar}{2}$ annimmt. Dabei ist $S_n = \vec{S} \cdot \vec{n}$ mit der Quantisierungsachse $\vec{n}$, die vom Beobachter frei gewählt werden kann. ✓
Aufgrund der elektrischen Ladung des Elektrons erzeugt es bei seiner Bewegung, wie

z.B. hier bei seiner Eigendrehung ein eigenes Magnetfeld. Dieses kann durch den magnetischen Dipolmoment

$$\vec{\mu} = -g\frac{\mu_B}{\hbar}\vec{S} \tag{1}$$

beschrieben werden. Der Landé Faktor g beschreibt dabei das Verhältnis des gemessenen magnetischen Moments und der Größe des magnetischen Moments, das klassisch zu erwarten wäre. In unserem Fall sollte der Landé-Faktor g ungefähr den Wert 2,0023 annehmen.
Setzt man nun, wie in unserem Experiment durchgeführt, freie Elektronen in ein äußeres Magnetfeld, so richtet sich sein magnetisches Moment parallel zu diesem Magnetfeld aus, da das Elektron seine potentielle Energie

$$W = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

minimieren möchte. Legt man die Quantisierungsachse des Elektronenspins in Richtung des externen B-Feldes so erhält man mit der Formel 1

$$W = g\frac{\mu_B}{\hbar}S_n \cdot B \tag{2}$$

Da S_n einen positiven und negativen Wert annimmt, ist die potentielle Energie des Elektrons im externen Magnetfeld entweder $W_1 = -g\frac{\mu_B}{2}B$ oder $W_2 = g\frac{\mu_B}{2}B$. Ist das Elektron nicht angeregt, befindet es sich im niedrigen Energieniveau mit der Energie W_1. Durch zuführen der Energiedifferenz

$$\Delta W = W_2 - W_1 = g\mu_B B \tag{3}$$

zum Elektron, kann dieses in das angeregte Energieniveau W_2 wechseln. Bestrahlt man ein solches Elektron mit Radio Photonen der Energie

$$E = hf = \Delta W \tag{4}$$

so wird ein Photon absorbiert und das Elektron erreicht den höheren Energiezustand. Genau dieser Vorgang wird Elektronenspinresonanz genannt. Verbinden wir nun die Formeln 3 und 4, so erhalten wir die Resonanzbedingung:

$$hf = g\mu_B B \leftrightarrow f = \frac{g\mu_B}{h}B = \frac{g\mu_B}{h}\sqrt{2}B_{eff} \tag{5}$$

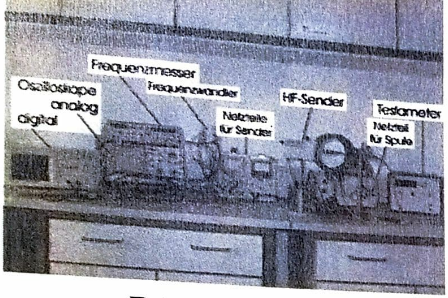

Bild 1: Aufbau

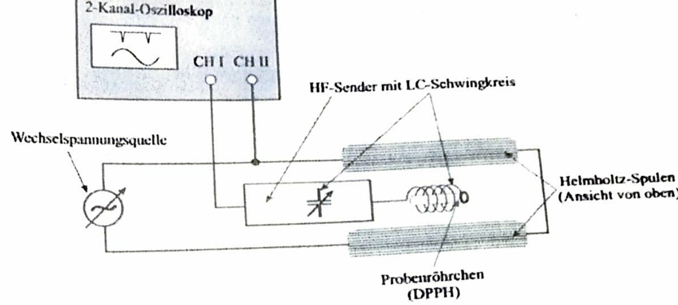

Bild 2: Schaltplan

etwas größer

Überprüfung der Homogenität des Magnetischen Feldes Zu aller erst justierten wir die Hall Sonde im Magnetfeld. Wir verschoben sie und beobachteten wie sich die Flussdichte in Abhängigkeit des Ortes veränderte. Wir stellten fest, dass das Magnetfeld ~~in~~ nahe der Mitte relativ homogen war und stellten die Hall Sonde nahe der Mitte auf, sodass die Halterung mit der Probe noch in der Mitte der Helmholtzspulenanordnung Platz hat.

Aufnahme der Messreihe zur Bestimmung des Landé-Faktors Nun stellten wir zu einer eingestellten Frequenz (beginnend bei 10 MHz) den Helmholtzspulenstrom so ein, dass nur noch zwei Minima auf dem Oszilloskop zu sehen waren (In diesem Fall ist die Amplitude der magnetischen Induktion so groß, dass die Spinresonanzstelle gerade so erreicht wird). Die Werte für die Frequenz und die Magnetflussdichte werden daraufhin notiert. Je Frequenz wurde dieser Vorgang drei mal wiederholt und für die Auswertung wurde dann mit dem Durchschnitt dieser Werte gearbeitet.Nach den drei Durchgängen wird die Frequenz um 5 MHz erhöht und der gesamte Durchlauf wird wiederholt. Für die unterschiedlichen Frequenzbereiche benutzten wir unterschiedliche Spulen. Für 10 bis 20 MHz benutzen wir die Spule mit den meisten Windungen, für 25 bis 75 MHz die mittlere Spule und für 75 bis 125 MHz die Spule mit den wenigsten Windungen.

4 Ergebnisse und Auswertung

Bestimmung des Landé-Faktors Der Landé-Faktor kann unter Benutzung der Formel 5 grafisch bestimmt werden. Trägt man nämlich die gemessenen Frequenzen zu den gemessenen effektiven Magnetischen-Flussdichten in einem Diagramm auf, so entspricht der Anstieg eines linearen Plots durch diese Messwerte $m = \frac{g\mu_B}{h}\sqrt{2}$. Der Faktor $\sqrt{2}$ kommt zustande, da unsere Hall-Sonde nur den Effektivwert des B-Feldes B_{eff} aufnimmt, wir aber die Amplitude des B-Feldes B benötigen. Aus der Formel für den Anstieg folgt:

$$g = \frac{hm}{\mu_B\sqrt{2}} \tag{6}$$

Im folgenden Plot sind die gemessenen Resonanzfrequenzen zum Mittelwert des effektiven Magnetischen Flussdichte B_{eff} aufgetragen.

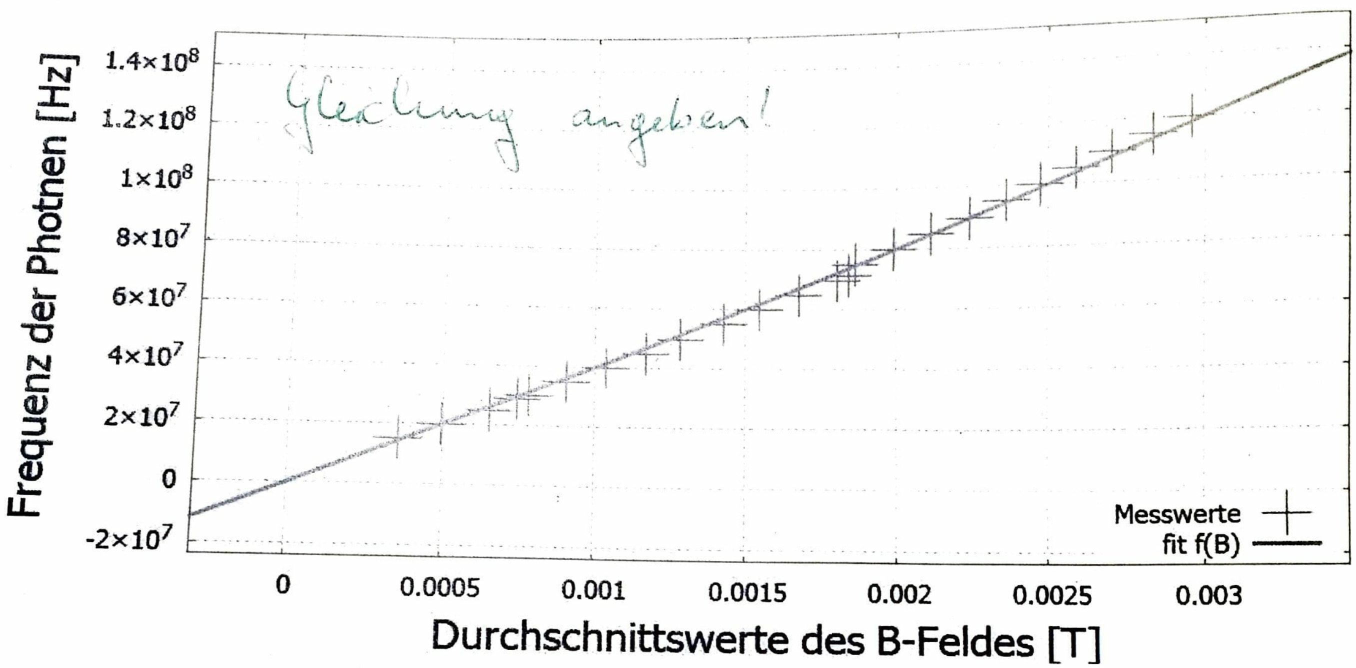

Abbildung 1: Aufgenommene Messwerte - Frequenz zur effektiven Flussdichte

Hier kann man erkennen, dass das Nutzen der verschiedenen Spulen einen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen hat. So sind die Messwerte von 75 bis 125 MHz leicht nach oben verschoben und passen nicht ganz zur restlichen Gerade.

Für die Fit-Gerade durch den Nullpunkt erhalten wir einen Anstieg

$$m = \frac{4,0061}{\sqrt{2}} \cdot 10^{10} \frac{\text{Hz}}{\text{T}}$$

$\frac{Hz}{T}$

mit einer Ungenauigkeit $U_m = \pm 1.652 \cdot 10^8 (0.4124\%)$. Mit dem Bohr'schen Magneton $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}}$, dem Plankschen Wirkungsquantum $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js und dem Zusammenhang der Formel 6 erhalten wir den Lande-Faktor:

$$g = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 4,0061 \cdot 10^{10}}{9,27 \cdot 10^{-24} \cdot \sqrt{2}} \quad \frac{\text{Js}\ \frac{1}{\sqrt{\text{T}}}}{\text{J}/\text{T}}$$

$$= \underline{\underline{2,022}}$$

Super, Aber! Einheiten beachten

Ungenauigkeit des Landé-Faktors Den Fehler von g berechnen wir mit der Fehlerfortpflanzungsformel:

Einheiten!

$$U_g = \left| U_m \cdot \frac{\partial g}{\partial m} \right| = \left| 1,652 \cdot 10^8 \cdot \frac{h}{\mu_B \sqrt{2}} \right| = \underline{\underline{0,083}}$$

Damit liegt der erwartete Wert von 2,0023 in unserem Ungenauigkeitsintervall.

5 Quellen

`https://www.uni-potsdam.de/u/phys_gprakt/html/doc/anleitungen`

Julian Stähle

S. K.