

Versuch 25: Zeeman-Effekt durchgeführt am 21.06.2004

Zielsetzung:

Ziel des Versuches ist es, die Aufspaltung des Lichtes einer Cadmium-Dampflampe im Magnetfeld zu beobachten und anhand der Ergebnisse das Bohrsche Magneton μ_B zu bestimmen.

Theoretischer Hintergrund:

Nach Bohr bewegen sich Elektronen auf Kreisbahnen um den Atomkern und sollten folglich nach der klassischen Elektrodynamik ein magnetisches Dipolmoment vom Betrag $\mu = I \times A$ mit der Kreisfläche A erzeugen. Das magnetische Dipolmoment des Elektrons auf der untersten Bohrschen Bahn (der K-Schale) lässt sich durch Kombination der Formeln für das magnetische Moment einer Kreisstroms und der Gleichungen Bohrs für Radius der Bahn und Kreisfrequenz berechnen zu

$$\mu_B = \frac{e_0 \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi}}{2 \cdot m}$$

mit μ_B als dem Bohrschen Magneton.

Nach der Quantenmechanik bewegen sich Elektronen jedoch nicht auf Kreisbahnen, sondern im ganzen Raum um den Kern, wobei das magnetische Bahnmoment des Elektrons gequantelt ist gemäß

$$|\vec{\mu}| = \mu_B \cdot \sqrt{l \cdot (l + 1)} \quad \text{mit } l = 0, 1, 2, \dots$$

Ferner gilt

$$\mu_z = \mu_B \cdot m$$

mit der Bahndrehimpulsquantenzahl **l**, der magnetischen Quantenzahl **m** und der z-Komponente des magnetischen Bahnmoments des Elektrons μ_z .

Das Elektron besitzt aufgrund seiner Eigendrehung noch ein *magnetisches Spinnmoment*, das sich im Falle zweier Elektronen mit antiparallelem Spin aufhebt, selbst wenn die Elektronen nicht im gleichen Orbital befindlich sind. die *magnetischen Bahnmomente* dagegen kompensieren sich nur auf halb- oder ganz gefüllten Schalen. Im Falle des für diesen Versuch herangezogenen Cadmium besitzt das Atom kein Spinnmoment im Grundzustand, da alle Elektronen gepaart sind.

Im durchgeführten Versuch wird der Übergang zwischen den beiden angeregten Zuständen $[\text{Kr}]4d^{10}5s^15d^15p^0$ und $[\text{Kr}]4d^{10}5s^15p^15d^0$

des Cadmiums beobachtet. Dabei ändert sich nicht das magnetische Spinnmoment (es bleibt Null), jedoch das Bahnmoment des Atoms.

Das Elektron kann 3 verschiedene p- und 5 d-Zustände besetzen, welche sich durch ihre unterschiedliche räumliche Ausrichtung und damit durch ihre magnetische Quantenzahl m unterscheiden. Es gilt für die Abhängigkeit der Energie der Zustände von der magnetischen Quantenzahl in einem Magnetfeld B in z-Richtung:

$$E_m = -\mu_B \cdot m \cdot B$$

Bei einem elektronischen Übergang muss die magnetische Quantenzahl entweder gleich bleiben oder sich um den Betrag 1 ändern, ansonsten ist der Übergang verboten (symmetriebezogene Auswahlregel).

Demzufolge kann das Elektron von 5d aus 3 erlaubte Übergänge eingehen, welche die Frequenzen

$$\nu = \nu_{B=0} + \mu_B \cdot B \cdot \Delta \frac{m}{h}$$

aufweisen. Da die Abstände benachbarter m -Zustände im 5p- und 5d-Term gleich groß sind, sind die Frequenzen der Übergänge alle identisch, wonach man beim Anlegen eines Magnetfelds eine Aufspaltung in ein Triplett beobachtet, mit der mittleren Linie bei der Frequenz des Übergangs ohne Magnetfeld. Diese Linien werden im Versuch mit Hilfe einer *Lummer-Gehrcke*-Platte beobachtet; wobei zur Auswertung der verschobenen Frequenzen der Zusammenhang gilt:

$$\delta \nu = \frac{c \cdot \sqrt{n^2 - 1} \cdot \delta y}{2 \cdot d \cdot (n^2 - 1) \cdot \Delta y}$$

mit der Plattendicke d , dem Brechungsindex der Platte n . Die Abweichung der Linien voneinander bzw. von den Referenzlinien wird mit einer Skala am Fernrohr bestimmt.

Durchführung und Auswertung:

Gemäß der Praktikumsvorschrift wird die Zeeman-Apparatur für den Versuch vorbereitet, indem das Magnetfeld ausgemessen wird (siehe Grafik „Eichgerade“) und die elektrische Verkabelung hergestellt wird. Anschließend wird das Cadmium-Licht eingeschaltet und drei benachbarte Linien im Fernrohr angepeilt. Man lässt in ein Triplett aufspalten, wobei die angelegte Spannung am Elektromagneten ca. 8 A beträgt. Durch Drehen am Polarisationsfilter wird die mittlere Linie entfernt und die äußeren beiden alleine dargestellt.

Nun kann mit den Messungen begonnen werden. Gemäß der Praktikumsvorschrift wird nun bei wechselnden Magnetströmen die Aufspaltung δy gemessen.

Da die Verhältnisse $\delta y / \Delta y$ angenähert hyperbolisch verlaufen, wird zwischen den Referenzlinien hyperbolisch interpoliert:

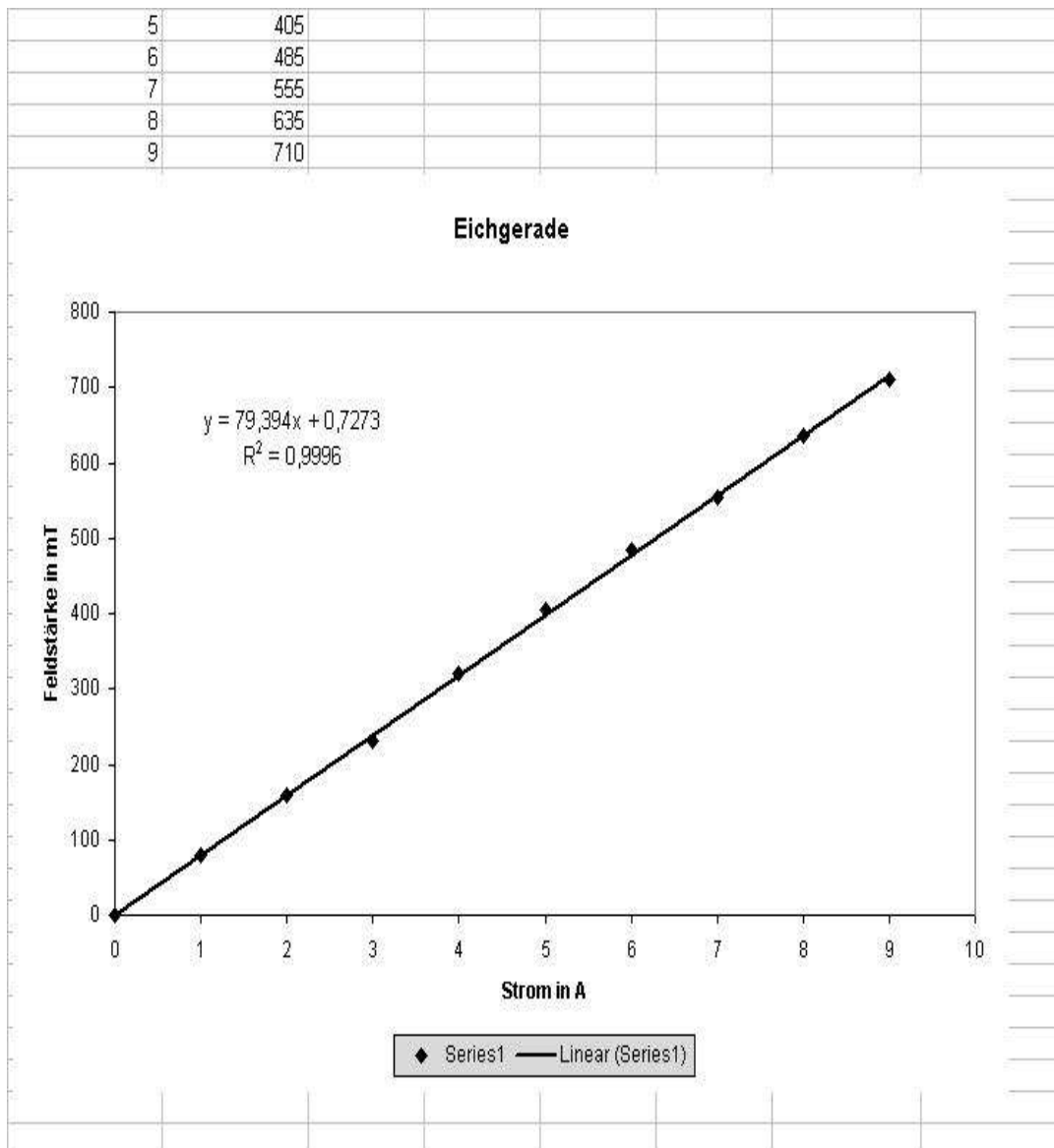


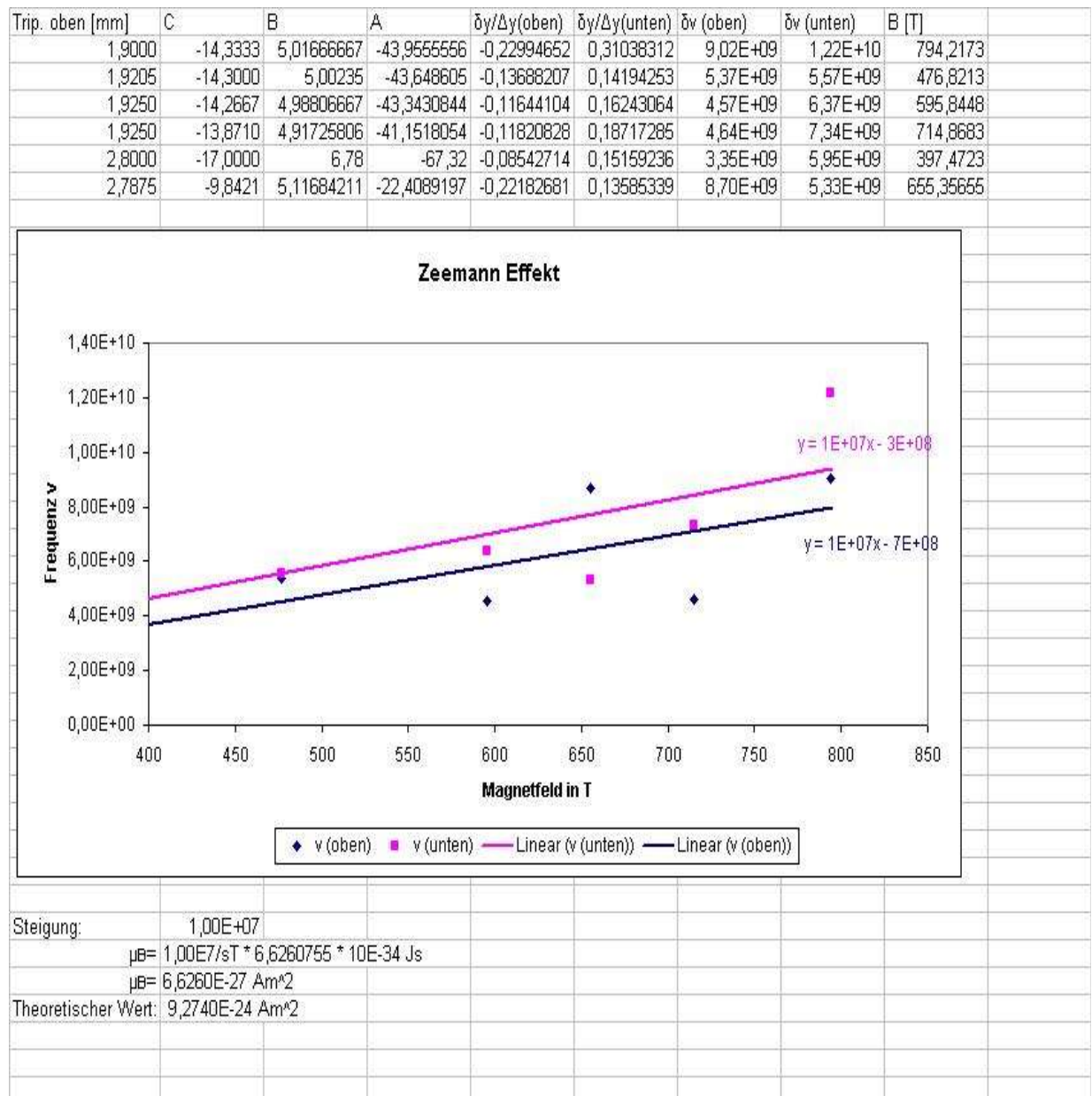
Abb. 1: Eichgerade des Elektromagneten

Die Interpolation erfolgt nach

$$\frac{\delta y}{\Delta y} = \frac{A}{X - B} + C$$

mit X als der Ablesung an der Uhr.

Die Messungen werden durchgeführt, wobei folgende Ergebnisse erhalten wurden (siehe nächste Seite):



Es errechnete sich aus der Steigung ein Wert für das Bohrsche Magneton von $\mu_B = 6,62 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$, wobei dies vom Literaturwert von $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$ um 28,6 % abweicht. Diese große Abweichung ist höchstwahrscheinlich auf Ableseungenauigkeiten beim Bestimmen der Linienabstände zurückzuführen. Die Uhr war sehr sensibel und es ist sehr wahrscheinlich, dass sie während der Messungen versehentlich verstellt wurde.

v.d.Hoff
Wagner