

Fortgeschrittenenpraktikum

Versuch 39: Frequenzmodulierte FARADAY-Rotation

Ort: F-Praktikum, P049
Betreuer: Gabriel Sellge, B.Sc.

Der FARADAY-Effekt tritt immer auf, wenn sich Licht in einem Medium ausbreitet, welches sich in einem Magnetfeld befindet. Dann induziert das magnetische Feld Doppelbrechung, und die zirkular polarisierten Komponenten der Lichtwelle breiten sich mit unterschiedlichen Brechungsindizes aus. Dies führt zu einer Drehung der Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht. Der Drehwinkel, den man nach dem Durchstrahlen eines optischen Mediums im Magnetfeld beobachten kann, ist direkt proportional zum mittleren B -Feld und zur Länge des durchstrahlten Mediums. Die Proportionalitätskonstante wird als VERDET-Konstante V bezeichnet und ist von der Wellenlänge und vom Material des Mediums abhängig, genauer ausgedrückt von der Dispersion bzw. der Anzahl und effektiven Masse der Dispersionselektronen. In dem Versuch soll die VERDET-Konstante für fünf verschiedene Wellenlängen und zwei Glassorten gemessen werden. Damit wird die Bestimmung der effektiven Oszillatormasse und der Anzahl der Dispersionselektronen für die beiden Gläser ermöglicht.

Mess-/Arbeitsprogramm:

Vorbereitung zu Hause:

1. Beschaffen Sie sich von der Website <http://refractiveindex.info/> die Werte der Dispersionsrelation $n(\lambda)$ für die Glassorten N-BK7 (Kronglas) und ZF4 (Schwerflintglas). Eine nach der SELLMIEIER-Gleichung günstige Darstellung ist $(n^2 - 1)^{-1}$ über λ^{-2} . Ermitteln Sie aus einer Anpassung den Anstieg und Achsenschnittpunkt und daraus die Wellenlänge λ_R der Modellresonanz des LORENTZ-Oszillators für beide Glassorten.

Kalibrierungen:

2. Messen Sie mit einer Axialsonde des Teslameters den Verlauf der magnetischen Flussdichte B entlang der Spulenchse innerhalb der Spule bei einer fest gewählten Gleichstromstärke (z.B. 0,8 A) und ermitteln Sie die mittlere Flussdichte \bar{B} innerhalb der Spule.
3. Ermitteln Sie die Kalibrierungskurve $\bar{B}(I)$ im Bereich von $0 < I < 2$ A.
4. Bauen Sie die Versuchsanordnung zur Messung der FARADAY-Rotation gemäß Abb. 1 auf. Erzeugen Sie einen möglichst perfekten Parallelstrahl und reduzieren Sie dessen Durchmesser soweit, dass innerhalb des Glaskörpers keine Lichtreflexionen an Glasquaderlängsseiten auftreten können. Vorzugsweise messen Sie gleichzeitig das DC-Signal mit einem Multimeter und das AC-Signal mit einem Oszilloskop (Tiefpassfilter) in Parallelschaltung beider Messgeräte.
5. Überprüfen Sie ohne Glaskörper und ohne Magnetfeld für eine Wellenlänge das MALUSSCHE Gesetz, indem Sie bei fester Polarisatorstellung die transmittierte Intensität in Abhängigkeit vom Analysatorwinkel (0° bis 180°) messen. Tragen Sie die Kurve auf. Bestimmen Sie den Kontrast $K = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp})$ und den Polarisationsgrad $G = I_{\parallel} / I_{\perp}$.
6. Wiederholen Sie die Messung mit Glaskörper aber ohne Magnetfeld und bestimmen Sie Kontrast und Polarisationsgrad. Diskutieren Sie Ihr Ergebnis. Bestimmen Sie den Anstieg $dI/d\varphi$ bei $\varphi = 45^\circ$.

7. Justieren Sie Ihren Versuchsaufbau so, dass Sie mit Glaskörper aber ohne Magnetfeld möglichst einen Polarisationsgrad von $G > 40$ erreichen.
8. Modulieren Sie das Magnetfeld mit einer Frequenz im Bereich $40 \text{ Hz} < \omega < 90 \text{ Hz}$ und weisen Sie bei einer Wellenlänge nach, dass bei $\varphi = 45^\circ$ das maximale Modulationssignal auftritt. Tragen Sie dazu die Größe I_{SS} (Signal von Spitze zu Spitze) in Abhängigkeit von φ auf.

Ermittlung der VERDETSchen Konstante:

9. Modulieren Sie das Magnetfeld mit einer Frequenz im Bereich $40 \text{ Hz} < \omega < 90 \text{ Hz}$ und messen Sie den Drehwinkel θ_F der Polarisationssebene des Lichtes (FARADAY-Winkel) bei fünf verschiedenen Wellenlängen jeweils für vier Magnetfeldstärken \bar{B}_{ampl} . Beachten Sie, dass Sie im Gegensatz zu Aufgabe 2 und 3 mit einem Wechselfeld arbeiten. Für die hier interessante Amplitudenflussdichte gilt $\bar{B}_{\text{ampl}} = \sqrt{2}\bar{B}$ (warum?).
10. Bestimmen Sie aus einer geeigneten Darstellung von θ_F und \bar{B}_{ampl} die VERDET-Konstante $V(\lambda)$. Berechnen Sie daraus die effektive Oszillatormasse m_e^* der Dispersionselektronen. Benutzen Sie dazu die Werte $dn/d\lambda$, die Sie auf der Website <http://refractiveindex.info/> finden.
11. Ermitteln Sie aus dem Anstieg Ihrer Geraden, in der Auftragung $(n^2 - 1)^{-1}$ über λ^{-2} , unter Verwendung Ihres m_e^* -Wertes die Zahl N der Dispersionselektronen pro Volumen und vergleichen Sie diese mit der Zahl der Atome pro Volumen. Beachten Sie in welchem Bereich eine lineare Anpassung durchgeführt werden darf.
12. Führen Sie die Aufgaben 9-11 für beide Glassorten durch.

Hinweis: Der N-BK7-Glasblock besteht größtenteils aus SiO_2 (Kronglas) und hat eine Dichte von $(2,51 \pm 0,03) \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Der ZF4-Glasblock besteht aus 70% SiO_2 und 30% PbO (Schwerlntglas) und hat eine Dichte von $(4,51 \pm 0,02) \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Stichwortverzeichnis:

FARADAY-Effekt, VERDET-Konstante, Transmission, Brechung, Brechungsindex, optische Dispersion, Dispersionsrelation, SELLMEIER-Gleichung, LORENTZ-Oszillator, ZEEMAN-Aufspaltung, Doppelbrechung, lineare und zirkulare Polarisation, Gesetz von MALUS, amorphe Festkörper insb. Gläser, effektive Masse, magnetische Wechselfelder, Frequenzmodulation

Literaturangaben:

- H. Becquerel, *Compt. Rend.* **125**, 679 (1897)
 H. Gobrecht, A. Tausend und I. Bach, *Zeitschrift für Physik* **166**, 76 (1962)
 M. Balkanski, E. Amzallag, *Phys. Stat. Sol.* **30**, 407 (1968)
 K. Kopitzki: *Einführung in die Festkörperphysik* (6. Auflage), Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2007
 Skript zur Bestimmung der VERDET-Konstante *

* In der Literaturmappe enthalten.

Liste der Geräte:

1. Verschiedene optische Justierelemente
2. LED's verschiedener Wellenlängen
3. Spule mit Glasquadern
4. Oszilloskop
5. Frequenzgenerator
6. Photodetektor mit DC- und AC-Ausgang
7. Teslameter mit Hallsonde

Versuchsaufbau:

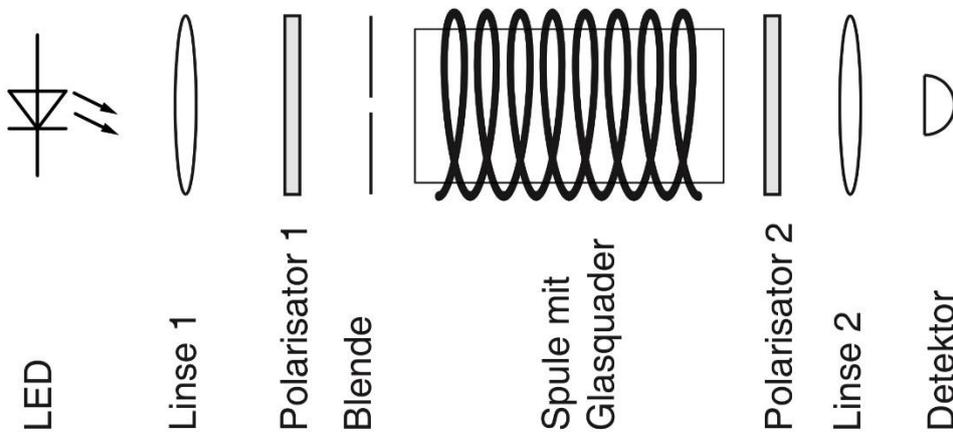


Abb. 1: schematischer Versuchsaufbau

Wichtige Hinweise:

- Die Glaskörper sind sehr empfindlich gegenüber Stößen. Lassen Sie die Glaskörper deshalb (auch aus kleiner Höhe) keinesfalls fallen!
- Berühren Sie den Glaskörper nicht mit den Händen. Sollten Stirn- oder Seitenflächen verdeckt sein, reinigen Sie den Glaskörper ausschließlich mit 2-Propanol.
- Die Raumbelichtung muss während der Messungen abgeschaltet sein, da die Leuchtstoffröhren sonst ein 100 Hz-Signal auf dem Detektor erzeugen können.
- Betreiben Sie die Spule nicht mit Strömen über 2 A.
- Lassen Sie die Beschaltung des Versuchsaufbaus vorher vom Betreuer überprüfen.