



AUFGABEN

- Nachweis des Faraday-Effekts in Flintglas.
- Messung des Drehwinkels der Polarisationssebene im Magnetfeld.
- Bestimmung der Verdet-Konstante für rotes und grünes Licht.
- Bestimmung des Cauchy-Koeffizienten b der Brechzahl von Flintglas.

ZIEL

Nachweis des Faraday-Effekts und Bestimmung der Verdet-Konstante für Flintglas

ZUSAMMENFASSUNG

Optisch isotrope, transparente, nicht magnetische Stoffe werden in einem Magnetfeld optisch aktiv. Sie drehen die Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht, das in Magnetfeldrichtung durch den Stoff geht, da die Laufzeiten des rechts- und des links-zirkular polarisierten Anteils unterschiedlich sind. Dieser Effekt wird Faraday-Effekt genannt. Im Experiment wird der Faraday-Effekt in Flintglas gemessen. Dieses Glas zeichnet sich durch eine sehr hohe und gleichmäßige optische Dispersion aus. Die Frequenzabhängigkeit der Brechzahl n lässt sich in guter Näherung durch eine Cauchy-Formel wiedergeben.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Optische Bank D, 100 cm	1002628
4	Optikreiter D, 90/50	1002635
1	Optikfuß D	1009733
1	Diodenlaser, rot	1003201
1	Lasermodule, grün	1003202
2	Polarisationsfilter auf Stiel	1008668
1	Projektionsschirm	1000608
1	Transformatorkern D	1000976
2	Paar Polschuhe	1000978
2	Spule D 900 Windungen	1012859
1	Flintglasquader für Faraday-Effekt	1012860
1	Zubehörsatz für Faraday-Effekt	1012861
1	Teslameter E	1008537
1	Magnetfeldsonde, axial/tangential	1001040
1	Tonnenfuß, 1000 g	1002834
1	Universalklemme	1002833
1	Satz 15 Experimentierkabel 1 mm ²	1002840
1	DC-Netzgerät 1 - 32 V, 0 - 20 A (230 V, 50/60 Hz)	1012857 oder
	DC-Netzgerät 1 - 32 V, 0 - 20 A (115 V, 50/60 Hz)	1012858

2

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Optisch isotrope, transparente, nicht magnetische Stoffe werden in einem Magnetfeld optisch aktiv. Sie drehen die Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht, das in Magnetfeldrichtung durch den Stoff geht, da die Laufzeiten des rechts- und des links-zirkular polarisierten Anteils unterschiedlich sind. Dieser Effekt wird Faraday-Effekt genannt.

Die Laufzeitunterschiede lassen sich in einem einfachen Modell durch die Änderung der Frequenz erklären, die zirkular polarisiertes Licht im Magnetfeld erfährt. Bei rechts polarisiertem Licht erhöht sich die Frequenz f geringfügig um die Larmor-Frequenz

$$(1) \quad f_l = \frac{e}{4\pi \cdot m_e} \cdot B,$$

$e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$ As : Elementarladung

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg : Ruhemasse des Elektrons

die Frequenz von links polarisiertem Licht nimmt um den gleichen Wert ab. Es ist also

$$(2) \quad f_{\pm} = f \pm f_l$$

Den unterschiedlichen Frequenzen sind unterschiedliche Brechzahlen im Material zuzuweisen. Daher sind auch die Wellengeschwindigkeiten im Material unterschiedlich.

Mit diesen Angaben lässt sich die Drehung der Polarisationssebene im optisch aktiven Material berechnen:

$$(3) \quad \varphi = 2\pi \cdot f \cdot (t_+ - t_-) = 2\pi \cdot f \cdot \frac{d}{c} \cdot (n(f_+) - n(f_-))$$

d : Länge der Probe,

$c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$: Lichtgeschwindigkeit

Da die Larmor-Frequenz f_l wesentlich kleiner als f ist, folgt

$$(4) \quad \begin{aligned} \varphi &= 2\pi \cdot f \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{dn}{df} \cdot 2 \cdot f_l \\ &= f \cdot \frac{dn}{df} \cdot \frac{e}{m_e \cdot c} \cdot B \cdot d \end{aligned}$$

Der Drehwinkel φ ist also proportional zum Magnetfeld B und zur durchstrahlten Länge d :

$$(5) \quad \varphi = V \cdot B \cdot d$$

Die Proportionalitätskonstante

$$(6) \quad V = \frac{e}{m_e \cdot c} \cdot f \cdot \frac{dn}{df}$$

wird Verdet-Konstante genannt und hängt ab von der Dispersion des Lichts im durchstrahlten Material und von der Frequenz f des Lichts.

Im Experiment wird der Faraday-Effekt in Flintglas F2 gemessen. Dieses Glas zeichnet sich durch eine sehr hohe und gleichmäßige optische Dispersion aus. Die Frequenzabhängigkeit der Brechzahl n lässt sich in guter Näherung durch eine Cauchy-Formel wiedergeben.

$$(7) \quad n(f) = a + \frac{b}{c^2} \cdot f^2$$

mit $a = 1,62$, $b = 8920 \text{ nm}^2$,

Um angesichts kleiner Drehwinkel die Messgenauigkeit zu erhöhen, wird im Experiment bei positivem Magnetfeld B die Polarisation des Lichts so festgelegt, dass der Analysator das Gesichtsfeld genau bei 0° abdunkelt.

Nach Umschalten zu negativem Magnetfeld $-B$ wird der Analysator um den Winkel 2φ gedreht, um wieder Dunkelheit zu erreichen.

AUSWERTUNG

$$\text{Aus (6) und (7) folgt } V = \frac{2 \cdot e \cdot b \cdot f^2}{m_e \cdot c^3} = \frac{2 \cdot e \cdot b}{m_e \cdot c \cdot \lambda^2}$$

Aus der Verdet-Konstante lässt sich also der Cauchy-Koeffizient b für die Brechzahl des verwendeten Flintglases bestimmen, wenn die Wellenlänge λ des verwendeten Lichts bekannt ist.

$$b = \frac{m_e \cdot c}{2 \cdot e} \cdot V \cdot \lambda^2$$

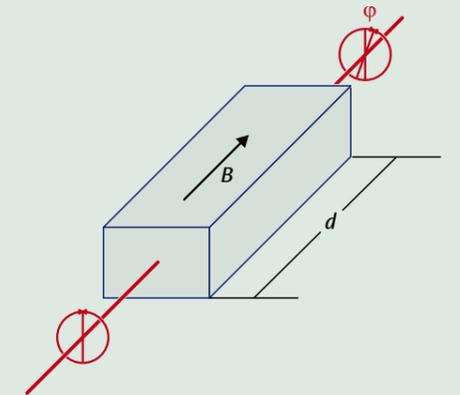


Abb. 1: Schematische Darstellung zur Erläuterung des Faraday-Effekts

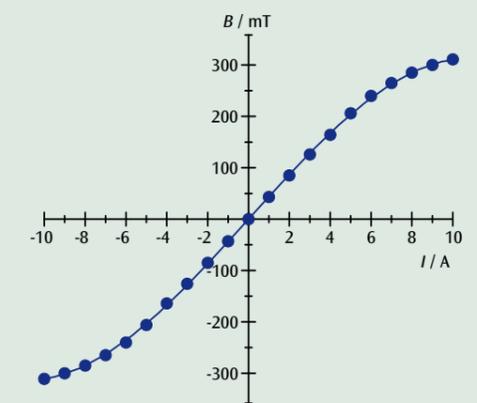


Abb. 2: Kalibrierkurve des Elektromagneten

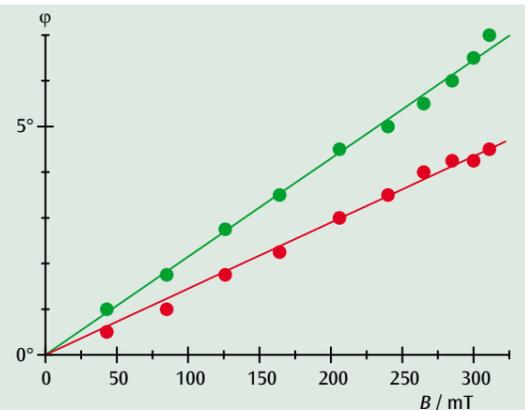


Abb. 3: Drehwinkel φ als Funktion des Magnetfeldes B für rotes und grünes Laserlicht