Auswertung des Versuches
P2-25
Laser und Wellenoptik (Teil B)

Markus Engelhardt

Manuel Schmidberger

9. Mai 2005

Inhaltsverzeichnis

6 Rekonstruktion eines Spaltbildes

Die Versuchsanordnung wurde durch den Betreuer wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut. Der Laserstrahl wurde auf einen Einzelspalt gerichtet, um ein Beugungsbild zu erzeugen. Eine an einen Computer angeschlossene Photodiode registrierte die Intensitätsverteilungen. Der Computer berechnet daraus dann das Beugungsbild. Nach manueller Korrektur des Vorzeichens kann das Fourrier-Rücktransformationsprogramm gestartet werden. Die Ausgabe des Spaltbildes ist zwar nicht ganz genau, liegt aber im akzeptablen Rahmen (siehe Anhang!).

7 Michelson-Interferometer

7.1 Magnetosriktionskoeffizient von Nickel

Nach Aufbau und Justierung der Versuchsanordnung laut Vorbereitung werden die Hell-/ Dunkeldurchgänge n in Abhängigkeit der Stromstärke gezählt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 1: Hell-/ Dunkeldurchgänge in Abhängigkeit der Stromstärke

Anzahl n	Stromstärke I [mA]
-5	-495
-4	-370
-3	-293
-2	-212
-1	-138
0	0
1	112
2	225
3	300
4	392
5	500

Hier auftretende systematischer Fehler sind der unbekannte Gerätefehler und der Anzeigefehler der Skala. Des Weiteren kommt ein Fehler durch die Erwärmung der Spule zu Stande.
Hinzu kommt ein Ablesefehler, der mit $\pm 2\ mA$ abgeschätzt wird.

Die Ergebnisse werden graphisch veranschaulicht
(siehe Graphik zu Aufgabe 8.2 im Anhang!).

Dabei wird die Spannung über die Ordnung aufgetragen.
Die Steigung der Ausgleichsgeraden gibt den Mittelwert des Quotienten $\frac{I}{n}$ an.
Daraus lässt sich der Magnetostriktionskoeffizient folgendermaßen berechnen:
$k = \frac{\lambda \cdot l_s}{2 \cdot N_s \cdot m}$,

wobei $\quad l_s = 105\ mm,\ N_s = 2.000,\ \lambda = 632,8\ nm$ und $m = 99,33\ mA$;

$$\Rightarrow \quad \underline{k = 1,672 \cdot 10^{-10} \quad \frac{m^2}{A}}$$

Der Fehler auf die Steigung berechnet sich mit Hilfe der Formel

$\sigma_m^2 = \frac{\sigma_y^2}{\Delta} \cdot N,$ wobei $\sigma_y^2 = \frac{1}{N-2} \cdot \sum_{i=1}^{N} (y_i - mx_i - c)^2$

Der Term N-2 resultiert daher, dass in der Gleichung zwei Unbekannte auftreten und somit zwei Freiheitsgrade abgezogen werden müssen!

Außerdem gilt $\quad \Delta = N \cdot (\sum_{i=1}^{N} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} x_i)^2$

Für diesen Versuch ist N = 11.
Damit ergibt sich

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{11 \cdot \sum_{i=1}^{11} (y_i - mx_i - c)^2}{9 \cdot (11 \cdot (\sum_{i=1}^{11} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{11} x_i)^2)}}$$

Durch Eisetzten der Werte erhält man:

$$\sigma_m = 1,827\ mA$$

Den statistischen Fehler σ_k erhält man durch das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\sigma_k = \sqrt{(\frac{\partial k}{\partial m})^2 \cdot \sigma_m^2} = |\frac{\partial k}{\partial m} \cdot \sigma_m| = |\frac{\lambda \cdot l_s}{2 \cdot N_s \cdot m^2} \cdot \sigma_m| = 3,1 \ \cdot 10^{-12} \ \frac{m^2}{A}$$

Somit ergibt sich der Magnetostriktionskoeffizient von Nickel zu:

$$\underline{k = (1,672 \ \cdot 10^{-10} \ \pm \ 0,031 \ \cdot 10^{-10}) \quad \frac{m^2}{A}}$$

7.2 Bestimmung der Wellenlänge des Lasers

Bei diesem Versuch werden die Abstandsänderungen des Spiegels nach 50 bzw. 100 Hell-/ Dunkeldurchgängen gemessen.
Folgende Werte werden dabei aufgenommen:

Tabelle 2: Spiegelabstand in Abhängigkeit der Hell-/ Dunkeldurchgänge

Anzahl der Hell-/ Dunkeldurchgänge	Längenänderung in μm
0	0
50	17
100	34

Die Gerade durch die Messwerte (siehe Graphik zu Aufgabe 7.2 im Anhang!) liefert als Steigung $m = \frac{\Delta l}{n}$.
Somit ergibt sich die Wellenlänge des Lasers mit

$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta l}{n} = 2 \cdot m$ zu $\lambda = 2 \cdot 340\ nm =$ $\underline{680\ nm}$.

Dieses Ergebnis weicht vom angegebenen Wert von $\lambda = 632,8\ nm$ um 7% ab.

Systematische Fehler hierbei sind Ablesefehler an der Schraube, fehlerhafte Justierung oder Gerätefehler.

7.3 Dopplereffekt

Bei diesem Versuch wird für eine feste Zeit ($t = 1\ min$) die Anzahl der Hell- / Helldurchgänge gezählt. Der Spiegel wird dabei durch einen elektrischen Antrieb mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.
Folgende Ergebnisse werden festgehalten:

Zeit t	Skalenteile	Abstand
t = 0 s	2	2 μ m
t = 60 s	22	22 μ m

Nach Ablauf der 60 Sekunden werden 60 Übergänge gezählt. Somit ergibt sich für die Frequenzänderung $\Delta f = \frac{n}{\Delta t} = 1\ Hz$.
Mit dem Frequenzunterschied folgt für die Geschwindigkeit des Spiegels:
$v = \Delta f \cdot \frac{\lambda_0}{2} = 1\ Hz \cdot \frac{632{,}8\ nm}{2} = \quad \underline{316,4\ \frac{nm}{s}}$

Über die Längenänderung ergibt sich die Geschwindigkeit zu
$v = \frac{\Delta s}{t} = \frac{20\ \mu m}{60\ s} = \quad \underline{333,3\ \frac{nm}{s}}$

Der Unterschied von nur 5% bestätigt das Ergebnis.

7.4 Analogie aus der Akustik

Ein akustisches Analogon zum Dopplereffekt kann mit einer Stimmgabel hergestellt werden. Es werden Versuche ohne Reflexion sowie mit Reflexion (an einer nahen Wand) durchgeführt, wobei akustische Schwebungen festgestellt werden können.
Im Unterschied zum Dopplereffekt beim Lsser wird hier allerdings nicht der Reflektor, sondern die Quelle selbst bewegt, das Ergebnis bleibt davon aber unberührt.

8 Faraday-Effekt und Pockels-Effekt

8.1 Modulation des Laserstrahles mit Hilfe des Faraday-Effektes

Bei diesem Demonstrationsversuch soll nun ein akkustisches Signal, hier eines Radioempfängers, mittels des Lasers übertragen werden. Dazu wird die Versuchsanordnung wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut und justiert. Dadurch kann dann das Radioprogramm wieder hergestellt werden.
Die Qualität der empfangenen Signale ist jedoch besonders bei höheren Frequenzen nicht sehr gut, was sich damit erklären lässt, dass die Spule im Faraday-Modulator für hohe Frequenzen einen hohen Wechselstromwiderstand darstellt.

8.2 Bestimmung der Verdetschen Konstante

In diesem Versuch wird mit Hilfe des gleichen Versuchsaufbaus wie in Aufgabe 8.1 die Verdetsche Konstante ermittelt. Dazu wird nun jedoch kein akustisches Signal, sondern Gleichstrom unterschiedlicher Stärke durch die Spule geleitet.

Die Abhängigkeit des Drehwikels von der Spulenstromstärke ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 3: Drehwinkel in Abhängigkeit der Spulenstromstärke

Stromstärke I [A]	Drehwinkel in Grad
-3	-2,3
-2	-1,5
-1	-0,5
0	0
1	1
2	2
3	2,5

Aus der graphischen Veranschaulichung der Daten
(siehe Graphik zu Aufgabe 8.2 im Anhang!)
erkennt man den linearen Zusammenhang der beiden Größen.
Somit folgt für die Verdetsche Konstante:

$$V = \frac{\alpha}{B \cdot l} = \frac{\alpha}{l} \cdot \frac{l}{\mu_0 \cdot N \cdot I} = \frac{\alpha}{I} \cdot \frac{1}{\mu_0 \cdot N} = m \cdot \frac{1}{\mu_0 \cdot N} =$$
$$0,925 \ \frac{Grad}{A} \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \ \frac{Vs}{Am} \cdot 800} = \underline{920 \ \frac{Grad}{Tm}}$$

Der Fehler auf die Steigung berechnet sich analog zur Aufgabe 7.1 mit Hilfe der Formel

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{7 \cdot \sum_{i=1}^{7}(y_i - mx_i - c)^2}{5 \cdot (7 \cdot (\sum_{i=1}^{7} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{7} x_i)^2)}}.$$

(Für diesen Versuch ist N = 7.)

Durch Eisetztén der Werte erhält man:

$$\sigma_m = 0,315 \ \frac{Grad}{A}$$

Den statistischen Fehler σ_V erhält man durch das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\sigma_V = \sqrt{(\frac{\partial V}{\partial m})^2 \cdot \sigma_m^2} = |\frac{\partial V}{\partial m} \cdot \sigma_m| = |\frac{1}{\mu_0 \cdot N} \cdot \sigma_m| = 313 \ \frac{Grad}{Tm}$$

Somit ergibt sich die Verdetsche Konstante zu:

$$\underline{V = (920 \ \pm \ 313) \quad \frac{Grad}{Tm}}$$

Die hohe Standardabweichung resultiert aus der Schwierigkeit das exakte Minimum festzustellen, sowie der großen Auswirkung kleiner Winkelschwankungen auf das Ergebnis.

8.3 Pockels-Effekt

Erneut wird der Versuch wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut. Auch hier sollen Radiosignale mittels Laserlisch übertragen werden. Die Informationsübertragung funktioniert hier jedoch besser als beim Faraday-Effekt. Die Signale werden hier auch im Bereich höherer Frequenzen besser übertragen, und sind deshalb klarer. Dies liegt daran, dass die Informationen über den Frequenzbereich gleichmäßig übertragen werden.

8.4 Bestimmung der Konstanten $k = \frac{\Delta n(E)}{E}$

Mit Hilfe eines aufgeweiteten Stahles werden bei diesem Versuch die Spannungwerte ermittelt, für die im Zentrum der Hyperbelstruktur Intensitätsmaxima, bzw -minima auftreten.
Die Errgebnisse sind in Tabelle 4 festgehalten.

Auch diese Ergebnisse werden wieder graphisch veranschaulicht
(siehe Graphik zu Aufgabe 8.2 im Anhang!).
Auch hier ist ein linearer Zusammenhang der beiden Größen zu erkennen.

Mit Hilfe der Formel aus der Vorbereitung ergibt sich für die Konstante:

$$k = \frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot m \cdot s} = \frac{632,8 \ nm \cdot 2 \ mm}{2 \cdot 316,19 \ V \cdot 20 \ mm} = \underline{100,1 \ \frac{pm}{V}}$$

Tabelle 4: Spannung in Abhängigkeit der Extrema

Extrema	Spannung in Volt
-5	-1553
-4	-1223
-3	-875
-2	-562
-1	-246
0	0
1	288
2	688
3	1002
4	1286
5	1633

Der Fehler auf die Steigung berechnet sich hier zu

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{11 \cdot \sum_{i=1}^{11}(y_i - mx_i - c)^2}{9 \cdot (11 \cdot (\sum_{i=1}^{11} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{11} x_i)^2)}}.$$

(Für diesen Versuch ist N = 11.)

Durch Eisetzten der Werte erhält man:

$$\sigma_m = 3,457\ V$$

Den statistischen Fehler σ_k erhält man durch das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\sigma_k = \sqrt{(\frac{\partial k}{\partial m})^2 \cdot \sigma_m^2} = |\frac{\partial k}{\partial m} \cdot \sigma_m| = |\frac{\lambda \cdot d}{2 \cdot m^2 \cdot s} \cdot \sigma_m| = 1,1 \cdot 10^{-12}\ \frac{m}{V}$$

Somit ergibt sich die Konstante k zu:

$$\underline{k = (100,1\ \pm\ 1,1)\quad \frac{pm}{V}}$$

9 Optische Aktivität (Saccharimetrie)

9.1 Drehvermögen einer Haushaltszuckerlösung

Wenn Laserlicht durch eine Zuckerlösung fällt, wird bekanntlich die Polarisationsebene des Lasers gedreht, da Zucker optisch aktiv ist. In diesem Versuch wird nun durch Variieren der Laufweglänge des Laserstrahles, sowie der Konzentration der Zuckerlösung das optische Drehvermögen $[\alpha]$ der hier verwendetet Haushaltszuckers ermittelt.
Folgende Ergebnisse werden hierbei gemacht:

Tabelle 5: Drehwinkel in Abhängigkeit von Konzentration und Länge

Konzentration $[g/cm^3]$	Länge $[cm]$	$c \cdot l$ $[g/cm^2]$	Winkel $[Grad]$
0,3	19,8	5,94	31
0,3	5,8	1,74	9
0,15	19,8	2,97	15,8
0,15	5,8	0,87	5

Es gilt: $[\alpha] = \frac{\alpha}{c \cdot l}$.

Da in der Graphik α über $c \cdot l$ aufgetragen ist, entspricht die Steigung der Ausgleichsgeraden dem optischen Drehvermögen $[\alpha]$.

Somit erhält man $[\alpha] = 5,16\ \frac{cm^2}{g}$.

Der Fehler auf die Steigung ist hier identisch mit dem statistischen Fehler auf das Drehvermögen, und berechnet hier zu

$$\sigma_[\alpha] = \sqrt{\frac{5 \cdot \sum_{i=1}^{5}(y_i - mx_i - c)^2}{3 \cdot (5 \cdot (\sum_{i=1}^{5} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{5} x_i)^2)}}.$$

(Für diesen Versuch ist N = 5.)

Durch Eisetzten der Werte erhält man:

$$\sigma_{[\alpha]} = 0,06\ \frac{cm^2}{g}$$

Das optische Drehvermögen von Haushaltszucker ergibt sich somit zu:

$$\underline{[\alpha] = (5,16 \;\pm\; 0,06) \quad \frac{cm^2}{g}}$$

9.2 Drehvermögen einer Sorboselösung

Dieser Versuch wird analog zur Aufgabe 9.1 durchfeführt. Anstelle des Haushaltszuckers wird nun jedoch eine Sorboselösung verwendet. Außerdem steht bei diesem Versuch nur eine Konzentration zur Verfügung.

Tabelle 6: Drehwinkel in Abhängigkeit von Konzentration und Länge

Konzentration $[g/cm^3]$	Länge $[cm]$	$c \cdot l$ $[g/cm^2]$	Winkel $[Grad]$
0,33	19,8	5,94	-17,5
0,33	5,8	1,74	-5,8

Es gilt: $[\alpha] = \frac{\alpha}{c \cdot l}$.
Da in der Graphik wieder α über $c \cdot l$ aufgetragen ist, entspricht die Steigung der Ausgleichsgeraden wiederum dem optischen Drehvermögen $[\alpha]$.

Somit erhält man für die Sorboselösung $[\alpha] = -2,53 \ \frac{cm^2}{g}$.

Das Minuszeichen zeigt an, dass die Sorbose die Polarisationsebene nach links dreht.
Der Fehler auf die Steigung ist auch hier identisch mit dem statistischen Fehler auf das Drehvermögen, und berechnet hier zu

$$\sigma_[\alpha] = \sqrt{\frac{3 \cdot \sum_{i=1}^{3} (y_i - mx_i - c)^2}{1 \cdot (3 \cdot (\sum_{i=1}^{3} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{3} x_i)^2)}}.$$

(Für diesen Versuch ist N = 3.)

Durch Eisetzten der Werte erhält man:

$$\sigma_{[\alpha]} = 0,11 \ \frac{cm^2}{g}$$

Das optische Drehvermögen von Sorbose ergibt sich somit zu:

$$\underline{[\alpha] = (-2,53 \;\pm\; 0,11) \quad \frac{cm^2}{g}}$$