

Fortgeschrittenes Physik Lab SS19

Experiment: Faraday- und Pockelseffekt

(Durchgeführt am: (01-02).09.19 bei Leena Diehl)

Erik Bode, Damian Lanzenstiel
(Group 103)

8. Oktober 2019

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen	2
1.1	Doppelbrechung	2
1.2	Pockels Effekt	2
1.3	Aufbau der Pockels Zelle	2
1.4	Faraday Effekt	3
1.5	Magnetfeld einer realen Spule	3
2	Durchführung des Versuches	5
2.1	Pockels Effekt	5
2.1.1	Bestimmung von $U_{\lambda/2}$	5
3	Tabellen	6
4	Bilder	6
5	Bibliograpy	6
	Literatur	6
6	Anhang	6

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Doppelbrechung

Doppelbrechung ist eine Eigenschaft von optisch anisotropen Stoffen. In diesen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit abhängig von Richtung und Polarisation der durchdringenden Welle. Das führt dazu, dass die Welle in zwei Teilstrahlen aufgespalten wird.

1.2 Pockels Effekt

Der Pockels Effekt tritt nur in Kristallen ohne Symmetriezentren auf: Doppelbrechung wird durch Anlegen einer externen Spannung erreicht. Die Begründung dafür ist, dass die Permittivität ϵ nicht konstant ist, sondern vom angelegten elektrischen Feld abhängig ist. Die Permittivität ist definiert über $\epsilon = \frac{D}{E}$ wobei D definiert ist wie folgt:

$$D = aE + bE^2 + cE^3 + \dots \quad \text{mit } a, b, c = \text{const} \quad (1)$$

Daraus folgt

$$\epsilon = a + 2bE + 3cE^2 + \dots \quad (2)$$

Der Brechungsindex n ist abhängig von ϵ , sodass eine Änderung des Magnetfeldes eine Änderung im Indexellipsoid hervorruft. Dies ist der elektrooptische Pockels Effekt. Hier ist vor allem der lineare Term von 2 ausschlaggebend.

1.3 Aufbau der Pockels Zelle

Die im Versuch verwendete Pockels Zelle besteht aus 4 Ammoniumdihydrogenphosphat (ADP, $NH_4H_2PO_4$) Kristallen, welche im 45° -Y-Cut vorliegen.

Der Indexellipsoid des Kristalls bis zu ersten Ordnung ist wie folgt:

$$\frac{x_1^2}{n_1^2} + 2r_{41}x_2E_1x_3 + \frac{x_2^2}{n_1^2} + 2r_{41}x_1E_2x_3 + \frac{x_3^2}{n_3^2} + 2r_{63}x_1x_2E_3 = 1 \quad (3)$$

Hierbei ist optische Achse im feldfreien Fall die x_3 Achse. Wenn ein Elektrisches Feld entlang der x_1 Achse angelegt ist, gilt das Folgende:

$$\frac{x_1^2}{n_1^2} + 2R_{41}x_2E_1x_3 + \frac{x_2^2}{n_1^2} + \frac{x_3^2}{n_3^2} = 1 \quad (4)$$

Y-Cut: Koordinatenwechsel durch Drehung von 45° um x_1 Achse:

$$x_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x'_2x'_3) \quad x_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x'_2x'_3) \quad (5)$$

Nach der Herleitung in der Versuchsanleitung [1] folgt nun für den Brechungsindex der jeweiligen Polarisationskomponenten bei Lichteinfall der x'_2 (x'_3) Richtung

$$n_{x'_2} = \frac{n_x}{\sqrt{1 + r_{41}E_1n_x^2}} \approx n_x + \frac{1}{2}r_{41}E_1n_x^3 \quad (6)$$

In einem Kristall der Länge l lautet die Phasenverschiebung nun

$$\omega t = \frac{2\pi}{\lambda} (n_1 - n_{x'_2}) \quad (7)$$

Weil die optische Achse und der k-Vektor in einem Winkel von 45° zueinander stehen, trennt sich der eingehende Lichtstrahl in einen ordentlichen und außerordentlichen Strahl, welche durch einen zweiten ADP Kristall, der um 180° zum ersten verdreht ist. So werden die Strahlen wieder vereinigt. Ihre Phasenverschiebung aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten ist nun

$$\omega t = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2 \cdot (n_1 - n_{x'_2}) \quad (8)$$

Es ist zusätzlich noch die Natürliche Doppelbrechung vorhanden, welche um ein weiteres Kristallpaar mit Winkel 90° verbaut ist. Dass der Pockels Effekt nicht gleichzeitig kompensiert wird, wurde das Elektrische Feld an diesen umgekehrt. Dieser Aufbau mit Strahlengang ist in Abbildung 1 erkennbar. Die resultierende Phasenverschiebung ist somit

$$\omega t = \frac{4\pi}{\lambda} r_{41} E_1 n_x^3 l \quad (9)$$

Bei einer Phasenverschiebung um π und einem Elektrischen Feld von $E = \frac{U}{d}$ gilt somit:

$$r_{41} = \frac{\lambda d}{4lU_{\lambda/2}} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_1^2} + \frac{1}{n_3^2} \right)}^3 \quad (10)$$

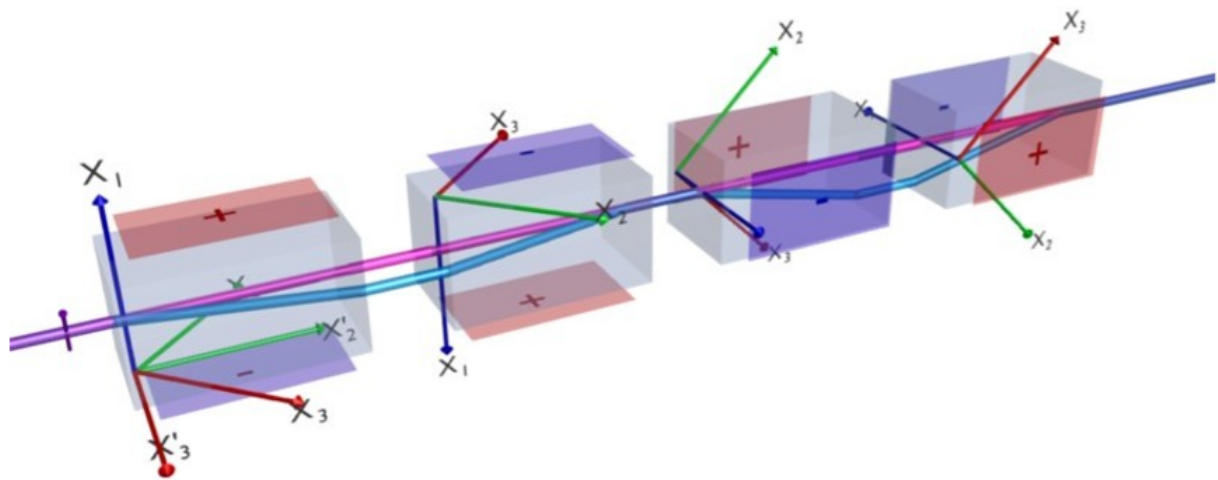


Abbildung 1: Das Bild zeigt den Aufbau der verwendeten Pockels Zelle. Die Elektroden für den Aufbau der elektrischen Felder sowie die Strahlenverläufe sind auch eingezeichnet.

1.4 Faraday Effekt

Der Faraday Effekt ist eine Magnetfeldinduzierte Doppelbrechung, auch Magneto-optischer Effekt genannt. Er erfolgt in isotropen Medien bei Anlegung eines Magnetfeldes parallel zur Ausbreitungsrichtung des Lichts. Das linear polarisierte eingehende Licht kann in zwei entgegengesetzt drehende zirkularpolarisierte Wellen aufgespalten werden. Die Links- und Rechtsdrehenden zirkularpolarisierten Teilwellen können das Medium bei angelegtem Magnetfeld nicht gleich schnell durchqueren. Dies führt bei verlassen des Mediums zu einer Phasenverschiebung der linear polarisierten Kombination der beiden zirkularpolarisierten Wellen. Dieser Drehwinkel α kann über die nachfolgende Formel aus der Magnetischen Feldstärke H , der Länge des Mediums l und der Verdetkonstante V , welche materialabhängig ist, bestimmt werden.

$$\alpha = V \cdot l \cdot H \quad (11)$$

1.5 Magnetfeld einer realen Spule

Für die Berechnung des Magnetfeldes einer realen Spule wird das Biot-Savart'sche Gesetz verwendet. Es ist definiert als

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} Id\vec{l} \times \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (12)$$

Nach der Herleitung im Staatsexamen von B.Herrmann [2], erhält man für das Magnetfeld der realen Spule nach Integration über Länge und Dicke den nachfolgenden Ausdruck:

$$H(z) = \frac{NI}{2L(x_2 - x_1)} \left[(L - z) \ln \left(\frac{x_2 + \sqrt{(L - z)^2 + x_2^2}}{x_1 + \sqrt{(L - z)^2 + x_1^2}} \right) + z \ln \left(\frac{x_2 + \sqrt{z^2 + x_2^2}}{x_1 + \sqrt{z^2 + x_1^2}} \right) \right] \quad (13)$$

Hierbei sind x_1 der innerer Spulenradius, x_2 der äußere und L die Länge der Spule. Bei einsetzen der Parameter folgt nach [2] für die Gleichung 11:

$$\alpha = V \cdot 2556 \cdot I \tag{14}$$

2 Durchführung des Versuches

2.1 Pockels Effekt

2.1.1 Bestimmung von $U_{\lambda/2}$

Es gibt zwei Arten, $U_{\lambda/2}$ zu bestimmen. Für die erste wird eine an der Pockels Zelle angelegte Sinusspannung mit einer Gleichspannung verschoben, bis das Intensitätssignal des Laserstrahls sich verändert: Die Frequenz verdoppelt sich und die Amplitude verringert sich deutlich. Sobald eine Veränderung des Intensitätssignals eintritt, wurde entweder der untere oder obere Grenzwert von $U_{\lambda/2}$ bestimmt. Nachdem der zweite Grenzwert bestimmt wurde, kann $U_{\lambda/2}$ bestimmt werden:

$$U_{\lambda/2} = U_{\text{Max}} - U_{\text{Min}} \quad (15)$$

$U_{\lambda/2}$ wurde außerdem mithilfe von einer Sägezahnspannung bestimmt: An Stelle der obigen Sinusspannung wurde eine Sägezahnspannung an die Pockels Zelle angelegt. Dies führt zu einem annähernd sinusförmigen Intensitätsverlauf. Zum Zeitpunkt des Maximums und Minimums der Intensität wird nun die Spannung der Sägezahnspannung gemessen. Die Differenz der beiden Punkte wird analog zu 15 verwendet um $U_{\lambda/2}$ zu bestimmen.

3 Tabellen

Tabellenverzeichnis

4 Bilder

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau der Pockels Zelle	3
---	------------------------------------	---

5 Bibliograpy

Literatur

- [1] *Versuchsanleitung: Fortgeschrittenen Praktikum Teil 1 Faraday- und Pockelseffekt.*
- [2] Bernd Herrmann. Elektrooptischer effekt und faraday-effekt, 1977.

6 Anhang