

## Untersuchung des Kerr-Effektes an Nitrobenzol

### Versuchsziele

- Nachweis des Kerr-Effektes.
- Beobachtung der Helligkeit hinter gekreuzten Polarisationsfiltern in Abhängigkeit von der angelegten Spannung.
- Bestimmung der Halbwellenspannung in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

### Versuchsbeschreibung

John Kerr entdeckte 1875, dass elektrische Felder in isotropen Stoffen Doppelbrechung erzeugen. Dieser Effekt wird als elektrooptischer Kerr-Effekt bezeichnet. Die Doppelbrechung wächst dabei quadratisch mit der elektrischen Feldstärke - im Gegensatz zum linearen elektrooptischen Pockels-Effekt in nicht-isotropen Stoffen.

Aus Symmetriegründen liegt die optische Achse der Doppelbrechung in Feldrichtung. Die ohne elektrisches Feld normale Brechzahl  $n$  des Stoffes wird durch ein angelegtes Feld für die Schwingungsrichtung parallel dazu in die außerordentliche Brechzahl  $n_e$  und für die Schwingungsrichtung senkrecht dazu in die ordentliche Brechzahl  $n_o$  abgeändert. Es gilt die Beziehung:

$$n_e - n_o = K \cdot \lambda \cdot E^2$$

mit  $K$ : Kerr-Konstante  
 $\lambda$ : Wellenlänge des verwendeten Lichtes  
 $E$ : elektrische Feldstärke.

Im Versuch wird der Kerr-Effekt an Nitrobenzol nachgewiesen, bei dem die Kerr-Konstante besonders groß ist. Die Flüssigkeit befindet sich in einem Glasgefäß mit einem darin eingetauchten Plattenkondensator (Kerr-Zelle).

Diese Kerr-Zelle steht zwischen zwei Polarisationsfiltern: Polarisator und Analysator. Das durch den Polarisator gehende Licht verläuft parallel zu den Platten des Plattenkondensators und damit senkrecht zu den Feldlinien. Mit dem Analysator kann der Polarisationsgrad und die Polarisationsrichtung des Lichtes hinter der Kerrzelle beobachtet werden.

Durch Anlegen einer Spannung an den Kondensator wird ein elektrisches Feld aufgebaut. In diesem Feld werden die Nitrobenzol-Moleküle teilweise polarisiert und richten sich in Feldrichtung aus. Licht, dessen elektrischer Vektor in Feldrichtung schwingt, pflanzt sich langsamer fort, als Licht dessen elektrischer Vektor senkrecht dazu schwingt.

Im Experiment ist das einfallende Licht unter  $45^\circ$  zum elektrischen Feld linear polarisiert. Dieses Licht kann als Überlagerung zweier phasengleich schwingender Lichtwellen betrachtet werden, von denen die eine in Feldrichtung und die andere senkrecht dazu polarisiert ist.

Da die beiden Komponenten im Nitrobenzol bei angelegtem elektrischem Feld verschiedene Phasengeschwindigkeiten haben, besteht beim Austritt aus der Kerr-Zelle zwischen den Komponenten eine Phasendifferenz.

Für die Phasendifferenz  $\Delta$  gilt:

$$\Delta = 2 \pi \cdot K \cdot l \cdot \left(\frac{U}{d}\right)^2$$

mit  $d$ : Abstand der Kondensatorplatten  
 $l$ : Länge der Kondensatorplatten (Lichtweg)  
 $U$ : angelegte Spannung.

Diese Phasendifferenz führt bei der Überlagerung zu einer elliptisch polarisierten Welle. Mit dem hinter der Kerr-Zelle sich befindenden Polarisationsfilter (Analysator) können die elliptisch polarisierten Wellen nicht mehr vollständig ausgelöscht werden.

Bei der Halbwellenspannung, bei der die Phasendifferenz gerade eine halbe Wellenlänge beträgt ( $\Delta = \pi$ ), verhält sich die Kerr-Zelle wie eine  $\frac{\lambda}{2}$ -Platte, d.h. die Polarisations Ebene wird um  $90^\circ$  gedreht. Es gilt:

$$U_1 = \frac{d}{\sqrt{2 \cdot K \cdot l}}$$

Im Experiment wird zunächst qualitativ der Kerr-Effekt nachgewiesen, indem der Einfluss der angelegten Spannung auf das Licht hinter parallelen und gekreuzten Polarisationsfiltern beobachtet wird.

Anschließend wird mit verschiedenen Farbfiltern hinter parallelen Polarisationsfiltern die Abschwächung untersucht. Es wird die Halbwellenspannung bestimmt, bei der die Abschwächung am größten ist.

Mit diesen Ergebnissen wird für die verschiedenen Wellenlängen jeweils die Kerrkonstante berechnet.

**Geräte**

1 Kerrzelle.....	473 31
1 Nitrobenzol, 250 ml.....	673 941
1 Prisentisch .....	460 25
1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m .....	460 32
6 Optikreiter 60/50 .....	460 351
1 Halogenleuchte 12 V, 50/100 W .....	450 64
1 Halogenlampe 12 V/100 W, G6,35 .....	450 63
1 Bildschieber .....	450 66
1 Lichtfilter, rot .....	468 03
1 Lichtfilter, gelb.....	468 05
1 Lichtfilter, gelb-grün .....	468 07
1 Lichtfilter, blau-violett.....	468 11
1 Paar Polarisationsfilter .....	472 40
1 Linse in Fassung, $f=100$ mm.....	460 03
1 Schirm, durchscheinend .....	441 53
1 Transformator 2...12 V, 120 W .....	521 25
1 Hochspannungs-Netzgerät 10 kV .....	521 70
2 Kabel für Hochspannungen, 1 m .....	501 05
2 Experimentierkabel 32 A, 100 cm, schwarz .....	501 33

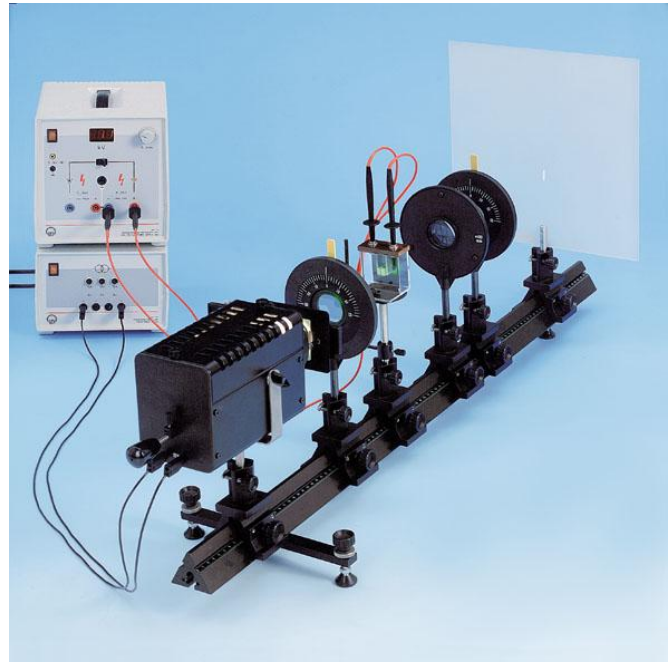


Fig. 1: Versuchsaufbau

**Sicherheitshinweise**

Nitrobenzol ist mit Verdacht auf krebserzeugende Wirkung giftig:

- beim Einatmen
- bei Berührung mit der Haut
- beim Verschlucken

Deswegen unbedingt folgende Punkte beachten:

- Versuche nur in gut belüfteten Räumen durchführen
- Dämpfe nicht einatmen
- Füllen und Entleeren der Kerr-Zelle unter einem Abzug vornehmen

Mit Luft ist die Bildung explosionsfähiger Gemische möglich. Die Kerr-Zelle bis einige Millimeter oberhalb der Kondensatorplatten füllen, um Überschlüge zu vermeiden.

**Versuchsaufbau***Formieren der Kerrzelle:*

Küvette der Kerrzelle sehr vorsichtig zu ca. 2/3 (Flüssigkeitsspiegel ca. 3,5 cm) mit Nitrobenzol füllen und mit der Klemmfeder auf dem Prisentisch sicher befestigen. Träger mit Plattenkondensator vorsichtig aufsetzen. Dabei steigt der Flüssigkeitsspiegel um einige Millimeter an. Es darf auf keinen Fall Nitrobenzol überlaufen.

Kerrzelle an den Ausgang 5 kV / 2 mA des Hochspannungs-Netzgerätes anschließen. Dabei die Kabel so legen, dass der Träger mit Plattenkondensator stabil in der Küvette sitzt.

Spannungswahlschalter zunächst etwa auf Skalenmitte drehen (entspricht Leerlauf-Spannung von ca. 2,5 kV). Die Spannungsanzeige beobachten. Auf Grund abnehmenden Stromflusses steigt die Spannung langsam an. Nach Anstieg der Spannung auf ca. 2 kV mit dem Spannungswahlschalter die Spannung weiter erhöhen und die Spannungsanzeige beobachten bis ca. 4 kV erreicht werden. Die Kerr-Zelle so ca. 2 Stunden stehen lassen. Danach ist die Zelle zur Messung vorbereitet.

Kerrzelle nicht mehr umpolen um die Gefahr des Funkenüberschlages zu vermeiden.

*Optischer Aufbau:*

Geräte gemäß Fig. 1 auf der optischen Bank befestigen.

Zunächst beide Polarisationsfilter (Polarisator und Analysator) auf 0° einstellen.

Halogenleuchte so einstellen, dass die Glühwendel in der Ebene der Linse abgebildet wird.

Mit der Linse  $f = 100$  mm den Kondensatorspalt scharf auf den Schirm abbilden.

**Versuchsdurchführung**

1. Qualitative Vorexperimente:

Polarisator auf 45° und Analysator zunächst parallel (45°) und anschließend gekreuzt (-45°) dazu stellen. Die Spannung erhöhen und die Abbildung des Kondensatorspaltes (Gesichtsfeld) auf dem Schirm beobachten.

Versuch auch mit den Winkeln 0° und 90° durchführen.

2. Bestimmung der Halbwellenspannung:

Bei unter 45° zum elektrischen Feld stehenden parallelen Polarisationsfiltern zunächst das blau-violette Lichtfilter in den Bildschieber stecken und in den Strahlengang schieben. Spannung bis zur maximalen Abdunkelung der Abbildung des Kondensatorspaltes erhöhen und die Halbwellenspannung ablesen.

Versuch mit den weiteren Farbfiltern wiederholen.

**Messbeispiel**

An der Kerrzelle ergibt sich hinter parallelen Polarisationsfiltern unter 45° mit zunehmender Spannung eine Abdunkelung, bei gekreuzten Polarisationsfiltern eine Aufhellung.

Im Bereich von ca. 3 kV nimmt die Abbildung des Kondensatorspaltes verschiedene Farben an.

Werden die Polarisationsfilter auf 0° und/oder 90° gestellt hat die angelegte Spannung keinen Einfluss auf die Helligkeit.

Tabelle1: Halbwellenspannung und daraus berechnete Kerr-Konstante

	blau-violett	gelb-grün	gelb	rot
Mittlere Wellenlänge $\frac{\lambda}{\text{nm}}$	440	540	580	650
Halbwellenspannung $\frac{U_1}{\sqrt{2}}$ kV	2,9	3,2	3,4	3,8
Kerr-Konstante $\frac{K}{10^{-14} \frac{\text{m}}{\text{V}^2}}$	330	271	240*	192

\* Literaturwert für 589 nm:  $K = 245 \cdot 10^{-14} \frac{\text{m}}{\text{V}^2}$

Berechnung der Kerr-Konstanten mit

$$K = \frac{d^2}{2 \cdot l \cdot U_1^2}$$

und

$$d = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$l = 18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$



Fig. 2: Kerr-Konstante in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei Nitrobenzol

**Auswertung**

Durch Anlegen eines Feldes wird Nitrobenzol doppelbrechend (Kerr-Effekt).

Je größer die angelegte Spannung, d.h. die Feldstärke, desto größer ist die Doppelbrechung.

Je größer die Wellenlänge, desto kleiner ist die Doppelbrechung, d.h. desto kleiner ist die Kerrkonstante.