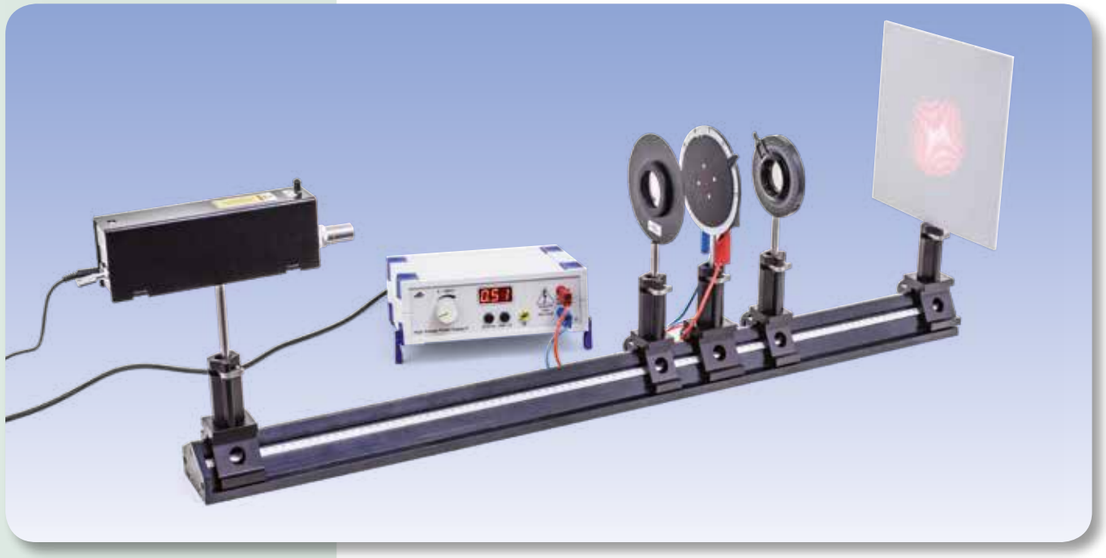
UE4040500 POCKELS-EFFEKT



AUFGABEN

- **Nachweis der Doppelbrechung in einem konoskopischen Strahlengang.**
- **Änderung der Doppelbrechung durch Anlegen eines elektrischen Feldes.**
- **Bestimmung der Halbwellenspannung.**

ZIEL

Demonstration des Pockels-Effekts in einem konoskopischen Strahlengang

ZUSAMMENFASSUNG

Der Pockels-Effekt ist ein elektro-optischer Effekt, bei dem ein elektrisches Feld in einem geeigneten Material ein Lichtbündel in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel trennt. Diese Fähigkeit zur optischen Doppelbrechung beruht auf unterschiedlichen Brechzahlen in Abhängigkeit von Ausbreitungsrichtung und Polarisation des Lichtes. Sie nimmt beim Pockels-Effekt linear mit der elektrischen Feldstärke zu und wird im Experiment an einem Lithiumniobat-Kristall ($LiNbO_3$) in einem konoskopischen Strahlengang nachgewiesen. Das Interferenzbild wird hier durch zwei Scharen von Hyperbeln gebildet, aus denen die Lage der optischen Achse der Doppelbrechung unmittelbar abzulesen ist.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Pockels-Zelle auf Stiel	**1013393**
1	Optische Bank D, 100 cm	**1002628**
3	Optikreiter D, 90/50	**1002635**
2	Optikreiter D 90/36	**1012401**
1	He-Ne-Laser	**1003165**
1	achromatisches Objektiv 10x/ 0,25	**1005408**
1	Polarisationsfilter auf Stiel	**1008668**
1	Sammellinse auf Stiel f = 50 mm	**1003022**
1	Projektionsschirm	**1000608**
1	Hochspannungsnetzgerät E 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	**1013412 oder**
	Hochspannungsnetzgerät E 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	**1017725**
1	Paar Sicherheitsexperimentierkabel, 75 cm	**1002849**

Technische Informationen zu den Geräten finden Sie unter 3bscientific.com

2

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Der Pockels-Effekt ist ein elektro-optischer Effekt, bei dem ein elektrisches Feld in einem geeigneten Material ein Lichtbündel in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel trennt. Diese Fähigkeit zur optischen Doppelbrechung beruht auf unterschiedlichen Brechzahlen in Abhängigkeit von Ausbreitungsrichtung und Polarisation des Lichtes. Sie nimmt beim Pockels-Effekt linear mit der elektrischen Feldstärke zu und wird im Experiment an einem Lithiumniobat-Kristall ($LiNbO_3$) in einem konoskopischen Strahlengang nachgewiesen.

Dazu befindet sich der Kristall in einer transversal konfigurierten Pockels-Zelle, in der ein elektrisches Feld an den Kristall in Richtung der optischen Achse der Doppelbrechung angelegt wird (siehe Abb. 1). Der senkrecht durch den Kristall laufende Lichtstrahl spaltet in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Teilstrahl auf, also einen in Richtung der optischen Achse der Doppelbrechung polarisierten und einen dazu senkrecht polarisierten Teilstrahl. Gemessen bei der Wellenlänge des He-Ne-Lasers λ = 632,8 nm ist die Brechzahl für den ordentlichen Teilstrahl in Lithiumniobat n_o = 2,29 und für den außerordentlichen n_e = 2,20. Der Gangunterschied zwischen ordentlichem und außerordentlichem Teilstrahl beträgt

(1) $$\Delta = d \cdot (n_o - n_e),$$

wobei d = 20 mm die Dicke des Kristalls in Strahlrichtung ist.

Der Nachweis der Doppelbrechung nutzt einen klassischen Strahlengang, der in zahlreichen Lehrbüchern der Optik für den Nachweis der Doppelbrechung vorgeschlagen wird. Man beleuchtet den Kristall mit einem divergenten, linear polarisierten Lichtbündel und betrachtet das durchgehende Licht hinter einem gekreuzten Analysator. Die optische Achse der Doppelbrechung tritt im Interferenzbild deutlich hervor, da sie sich in ihrer Symmetrie von der Umgebung auszeichnet. Im Experiment liegt sie parallel zur Eintritts- und zur Austrittsfläche, daher besteht das Interferenzbild aus zwei Scharen von Hyperbeln, die gegeneinander um 90° gedreht sind. Die reelle Achse der ersten Hyperbelschar verläuft parallel, die der zweiten senkrecht zur optischen Achse der Doppelbrechung.

Die dunklen Streifen der Hyperbelscharen entstehen durch Lichtstrahlen, für die die Differenz der optischen Wege des außerordentlichen und des ordentlichen Teilstrahls im Kristall ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Diese Lichtstrahlen behalten nach dem Durchgang durch den Kristall ihre ursprüngliche lineare Polarisation und werden vom Analysator ausgelöscht.

Der Gangunterschied entspricht etwa 2800 Wellenlängen des verwendeten Laserlichts. Allerdings ist Δ im Allgemeinen nicht genau ein ganzzahliges Vielfaches von λ, sondern wird vielmehr zwischen zwei Werten $\Delta_m = m \cdot \lambda$ und $\Delta_{m+1} = (m + 1) \cdot \lambda$ liegen. Den dunklen Streifen der ersten Hyperbelschar sind dann die Gangunterschiede Δ_{m+1}, Δ_{m+2}, Δ_{m+3}, usw., der zweiten Hyperbelschar die Gangunterschiede Δ_m, Δ_{m-1}, Δ_{m-2}, usw. zuzuordnen (siehe Abb. 2). Die Lage der dunklen Streifen, genauer ihr Abstand zum Zentrum, hängt davon ab, wie groß die Differenz zwischen Δ und $m \cdot \lambda$ ist. Der Pockels-Effekt vergrößert oder verkleinert die Differenz der Hauptbrechzahlen $n_o - n_e$ je nach Vorzeichen der angelegten Spannung. Dadurch ändert sich die Differenz $\Delta - m \cdot \lambda$ und somit auch die Lage der dunklen Interferenzstreifen. Wird die sogenannte Halbwellenspannung U_π angelegt, ändert sich Δ um eine halbe Wellenlänge. Die dunklen Interferenzstreifen wandern auf die Position von hellen und umgekehrt. Der Vorgang wiederholt sich mit jeder weiteren Erhöhung der Spannung um den Wert U_π.

AUSWERTUNG

Bei einer Spannung U_1 liegen die dunklen Interferenzstreifen der Interferenzordnung +1 genau im Zentrum, bei der darauf folgenden Spannung U_2 die der Ordnung +2. Dann ist die Halbwellenspannung

$$U_\pi = \frac{U_2 - U_1}{2}$$

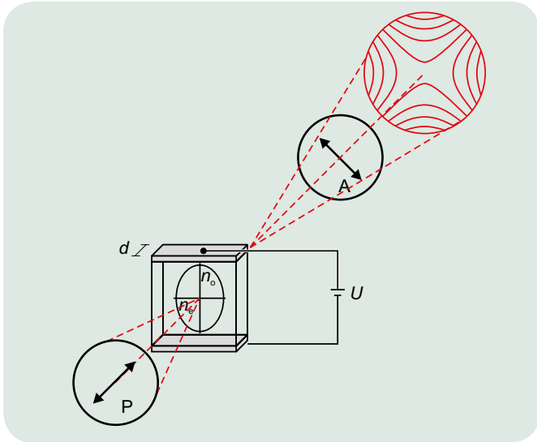


Abb. 1: Schematische Darstellung der Pockels-Zelle in im konoskopischen Strahlengangs zwischen Polarisator und Analysator

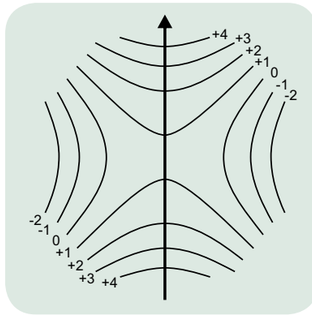


Abb. 2: Interferenzmuster mit optischer Achse des Kristalls in Pfeilrichtung. Die Indizierung der dunklen Interferenzstreifen gibt den Gangunterschied zwischen ordentlichem und außerordentlichem Strahl in Einheiten der Wellenlänge an.

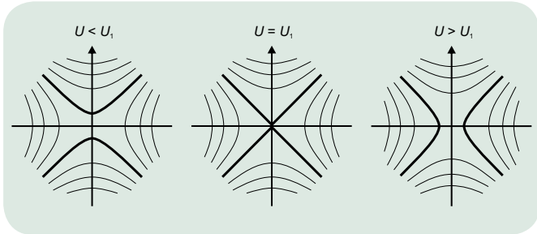


Abb. 3: Änderung des Interferenzmusters durch den Pockels-Effekt. Die fett gezeichneten Hyperbeln sind jeweils die der Interferenzordnung +1.