

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 1
Gruppe 1 - Optik

1.7 Interferenzen in polarisiertem Licht

1 Aufbau und Theorie

Tritt ein Lichtstrahl in ein optisch *anisotropes (doppelbrechendes) Medium*, z.B. Kalkspat, so wird er in zwei Teilstrahlen aufgespalten, die senkrecht zueinander polarisiert sind und verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten und damit auch verschiedene Brechungsindizes besitzen. Die beiden Teilstrahlen werden als *ordentlicher* und *außerordentlicher Strahl* bezeichnet. Lediglich in dem Fall, dass der Lichtstrahl genau parallel zur

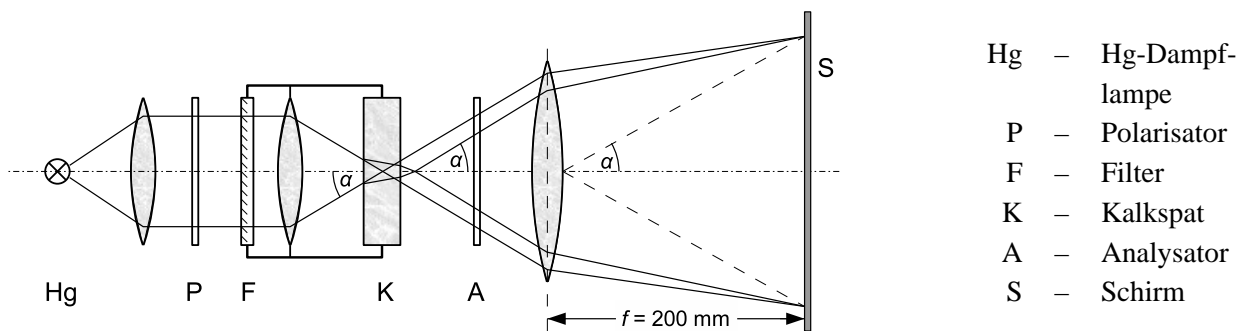
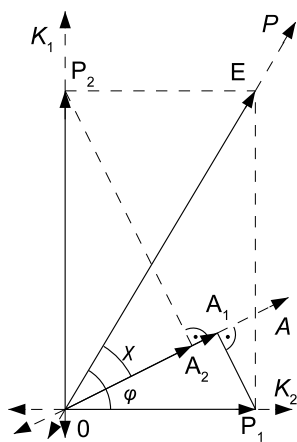


Abbildung 1: Aufbau zur Messung des Brechungsindexunterschiedes Δn von Quarz

optischen Kristallachse ist, stimmen die Ausbreitungsgeschwindigkeiten überein. Nach Verlassen des Mediums weisen die beiden kohärenten Lichtbündel einen Phasenunterschied δ auf. Bringt man diese Strahlen, deren Intensitäten I_1 und I_2 seien, mit Hilfe eines Polarisationsfilters (Analysator) zur Interferenz, so erhält man die Intensität

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos(\delta). \quad (1)$$



- P – Schwingungsrichtung von P
- A – Schwingungsrichtung von A
- $K_{1,2}$ – Schwingungsrichtungen von K
- OE – Amplitude in P
- $OP_{1,2}$ – Amplituden im Kristall
- $OA_{1,2}$ – Amplituden in A
- χ – Winkel zwischen den Schwingungsebenen der Polarisationsfilter
- φ – Winkel zwischen Schwingungsrichtung von P und 1. Schwingungsrichtung von K

Abbildung 2: Amplituden des elektrischen Feldes

Um die Intensität des Lichtbündels nach Durchlaufen von P,K und A zu bestimmen (Abb. 1), betrachten wir mit Hilfe eines Zeigerdiagramms die Amplituden des elektrischen Feldes (Abb. 2). Aus dem Zeigerdiagramm erhält man

$$I = E^2 \cdot (\cos^2(\chi) - \sin(2\phi) \cdot \sin(2(\phi - \chi)) \cdot \sin^2(\delta/2)) . \quad (2)$$

Der zweite Summand berücksichtigt hierbei den Einfluss der Kristallplatte. Speziell gilt:

$$\begin{aligned} I_{\parallel} &= E^2 \cdot (1 - \sin^2(2\phi) \cdot \sin^2(\delta/2)) \quad , \text{ für } A \parallel P \\ I_{\perp} &= E^2 \cdot \sin^2(2\phi) \cdot \sin^2(\delta/2) \quad , \text{ für } A \perp P \end{aligned}$$

Auf der Mattscheibe erscheint ein System von Kurven gleicher Helligkeit, wobei man unterscheidet zwischen *Isogyren* („Orte gleichen Winkels“, kreuzförmige Streifen) und *Isochromaten* („Orte gleicher Farbe“, Ringe). Bei den vorliegenden Kalkspatpräparaten liegen die optischen Achsen senkrecht zur Schnittfläche.

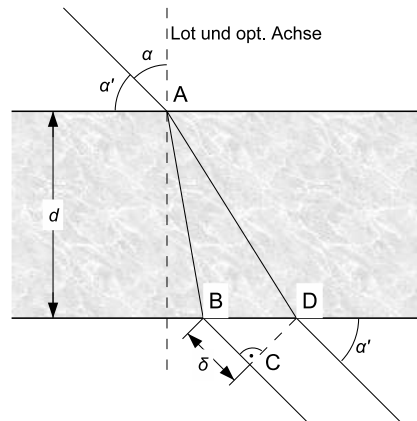


Abbildung 3: Strahlengang in Quarz

Die Phasendifferenz δ von ordentlichem und außerordentlichem Strahl kann Abbildung 3 entnommen werden. Sind λ_1 und λ_2 die beiden Wellenlängen im Medium und λ die Wellenlänge in Luft, so gilt nach Durchlaufen der Quarzplatte

$$\delta = 2\pi \cdot \left(\frac{AB}{\lambda_2} + \frac{BC}{\lambda} - \frac{AD}{\lambda_1} \right) \quad (3)$$

Daraus erhält man

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\Delta n}{n^2} \cdot d \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} , \quad (4)$$

wobei $n = \frac{n_1 + n_2}{2}$ und $\Delta n = n_1 - n_2$ als mittlerer Brechungsindex beider Strahlen und Differenz der Brechungsindizes definiert sind. Für die dunklen Isochromaten ($I(\delta) = 0$) gilt nach Gleichung (2):

$$\chi = \pi/2 \quad \text{und} \quad \delta = 2\pi \cdot k \quad \text{mit } k = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Gleichung (5) in (4) eingesetzt ergibt für kleine α

$$\Delta n = \lambda \cdot \frac{n^2}{d} \cdot \frac{k}{\sin^2 \alpha_k} . \quad (6)$$

In diesem Versuch sollen als qualitative Aufgaben die Interferenzerscheinungen an zwei Beispielen beschrieben werden, und als quantitative Aufgabe der Brechungsindexunterschied Δn aus dem Interferenzbild bestimmt werden.

2 Durchführung

2.1 Qualitative Beschreibung

Bauen Sie das Experiment wie in Abbildung 1 dargestellt auf. Erzeugen Sie dabei zuerst mit der direkt vor der Hg-Lampe stehenden Quarzlinse paralleles Licht. Stellen Sie ein möglichst großes und „scharfes“ Interferenzbild auf dem Schrank her.

Aufgaben:

1. Legen Sie den Gelb-Filter ein. Skizzieren Sie das entstehende Bild jeweils für parallele und gekreuzte Polarisatoren (senkrecht aufeinander stehende Schwingungsebenen) und beschreiben Sie sie. Entfernen Sie den Filter und beschreiben Sie die Veränderung der Interferenzbilder.
2. Überlegen Sie sich, wie die Isochromaten und Isogyren zustandekommen.

2.2 Bestimmung von Δn

Hier soll für zwei Kalkspatpräparate durch Ausmessen der Radien r der dunklen Isochromaten der Brechungsindexunterschied Δn beider Strahlen bestimmt werden.

Aufgaben:

1. Setzen Sie den Gelb-Filter und das jeweils zu untersuchende Präparat in den Aufbau ein. Stellen Sie die Mattscheibe in die Brennebene der Linse und bestimmen Sie die Radien r der Isochromaten. Messen Sie hierbei für den dünnen Kristall ca. 10 und für den dickeren ca. 8 Ringe aus ($k = 1, 2, 3, \dots$). Schätzen Sie den Fehler Δr ab.
2. Berechnen Sie aus den geometrischen Abmessungen $\sin^2 \alpha_k$ und tragen Sie die Werte auf Millimeterpapier über der Interferenzordnung k auf. Stellen Sie beide Messungen im gleichen Diagramm dar. Berechnen Sie hierbei die Fehlerbalken mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung. Es gilt:

$$(\arctan(x))' = 1/(1+x^2) \quad \text{und} \quad (\sin^2(x))' = 2 \cdot \sin(x) \cos(x).$$

Die Position der Mattscheibe in der Brennweite der Linse darf als fehlerfrei angenommen werden.

3. Tragen Sie die Ausgleichsgerade sowie die Geraden minimaler und maximaler Steigung ein, und bestimmen aus deren Steigungen mit Hilfe von Gleichung (6) den Brechungsindexunterschied Δn .

Das vom Filter durchgelassene Licht hat eine Wellenlänge von $\lambda = 578,0 \text{ nm}$. Das Quadrat des mittleren Brechungsindex n beträgt $n^2 = 2,48$. Die Dicken der Präparate sind

$$d_1 = 1,4 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d_2 = 3,4 \text{ mm}.$$

2.3 Beobachtungen an Plexiglas

Ersetzen Sie den Halter mit Filter, Linse und Kalkspat durch den Plexiglashaken und die Quarzlinse durch die Linse mit größerem Durchmesser. Mit ihr soll der Haken möglichst gut ausgeleuchtet werden. Bilden Sie den Haken mit der Linse scharf auf den Schrank ab und verspannen Sie ihn dann (ohne ihn zu zerstören).

Aufgaben:

1. Beschreiben Sie das zu beobachtende Interferenzbild bei gekreuzten Polarisatoren und fertigen Sie eine Skizze an.

2. Was lässt sich beim Verspannen des Hakens beobachten und welche Aussagen über seine Belastung lassen sich machen?

Literatur:

Bergmann-Schäfer, Band III, §§ 4.10 und 4.11 (8. Aufl.),
Gerthsen, Physik, Kap. 10.2.8 (16. Aufl.)

11.2008/Ra