

PO Doppelbrechung und elliptisch polarisiertes Licht

Stichworte: polarisiertes Licht (linear, zirkular, elliptisch), Polarisatoren, Nicolsches Prisma, „ $\lambda/4$ -Folie“

Literatur

- Gerthsen *Physik*: 22. Auflage, Kap. 10.2
- Skriptum *Grundlagen zum Optik Praktikum*: Kap. 6 (Doppelbrechung und elliptisch polarisiertes Licht)
- Bergmann/Schaefer: *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Vol. III (Optik), Kap. 4.3./4.5.
- Staudt: *Script Experimentalphysik III (Atomphysik)* Kap. 3.6

1. Fragen zur Vorbereitung

- Warum nimmt die Lichtgeschwindigkeit bei der Ausbreitung im Medium ab?
- Wie laufen ordentlicher und außerordentlicher Strahl bei optisch einachsigen Kristallen, wenn die Ausbreitungsrichtung nicht senkrecht zur optischen Achse steht?
- Bei welchen anderen Erscheinungen (außer Doppelbrechung) entsteht linear bzw. elliptisch polarisiertes Licht – wie lassen sich die verschiedenen Polarisationen ineinander überführen?
- Wie kann man linear bzw. zirkular polarisiertes Licht von unpolarisiertem Licht unterscheiden?
- Bei welchen Apparaten wird die Doppelbrechung benutzt?

2. Aufgaben

2.1. Quarzkeil

1. Bestimmen Sie die Differenz der beiden Hauptbrechungsindizes von Quarz für Licht der Wellenlänge 435,8 nm, 546,3 nm sowie 578,0 nm.
2. Erklären Sie das Verschwinden der Streifen für bestimmte Winkelstellungen des Analysators sowie des Polarisators.
3. Leiten Sie die verwendeten Formeln ab.

2.2. $\lambda/4$ Folie

1. Normieren Sie Ihre Messdaten auf die maximale Intensität aller Messreihen und stellen Sie diese in Abhängigkeit von der Polarisatorstellung dar.
2. Vergleichen Sie dies Ihre Messungen mit dem theoretisch bestimmten Verlauf.
3. Leiten Sie die verwendeten Formeln ab.

3. Grundlagen

Fällt linear polarisiertes Licht auf ein doppelbrechendes, optisch einachsiges Medium, so tritt im allgemeinen eine Aufspaltung des Strahles in zwei Strahlen auf, die linear polarisiert sind und deren Schwingungsebenen senkrecht aufeinander stehen. Eine räumliche Aufspaltung tritt nicht auf, wenn die Ausbreitungsrichtung senkrecht zur optischen Achse des doppelbrechenden Mediums steht. In diesem Falle unterscheiden sich die beiden Strahlen nur durch ihre Geschwindigkeit im Medium. Liegt dieses als planparallele Platte vor, so treten beide Strahlen ungebrochen, aber mit einem Phasenunterschied aus („zeitliche Auspaltung“). Der Gangunterschied ist gleich dem Unterschied der optischen Wege des Mediums für die beiden Strahlen, dem entspricht der Phasenunterschied $\varphi = 2\pi s(n_{ao} - n_o)/\lambda = 2\pi s\Delta n/\lambda$ (s ist die geometrische Dicke). Je nach dem Phasenunterschied überlagern sich die beiden Strahlen dann zu linear, elliptisch oder zirkular polarisiertem Licht.

4. Ausführung

4.1. Quarzkeil

Linear polarisiertes Licht fällt auf einen Quarzkeil, bei dem die optische Achse etwa parallel zur Keilkante liegt. Die Ausbreitungsrichtung des Lichts ist also senkrecht zur optischen Achse, d.h. es liegt der oben diskutierte Fall vor mit der Abweichung, dass die geometrische Dicke des Keils nicht konstant ist (Brechung muss nicht berücksichtigt werden, da der Keilwinkel klein ist). Man erhält daher zur Keilkante parallele Streifen gleichen Gangunterschiedes der austretenden Strahlen und damit Streifen gleichen Polarisationszustandes des austretenden Lichts. Für den Gangunterschied $m\lambda$ und $(2m + 1)\lambda/2$ (m : ganze Zahl) ist das austretende Licht linear polarisiert. Betrachtet man den Quarzkeil durch einen Analysator, dessen Durchlassrichtung senkrecht zu der des Polarisators steht, so sieht man dunkle Streifen an den Stellen, an denen der Gangunterschied $m\lambda$ ist.

Ist mit einem bestimmten dunklen Streifen die geometrische Dicke s_1 , so gilt hier

$$m\lambda = s_1 \cdot \Delta n . \quad (\text{PO.1})$$

Bei einem benachbarten dunklen Streifen sei die geometrische Dicke $s_2 > s_1$, hier gilt

$$(m + 1)\lambda = s_2 \cdot \Delta n . \quad (\text{PO.2})$$

Zieht man beide Gleichungen voneinander ab, so erhält man mit dem Keilwinkel α und dem Streifenabstand d

$$(m+1)\lambda - m\lambda = (s_2 - s_1) \cdot \Delta n, \quad \lambda = d \cdot \tan \alpha \cdot \Delta n, \quad \Delta n = \frac{\lambda}{d \cdot \tan \alpha} \quad (\text{PO.3})$$

Nach dieser Formel kann also aus dem Streifenabstand d , dem Keilwinkel α und der Wellenlänge λ des verwendeten Lichts der Unterschied der Hauptbrechungsindizes Δn berechnet werden.

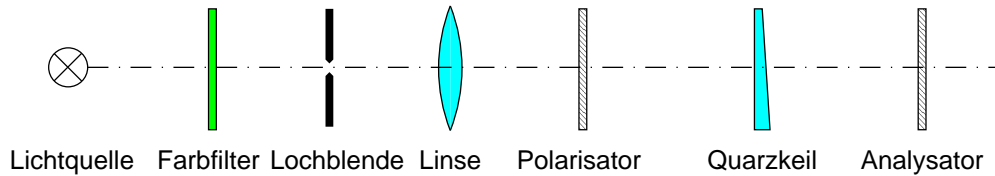


Abbildung PO.1: Messanordnung zu Aufgabe 1

Mit Hilfe der Schottfilter BG1, VG9 bzw. OG2 werden die Linien 435,8 nm, 546,3 nm sowie 578,0 nm der Quecksilberdampfampe ausgesondert. Die folgende Lochblende wirkt als nahezu punktförmige und monochromatische Lichtquelle. Mit der großen Linse wird ein *paralleler* Strahlengang hergestellt. Anschließend wird das Licht linear polarisiert und durchsetzt dann den Quarzkeil. Die Abstände der bei geeigneter Stellung der Polarisationsfilter entstehenden Streifen sind durch jeweils 10 Messungen zu bestimmen und daraus Δn für die verschiedenen Wellenlängen zu berechnen. Zur Verringerung der Ablesefehler messe man stets über mehrere Streifen (\rightarrow im Protokoll angeben!).

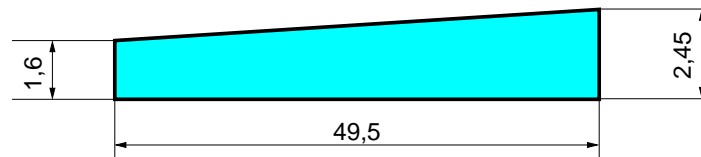


Abbildung PO.2: Keilabmessungen (Abb. gestreckt in vertikaler Richtung)

Es gibt vier Stellungen des Polarisators/Analysators, bei denen unabhängig von der Analysator-/Polarisatorstellung kein Streifensystem auftritt. Diese Stellungen sind aufzusuchen. Man überlege sich den Grund für das Verschwinden der Streifen.

4.2. $\lambda/4$ -Folie

Linear polarisiertes Licht fällt senkrecht auf eine planparallele doppelbrechende Folie, deren optische Achse parallel zu den Oberflächen ist. Es liegt also der im ersten Abschnitt diskutierte Fall vor. Die Dicke der Folie ist so bemessen, dass ordentlicher und außerordentlicher Strahl beim Austritt einen Gangunterschied von $\lambda/4$ haben („ $\lambda/4$ -Folie“). Je nach den Amplituden von ordentlichem und außerordentlichem Strahl erhält man also linear polarisiertes Licht (ein Strahl hat die Amplitude Null), elliptisch polarisiertes Licht oder zirkular

polarisiertes Licht (beide Strahlen haben die gleiche Amplitude). Das Verhältnis der Amplituden der beiden Strahlen kann durch die Stellung des Polarisators zur optischen Achse der $\lambda/4$ -Folie variiert werden.

Zur Analyse des Polarisationszustandes des Lichts wird ein Linearpolarisator verwendet. Die von ihm durchgelassene Intensität wird mit einer Fozelle gemessen. Nimmt man die Intensität in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Analysators auf, so erhält man bei linear polarisiertem Licht für eine Stellung den Wert Null, bei elliptisch polarisiertem Licht ein Minimum der Intensität und bei zirkular polarisiertem Licht für alle Stellungen die gleiche Intensität. Es soll für die Polarisatorstellungen 0° , 15° , 30° , 45° je ein Diagramm der Intensität des durch den Analysator gelassenen Lichts in Abhängigkeit von der Analysatorstellung in Polarkoordinaten aufgenommen werden. Dazu dreht man den Analysator von 0° bis 360° und misst alle 15° die Intensität. Um eventuelle Helligkeitsschwankungen der Hg-Lampe zu eliminieren, führt man die Messung dreimal durch und legt für die Auswertung den Mittelwert der bei den einzelnen Analysatorstellungen erhaltenen Lichtströme zugrunde. Es empfiehlt sich, erst jeweils einen kompletten Zyklus aus Analysator- und Polarisatorstellung zu machen und je nach Zeitbedarf weitere komplette Messreihen vorzunehmen.

Aus diesem Diagramm sollen die Ellipsen für die Amplituden des Lichtvektors konstruiert werden. Dazu braucht man Richtung und Längenverhältnis der Hauptachsen. Die Richtungen der Hauptachsen der Ellipsen sind die Richtungen der Symmetrieachsen der Intensitätskurven, das Verhältnis der Längen der Hauptachsen ist die Wurzel aus dem Verhältnis der Längen der Symmetrieachsen der Intensitätskurven. Absolute Größe und Umlaufsinn der Ellipsen können aus diesem Versuch nicht bestimmt werden.

Auf Grund nicht exakt auf die Farben abgestimmter $\lambda/4$ -Plättchen kann ein zusätzlicher Phasenunterschied auftreten, der eine Verformung der Ellipsen bewirkt.

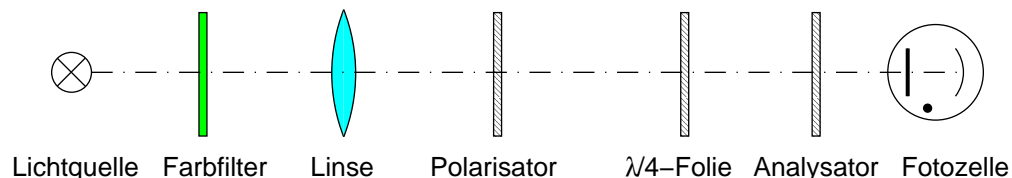


Abbildung PO.3: Messanordnung zu Aufgabe 2

Bestimmen Sie die Funktion $I(\alpha, \beta)$ indem Sie den Einfluss der Polarisationsfolien und der $\lambda/4$ Folie auf ordentlichen und außerordentlichen Strahl verfolgen. Hierbei bezeichnen α und β die an Polarisator bzw. Analysator eingestellten Winkel. An welcher Stelle kann in der Rechnung die zusätzliche Phasenverschiebung durch die falsch abgestimmte $\lambda/4$ Folie berücksichtigt werden?

Anmerkung

Nachdem das Spannungsmessgerät (unter Beachtung der Polung) an die Buchsen des Gehäuses der Fozelle angeschlossen ist, kann die Versorgungsspannung (60 V Gleichspannung aus Spezialsteckdose) angelegt werden. Nach einer Einlaufzeit von etwa 5 Minuten ist der Nullpunkt zu justieren. Es empfiehlt sich den Nullpunkt zu Beginn jeder Messreihe nochmals zu kontrollieren.