

042 Polarisation durch Reflexion

Verfasser:

Gruppe

Assistent (meiner)

Michael Kopp
(PHY, BSC)

4-006

Paul Manca
(PHY, BSC)

Datum:

Assistent:

12.11.09

Kerstinilian Heister

Aufgabenstellung

Untersuchung der Abhängigkeit der reflektierten bzw. transmittierten Intensität vom Einfallswinkel bei ~~Winkel~~ Lichtbrechung an Glasplatten, und damit Bestimmung von Bragg-Reflexions-Winkel θ_B und Brechungsindex n von Glas.

Grundlagen

Eine Lösung der Wellengleichungen, welche man als die Maxwellgleichungen bezeichnen kann, beschreibt elektromagnetische Wellen. Diese beschreiben das Verhalten von Lichtstrahlen sehr gut. Mathematisch ist diese Lösung nicht eindeutig: Es bleibt ein Freiheitsgrad, nämlich in welche Richtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung die E-Feld-Amplitude schwingt. In der Natur ist dieses Phänomen, dass Wellen in verschiedenen Richtungen schwingen können, als Polarisation bekannt. Eine spezielle Art der Polarisation ist Licht, welches unpolarisiert ist: Die E-Vektoren der einzelnen Wellen

schwingen in verschiedene Richtungen. Ein Polarizer filtert aus einem Lichtstrahl alle Vektoren aus, die nicht in einer best. Richtung polarisiert sind. Das Ergebnis ist linear polarisiertes Licht.

Stellt man sich die Reflexion von Licht an Grenzflächen so vor, dass hier Dipole in Schwingungen gesetzt werden und diese Energie wieder abstrahlen, ist natürlich, dass verschieden polarisiertes Licht verschieden gebrochen wird. Beschrieben wird dies durch die sog. Fresnel-Gleichungen. Sie beschreiben, welche Intensität des Strahls gebrochen wird bzw. transmittiert wird in Abhängigkeit vom Einfallswinkel und der Polarisation des Strahls. Ein Spezialfall ist hier der Brewster-Einfallswinkel: Dabei wird nur eine einzige Polarisationsrichtung reflektiert.

(5) Nein: Der Brechungsindex n ist abh. von der Wellenlänge des Lichts: $n = n(\lambda)$.
 Der Brewster-Winkel ist abh. von n : $\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$,
 und damit auch von λ . Damit kann bei weißem Licht - außer in dispersionsfreien Stoffen - kein einheitlicher Brewster-Winkel für alle Farben gefunden werden.

- (6) Durch Doppelbrechung: Versch. polarisierte Strahlen werden unterschiedl. abgelenkt und so räuml. getrennt.
- Durch Dichroismus: Versch. pol. Str. werden unterschiedl. absorbiert: Strahl ist nach Durchdringung immer von einer best. pol. Pol.
 - Durch Reflexion (S. 51): (S. 51)
 - Durch Polfilter: Sonderfall von Dichroismus in best. Kristallebenen

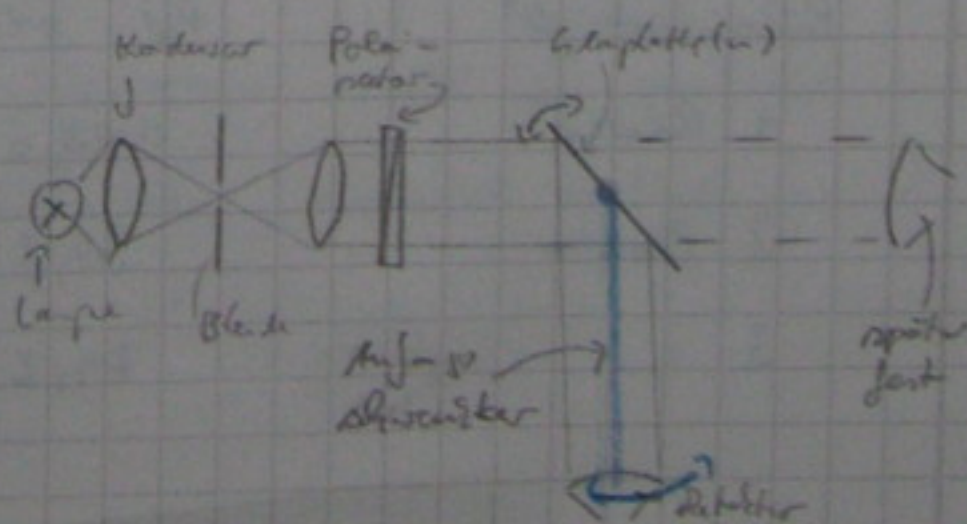
Aufbau / Durchführung

Zuerst werden alle Bauteile auf die korrekte Höhe justiert. Dann löst man vors. ohne Glasplatte die Luft und wird eine Blende fallen und justiert Blende, Lampe und Diode prob., sodass ein Lichtstrahl mittelpunkt auf die Diode fällt. Dann wird eine Linse eingesetzt, und in der Höhe der Blende gleichgestellt. Bei kleiner Blendenöffnung werden Linse und Blende nun verschoben. Die Blende so, dass auf der der Lampe gegenüberliegenden Seite ein mögl. kleiner Lichtfleck von der Blendenöffnung herüber ist so man befindet sich dann im Brennpunkt des vom Kondensor gebündelten Lichts. Die Linse wird so

justiert, dass man ein scharfes Abbild der Blende (man richtet die geraden Ränder der Iris bei idealer Einstellung schief auf der Diode sieht). Dies vor hinter (im Sinne an Lichtweg) so dass sich die Polarisator positioniert. Eine Glasplatte wird nun eingesetzt und gerichtet, sodass der reflektierte Licht genau auf die Blendenöffnung ~~zurück~~ fällt; in dieser Stellung wird die Skala auf 0° gesetzt.

Die Diode kommt nun auf einen drehbar um die Glasplatte auftr. Schwenkbarm, die Glasplatte wird unter 10° um einfallende Licht gedreht und die Diode in reflektierten Strahl gedreht. Die Intensität (\rightarrow beruht auf ^{Multimeter} Gleichstrom, ist: „DC A“ einstellen) wird abgelesen. Dies geschieht für mehrere Winkeleinstellungen (s. „Kontrollen“) und jeweils wird der Polarisationsfilter auf 0° , dann auf 270° eingestellt.

Für eine der beiden Polarisationsrichtungen wird sich bei Auf. Winkel ein Intensitätsminimum ergeben; diesen Winkel stellt man, und richtet dann die Diode ^{Beide} fest am Ende der opt. Achse. Es werden nun ~~Ableser~~ nacheinander eine bis 10 hintereinander geklemmte Glasplatten betrachtet; wieder jeweils unter 0° Polarisation und 270° .



Kernwarte / senkrecht

Polarisator: 0°

Einfallswinkel $[\circ]$

Intensität $[\mu A]$

10

27,35

23,5

20

23,80

20,45

25

31,60

17,95

30

34,00

15,0

35

38,1

11,82

40

43,5

8,41

45

50,6

5,18

47,5

55,5

3,65

50

60,0

2,14

52,5

65,6; 67,1

1,02

55

71,0; 74,1

0,42

57,5

78,8; 80,8

0,39

60,0

84,80; 87,9

0,24

62,5

92,2; 95,2

3,42

65

101,5; 105,5

7,20

67,5

110,7; 113,4

13,11

70

120,5; 124,6

22,03

72

128,0; 127,2

31,87

Brewster-Winkel ca. $56,5^\circ$. Damit ist der Einfallswinkel

Polarisator 0°

Pol. 0°

Pol. 90°

1 Platte

108,6

126,3

2 Platten

90,8

129,7

3 "

74,2

129,4

4 Platten	62,1	123,122,5
5	57,7	118,6
6	57,6	121,0
7	38,7,1	118,8
8	33,5	117,7
9	28,45	115,2
10	24,5	113,0

Mit Wasser zw. Platten (J. B. J. (bei Brewster-Winkel))

0° Pl: 39,6 μ A

90° Pl: 117,8 μ A

W. Maier
12. 11. 09

Formeln

• $I \propto \|\underline{E}\|^2$

(I : Intensität, \underline{E} : E-Feld-Vektor)

• $n = \tan \theta_B$

(n : Brechungsindex, θ_B : Brewster-Winkel)

• $R_p = \left(\frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \right)^2$, $R_s = \left(\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right)^2$ (Fresnel-Gleichungen)

(α, β : Ein-, Ausfallswinkel, R_p, R_s : Anteil an reflektierter Intensität bei Polarisation parallel, senkrecht zur Einfallsebene)

(z) Vorsicht: bei paralleler Polarisation steht \underline{E} senkrecht auf der Einfallsebene und umgekehrt; hier wird bed. ...)

$$P = \frac{I_p - I_s}{I_p + I_s}$$

(P: Polarisationsgrad, I_p, I_s : Intensität von parallel bzw. senkrecht zum Einfallsb. pol. Licht die durchgelassen wird)

Auswertung

Durch graphische Extrapolation ergibt sich der Brewsterwinkel in ca. $56,5^\circ$. Fittet man die Messwerte mit den Fresnel-Formeln an, erhält man eine Kurve, deren Minimum analytisch bestimmbar ist; mit diesem Verfahren erhält man einen Brewsterwinkel von ~~56~~ ca. 57° .

Unsere Messwerte stimmen eigentlich sehr gut mit den Vorhersagen der Fresnel-Gleichungen überein, und nur der Brewsterwinkel ist die Abweichung jedoch größer (wenn immer noch weniger als im Vakuum pol.). Dies könnte daran liegen, dass man am Brewsterwinkel eigentlich keine Intensität messen soll, doch unser Detektor nimmt Licht aus der Umgebung auf. Weiter könnte sein, dass die Angaben zur Polarisationsrichtung auf dem Polarizador nicht korrekt waren, und es somit eben kein perfekt parallel polarisiertes Licht zur Verfügung stand. Außerdem machen sich bei sehr kleinen Intensitäten Streuungen besonders bemerkbar, die durch Schmutz auf dem

Glas oder Verunreinigungen im Glas beseitigen.

Für $\theta_p = 57^\circ$ ergibt sich ein Polarisationsgrad-Brechungs-
index von $n = \tan 57^\circ \approx 1,540$.

Aus dieser Fit an die Fresnel-Formeln erhält man
 $n \approx 1,535$.

Betrachtet man die Platten unter dem Brewster-Winkel, so wird
von dem parallel polarisierten Anteil praktisch nichts reflektiert;
diese Intensität sollte also mit einer Glasplatte identisch
sein. Tatsächlich findet man aber einen leichten (schlechten)
Abfall pro Glasplatte. Dies ist durch Streueffekte zu
erklären, die an jeder Oberfläche sind in jedem Glas Mat-
titude - auftreten wird ein Teil des Lichts vom Glas absor-
biert.

Für das senkrecht polarisierte Licht gilt das jedoch nicht:
Wie man im vorherigen Abschnitt gesehen hat, wird hier auch
unter dem Brewster-Winkel noch ein gewisser Anteil refle-
ktiert. Diese reflektierte Intensität fehlt im folgenden
Strahl. An jeder Grenzfläche wird also wieder ein Teil
des senkrecht pol. Lichts "wegreflektiert". Somit kann man
den Intensitätsabfall sehr gut durch eine exponentielle Ab-
nahme beschreiben (vgl. Diagramm).

Infolgedessen nimmt der Reflexionsgrad mit mehr Glasplatten
zu: Es wird zunehmend mit parallel pol. Licht durchstrahlt.
Man kann die Platten so also mit einem Filter zu ver-
gleichen, in dem Dichroismus vorliegt.

Um den Einfluss der Grenzflächen zu untersuchen, wurden
 noch zusätzlich 5 Glasplatten dazwischen mit Wasser in
 den Einstrahlströmen unter dem Brewster-Winkel be-
 stellt. Wie zu erwarten laut dies (praktisch) keinen Ein-
 fluss auf den parallel pol. Anteil, kleinen senkrecht pol.
 Anteil jedoch sieht man eine starke Abweichung: Das Wasser
 ist optisch dichter als Luft, dies setzt den relativen Brechungs-
 index $n = \sqrt{2}$ deutlich herab. Damit setzt sich der an der
 inneren Grenzfläche reflektierte Anteil an senkrecht pol.
 Licht wesentlich kleiner - vgl. vorher Diagramm: Hier
 muss man für die Luft den an der reflektierten Anteil einen
 kleineren Winkel als bei Luft annehmen.

Fehlerrechnung

In den Diagrammen wurden die Fehlerbalken mit 5%
 Abweichung bei großer Intensität, 1% bei kleiner Intensi-
 tät angesetzt: Das Multimeter war bei großer Intensität
 mit schwer ablesbar, weil die Balken ständig schaukeln;
 bei kleiner dagegen sehr gut.

Beim Brechungsindex können wir für Fehlerabschätzung
 die beiden niedrigsten Werte nehmen: $55 < n_0 < 57,5$,

also ein Mittel von $\bar{\theta} = 56,25$ und $\Delta\theta = 1,25$.

Mit Fehlerfortpflanzung folgt:

~~$\Delta\theta = \frac{1}{\cos^2 \bar{\theta}} \cdot \Delta\theta$~~
 ~~$\Delta\theta = \frac{1}{\cos^2 56,25^\circ} \cdot 1,25$~~

$$\Delta u = |\tan' \bar{\theta}| \cdot \Delta\theta = |\sec^2 \bar{\theta}| \cdot \Delta\theta$$

\uparrow
Bogenmaß

$$\frac{1}{\cos^2 56,25^\circ} \cdot \frac{1,25 \cdot \pi}{180} = 0,071$$

Und so ein relativer Fehler von ($u = \tan \bar{\theta} = 1,492$)

$$\frac{\Delta u}{u} \approx 0,0472 \hat{=} 4,72\%$$

Um den Fehler des Polarisationsgrads abzuschränken, kann man sich Fehlerfortpflanzung vorstellen:

$$\Delta P = \left| \frac{1}{I_s + I_p} - \frac{I_p - I_s}{(I_p + I_s)^2} \right| \cdot \Delta I_p + \left| -\frac{1}{I_s + I_p} - \frac{I_p - I_s}{(I_p + I_s)^2} \right| \cdot \Delta I_s$$

Für $\Delta I_p = \Delta I_s = I_p \cdot 0,05$, $\Delta I_s = I_s \cdot 0,05$ (5% - Abw.)

Ist dies im letzten Diagramm eingezeichnet (für jeden Datenpunkt individuell berechnet!)

Das letzte Diagramm liegt nochmal vor: Hier sieht man, dass eine Fehlerbreite von $\approx 1\%$ bei der Intensität der parallel pol. Lichts (bis auf die einem Streifen) sich spiegelt; entspr. würde hier auch $\Delta I_p = 0,01 \cdot I_p$ gelten.

Zusammenfassung:

Wir konnten gut die Effekte beobachten, dass Licht abhängig von seiner Polarisationsrichtung verschieden gebrochen / reflektiert wird.

Der Brechungsindex unseres Glases ergibt sich

$$n = 1,497 \pm 0,071$$

und wir konnten beobachten, dass bei einer hohen Brechung unter dem Brewster-Winkel die Lichtanteile unterschiedlicher Polarisation aus dem einfallenden Licht getrennt werden.