

Theoretische Grundlagen

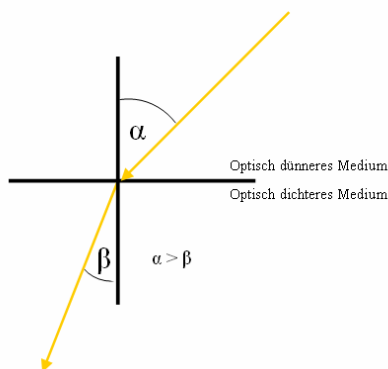
Brechung

Die Brechung von Licht an der Grenzfläche zweier Medien ist Phänomen mit vielfältigen Anwendungen innerhalb der Optik, welche von der Konstruktion von Linsen bis zur Spektroskopie reichen. Wenn ein Lichtstrahl von einem optisch dünneren in ein optisch dickeres übergeht, wird der Strahl zum Lot abgelenkt. Wobei die Stärke der Ablenkung mit den Lichtgeschwindigkeiten in den jeweiligen Medien bzw. den Brechzahlen korreliert. Es gelten hierzu folgende Formeln:

$$\frac{\sin(\delta_1)}{\sin(\delta_2)} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

(Brechungsgesetz von Snellius)

wobei δ_i der Winkel, c_i die Lichtgeschwindigkeit und n_i die Brechzahl im jeweiligen Medium sind.

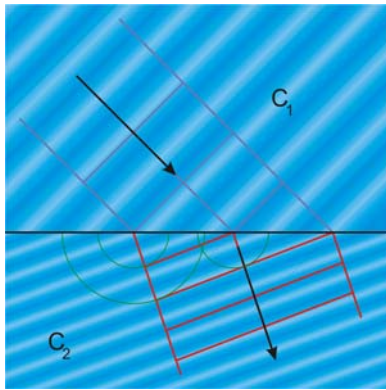


Fermatsches Prinzip

Das Fermatsche Prinzip besagt, dass ein Lichtstrahl stets den Weg nimmt für den er die kürzeste Zeit braucht. Die Lösung dieser Extremwertaufgabe erklärt die Brechung adäquat.

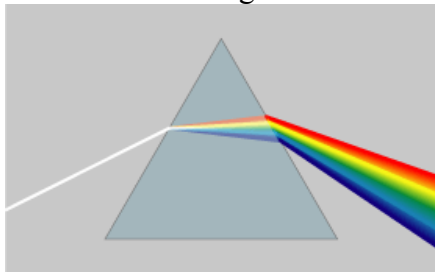
Huygens Prinzip

Gemäß dem Huygens Prinzip besteht eine Wellenfront in jedem Punkt aus kugelförmigen Elementarwellen, welche aufsummiert die Front ergeben. Diese Kugelwellen kann man auch zur Erklärung der Brechung heranziehen. Wenn die Wellenfront eines Lichtstrahls die Grenzfläche von zwei Medien trifft, bildet sich dort beim Übergang aus den einzelnen Elementarwellen eine neue Wellenfront im anderen Medium, welche nicht parallel mit der ursprünglichen ist (Ausnahme: Lichtstrahl senkrecht).



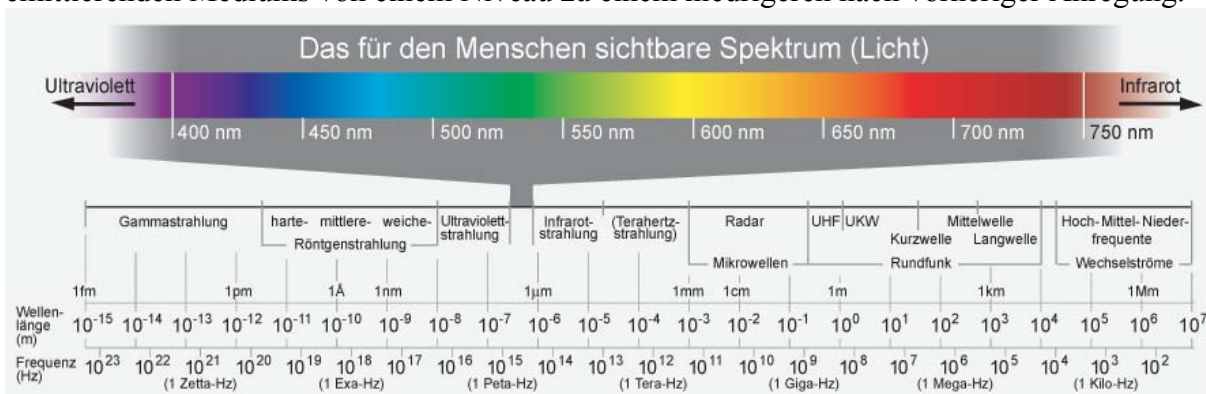
Dispersion

Die Brechzahl eines Mediums ist auch von der Wellenlänge des jeweiligen durchquerenden Lichtstrahls abhängig. So hat langwelliges Licht in der Regel eine kleinere Brechzahl als kurzwelligeres. Dies kann unter bestimmten geometrischen Anordnungen (z.B. Prisma) zu einer Auffächerung von weißem Licht in ein Spektrum führen.



Lichtspektrum

Das für den Menschen sichtbare Licht, ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Spektrum. Je nach Wellenlänge wird Licht von uns in einer unterschiedlichen Farbe wahrgenommen. In der Spektroskopie unterscheidet man zwei Arten von Spektren, welche von einem Kontinuum (meist Schwarzkörperstrahlung) abweichen. Einerseits ein Absorptionsspektrum, welches wie ein Kontinuum darstellt, in dem einzelne Wellenlängen jedoch vollständig fehlen, da diese bei der Durchquerung eines bestimmten Mediums absorbiert wurden. Weiter unterscheidet man ein Emissionsspektrum, welches nur aus diskreten Linien bestimmter Wellenlänge besteht. Diese Linien entstehen durch die Emission von elektromagnetischer Strahlung beim Übergang (Rückkehr) eines Elektrons des emittierenden Mediums von einem Niveau zu einem niedrigeren nach vorheriger Anregung.



Durchgang durch Prismen

Durchführung

Im ersten Teil des Versuches hatten wir den brechenden Winkel ε zu bestimmen. Hierzu musste die Normalstellung Ψ_1 und Ψ_2 bestimmt werden. Dies geschah in dem man das zu untersuchende Prisma auf den Prismentisch stellte und es mit Hilfe eines Gaußschen Okulars anvisierte. Im Okular konnte man das Fadenkreuz sehen und wenn man genau senkrecht auf eine der Prismenflächen blickte, war auch die Spiegelung desselben zu erkennen. Das Fadenkreuz und seine Spiegelung brachte man in Deckung und las am Kreisnonius den eingestellten Winkel ab. Nun schwenkte man das Okular zur anderen Prismenfläche ohne das Prisma zu bewegen und machte dort die gleiche Messung. Aus den somit erhaltenen beiden Winkeln konnte man den brechenden Winkel ε errechnen.

Im nächsten Teil des Experiments stellten wir eine Kadmiumdampfampe hinter das Prismenspektrometer und maßen zu erst einmal den Winkel zur Lampe ohne ein Prisma in der Mitte. Anschließend fügen wir wieder das Prisma auf den Prismentisch ein und suchten das hindurch scheinende aufgefächerte Spektrum der Gaslampe. Als wir es schließlich gefunden hatten drehten wir langsam das Prisma und verfolgten das Spektrum mit dem Okular. Als dann der Punkt erreicht war, wo sich die scheinbare Bewegung der jeweiligen beobachteten Spektrallinie umkehrte, lasen wir abermals den Winkel am Nonius ab. Dies taten wir für die rote und die blaue Spektrallinie und errechneten uns aus den bekannten Winkeln nun die Brechzahl bei der jeweiligen Wellenlänge.

Messwerte

| | Y1 [°] | Y2 [°] |
|----------|--------|--------|
| Messwert | 34,07 | 154,18 |
| Fehler | 0,02 | 0,02 |

| | Geradestellung |
|--------------|----------------|
| [°] | 86,83 |
| Fehler [°] | 0,02 |
| [rad] | 1,5155 |
| Fehler [rad] | 0,0003 |

| Spektrallinie | Stellung [°] | σ Stellung [°] | d_{\min} [°] | σd_{\min} [°] | n | σn |
|---------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------|------------|
| rot | 134,47 | 0,02 | 47,58 | 0,02 | 1,6154 | 0,0004 |
| blau | 136,38 | 0,02 | 49,55 | 0,02 | 1,6355 | 0,0004 |

Auswertung

Der Winkel α , welcher dem Unterscheid zwischen den beiden gemessenen Normalstellungen entspricht, beträgt $(120,11 \pm 0,02)^\circ$. Daraus ergibt sich durch die Formel

$$\varepsilon = 180^\circ - \alpha$$

ein brechender Winkel ε von $(59,88 \pm 0,02)^\circ$. Der in der Rechnung für die Fehlerfortpflanzung verwendete Fehler, entspricht bei den anfänglichen Messungen der Genauigkeit des Kreisnonius, welche bei einer Bogenminuten lag.

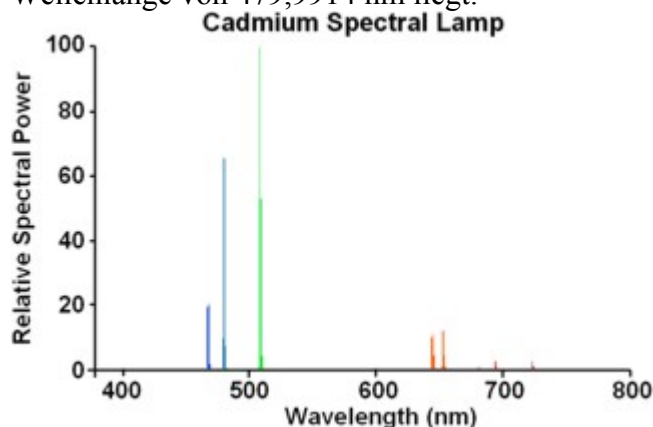
Aus der Differenz zwischen der Position des unabgelenkten Strahles und der des Wendepunktes der Verschiebung der Spektrallinie kann man sich δ_{\min} errechnen. Nun kann man sich mittels der Formel

$$n = \sin((\delta_{\min} + \varepsilon)/2) / \sin(\varepsilon/2)$$

die Brechzahl n des Prismas zu errechnen. Man erhält aus den Winkel für die rote Spektrallinie eine Brechzahl von $(1,6154 \pm 0,0004)$ und für die blaue Linie eine Brechzahl von $(1,6355 \pm 0,0004)$.

Interpretation

Bei der Untersuchung der einzelnen Spektrallinien waren im ganzen Spektrum 5 Linien in auffälliger Intensität auf: eine violette (nicht auf der Grafik), eine blaue, eine türkise, eine grüne und eine rote. Die für die Bestimmung der Brechzahl verwendeten Linien waren bei uns die rote, welche bei einer Wellenlänge von 643,8469 nm, und die blaue, welche bei einer Wellenlänge von 479,9914 nm liegt.



Man sieht anhand der errechneten Brechzahl auch die Abhängigkeit derer von der Wellenlänge. Wobei die Brechzahl mit abnehmender Wellenlänge zunimmt.

Brechungsindex – Planparallele Platte

Theorie

Bei Durchgang eines Lichtstrahles durch eine planparallele Platte der Dicke d sind einfallender und ausfallender Strahl nach zweimaliger Brechung um eine Strecke δ seitlich parallel versetzt.

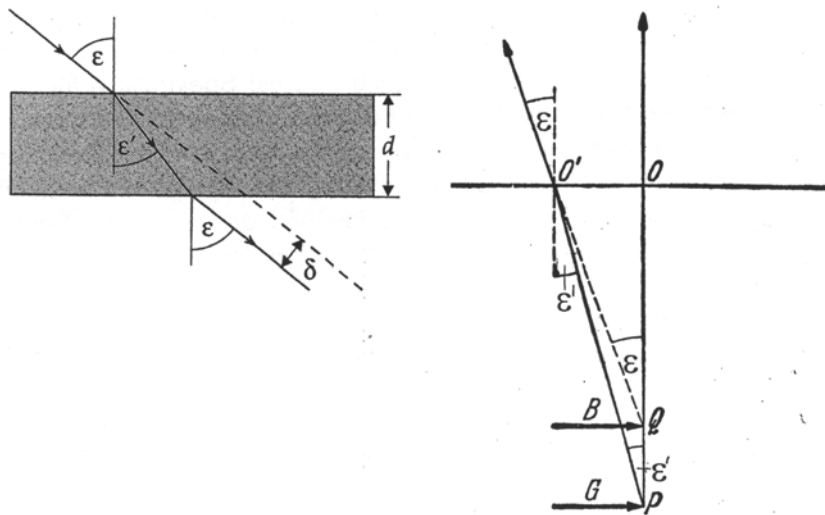
$$\text{Verschiebung} \quad \delta = d * (\sin \varepsilon - \varepsilon') / \cos \varepsilon'$$

ε ...Einfallswinkel

ε' ...Brechungswinkel

Es entsteht der Eindruck einer Bildhebung wenn man einen Gegenstand durch solch eine Platte betrachtet.

$$\Delta = d(1 - n_1 / n_2)$$



Durchführung

Es soll der Brechquotient einer planparallelen Platte mit absoluten und relativen Fehler bestimmt werden.

$$n = d / b$$

n ... Brechungsindex der Platte

d ...Dicke der Platte

b ...Verschiebung des Mikroskoptubus

Eine solche Platte hat auf beiden Seiten farbige Markierungen. Das Mikroskop wird abwechselnd auf beide Markierungen fokussiert. die Größe der Verschiebung b kann von der Teilung der Feineinstellschraube gemessen werden.

Messdaten und Auswertung

Verschiebung... b (1 Skalenteil entspricht $2 \mu\text{m}$)

Die Dicke der Platte wird mit einer Mikrometerschraube gemessen.

| | |
|---------------------|----------------------|
| Platten Dicke d [m] | $3,16 \cdot 10^{-3}$ |
| Fehler Dicke [m] | $0,01 \cdot 10^{-3}$ |

| | Verschiebung [Skala] | Verschiebung [m] |
|----|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 1065 | 0,00213 |
| 2 | 1058 | 0,00212 |
| 3 | 1056 | 0,00211 |
| 4 | 1060 | 0,00212 |
| 5 | 1064 | 0,00213 |
| 6 | 1050 | 0,00210 |
| 7 | 1049 | 0,00210 |
| 8 | 1055 | 0,00211 |
| 9 | 1062 | 0,00212 |
| 10 | 1053 | 0,00211 |
| | MW b | 0,00211 |
| | σb | $1,11873 \cdot 10^{-5}$ |

| | |
|------------|--------------|
| n | 1,494 |
| Δn | 0,00617 |

relativer Fehler in % $0,413 \quad n/n_0 \cdot 100$

Absoluter Fehler $\Delta n = 6,165 \cdot 10^{-3}$

Die gemessene Verschiebung beträgt $(0,00211 \pm 0,00001) \text{ m}$

Mithilfe der Fehlerrechnung ergibt sich Δn zu 0,006

Der relative Fehler ist $\Delta n/n \cdot 100 = 0,413 \%$

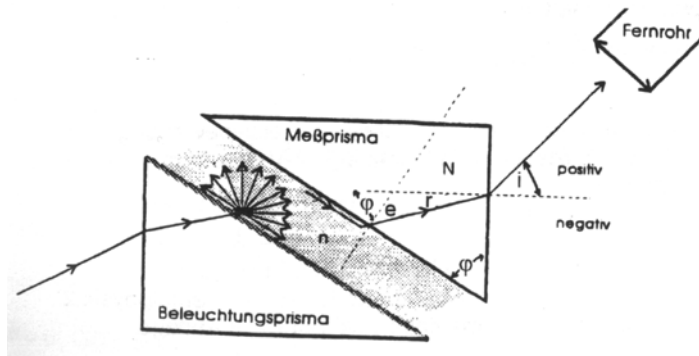
Der Brechindex der planparallelen Platte beträgt $n = (1,494 \pm 0,006)$

Interpretation

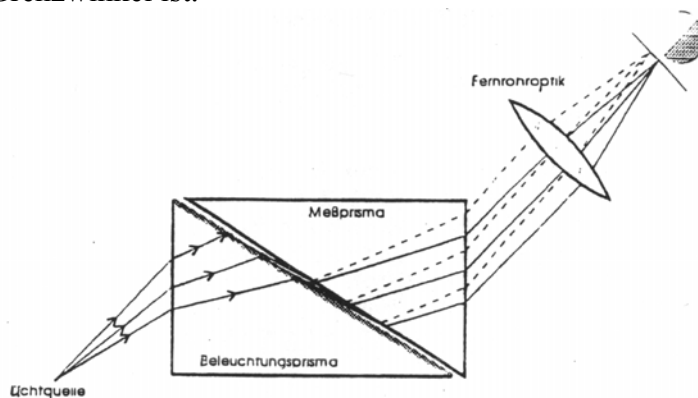
Der aus den Messungen erhaltene Brechungsindex stimmt in akzeptabler Näherung mit dem Literaturwert für Glas von 1,5-1,8 überein. Mit Fehlergrenzen erreicht unser Wert sogar genau den kleinsten Literaturwert von 1,5.

Brechungsindex - Abbesches Refraktometer

Das Abbesche Refraktometer dient zur Bestimmung des Brechungsindex von Flüssigkeiten. Das Refraktometer besteht aus einem Doppelprisma mit Brechungsindex N und dem Fernrohr. Dies ist starr mit einem Teilkreis, das drehbare Prisma mit dem Nonius verbunden. Zwischen den Prismen wird die Flüssigkeit aufgetragen. In der Zeichnung bedeutet $N > n$ Brechung zum Lot. Aus dem Grenzwinkel e , der Totalreflexion lässt sich das Verhältnis der beiden Brechzahlen bestimmen.



Licht durchdringt das erste Prisma (beleuchtet) und wird an der Grenzfläche gegen die Flüssigkeit oder Luft diffus. Der Lichtstrahl mit dem größtmöglichen Einfallswinkel von 90° wird unter dem Winkel e gebrochen. Dieser ist gleich dem Grenzwinkel der Totalreflexion. Alle eintretenden Strahlen haben einen Brechwinkel der kleiner oder gleich diesem Grenzwinkel ist.



Das austretende Licht entspricht einem Punkt jeder Strahlrichtung in der Brennebene eines unendlich eingestellten Fernrohrs. Da in dem aus dem Prisma austretenden Lichtbündel nicht alle Richtungen enthalten sind, bleibt ein Teil des Gesichtsfeldes dunkel. Der Richtung des Grenzstrahls (Winkel i) entspricht daher bei Verwendung von monochromatischem Licht (= Licht einer Wellenlänge, Farbe) eine scharfe Hell Dunkel Grenze. Strahlen die unter dem Grenzwinkel gebrochen werden sind oben durchgezogen dargestellt.

Für den Grenzstrahl gilt:

$$n = N \cdot \sin(e)$$

$$\sin(i) = N \cdot \sin(r)$$

$$\varphi = r + e$$

e ...Grenzwinkel der Totalreflexion

N ..., n ..., φ ...brechender Winkel des Refraktometers

Durchführung

Versuch 1

Bestimmung des Brechungsindex einer unbekanntem Flüssigkeit mit einem älteren Refraktometer. (Freihandgerät)

Man benötigt den Brechungsindex und den brechenden Winkel des Messprismas. Für die Bestimmung des brechenden Winkel φ ist ein Gaußsches Okular eingebaut. Es hat ein Fadenkreuz und ein Beleuchtungsprisma, welches einen Teil des Fadenkreuzes beleuchtet. Es können damit die Senkrechtstellungen auf die den brechenden Winkel einschließenden Prismenflächen gemessen werden.

Durch Reflexion an der Messprismenfläche sieht man ein Spiegelbild vom Fadenkreuz. Normalstellung ist erreicht wenn beide Bilder deckungsgleich sind.

Zur Bestimmung des Brechungsindex N des Messprismas wird der Grenzwinkel i der Luft mit monochromatischem Licht (mit einer Na-Lampe) gemessen. Ist der Winkel i positiv, so ist der austretende Strahl dem brechenden abgewandt. Ist i negativ ist er dem brechenden Strahl abgewandt. Nach dem Messen des Winkels φ und des Brechungsindex N wird das Beleuchtungsprisma fürs Fadenkreuz abgenommen und mit der Pipette ein paar Tropfen der Probenflüssigkeit auf das Messprisma aufgebracht. Anschließend ist das Beleuchtungsprisma wieder aufzusetzen und die Hell Dunkel Grenze einzustellen.

$$(N^2 - 1)^{(1/2)} = [\cos(\varphi) + \sin(i)] / \sin(\varphi)$$

Versuch 2

Bestimmung des Brechungsindex mit einem modernen Zeiss-Refraktometer

Die Vorgangsweise ist dieselbe wie beim Handgerät. Zuerst wird das Okular für das Auge scharf eingestellt. Dann wird die Probesubstanz zwischen die beiden Prismen gebracht. Man schaut nun durch das Okular und verschiebt die Grenzlinie in das Messfeld. Danach muss diese Grenzlinie noch farbfrei gestellt werden. Anschließen kann man das Fadenkreuz auf die Grenzlinie anvisieren und den Skalenwert für den Brechungsindex direkt an einer Skala ablesen.

Messdaten und Auswertung

Monochromatisches Licht: Wellenlänge $\lambda = 590 \text{ nm}$

Genauigkeit Winkel: $1' = 1/60 = 0,0167$

Handgerät Eichung

| | |
|----------------------|---------|
| $\varphi 1 [^\circ]$ | 122,467 |
| $\varphi 2 [^\circ]$ | 3,5 |
| $h [^\circ]$ | 161,667 |

| | |
|--|------------|
| | $[^\circ]$ |
| Austretender Winkel i | 39,2 |
| $\Phi = 180^\circ - (\varphi 1 - \varphi 2)$ | 61,03 |

$$r = \arcsin(\sin(i) / N)$$

$$r = 0,0699 \text{ rad}$$

$$e = \varphi - r$$

$$e = 0,995$$

$$N = ([\cos(\varphi) + \sin(i)] / \sin(\varphi)]^2 + 1)^{(1/2)}$$

$$N = 1,621$$

Handgerät Brechindex: Flüssigkeit

| | $[^\circ]$ | Rad |
|----------------------|-------------|-------|
| $h_{\text{flüssig}}$ | 128,966 | 2,251 |
| $i_{\text{flüssig}}$ | 6,5 | 0,113 |
| n | 1,36 | |

Brechindex: Flüssigkeit mit dem Zeiss-Refraktometer abgelesen:

$$n = 1,363$$

Interpretation

Laut Betreuer handelt es sich bei der von uns untersuchten Flüssigkeit B um Ethanol. Der Literaturwert für die Brechzahl von Ethanol ist 1,37 bei 20°C und 1013 hPa für $\lambda = 589,3 \text{ nm}$.

Der Brechwert mit dem Handgerät beträgt $n = 1,36$.

Der abgelesene Brechwert mit dem Zeiss-Refraktometer beträgt $n = 1,363$

Dieser Wert ist in guter Übereinstimmung mit dem Theoriewert, die kleine Abweichung kann auf die Ursache in einer Verunreinigung der Probflüssigkeit liegen.