

IV. Totale Reflexion.

Einleitung.

Gebraucht wird: Totalreflektometer von F. Kohlrausch; Schwefelkohlenstoff; Brenner mit Platinlöffel und Chlornatrium; Glasplatte; Glasplatte mit eingeschliffener Höhlung und Deckgläschen; Topaskristall.

Abbes Refraktometer mit Tabelle; Cassiaöl; Flußspatkristall.
Totalreflektometer nach Pulfrich mit Zubehör.

Ist n der Brechungsindex für den Übergang des Lichtes aus Luft in ein optisch dichteres Medium, etwa in Glas, i' der Einfallswinkel in der Luft, r' der Brechungswinkel im Glase, so ist:

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = n,$$

wo $n > 1$ ist. Geht der Strahl aus Glas in Luft, ist i der Einfallswinkel im Glase, r der Brechungswinkel in der Luft, so ist (vgl. S. 250):

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} = v \quad \text{und} \quad \sin r = n \sin i,$$

wo $v < 1$ ist. $\sin r$ kann nie größer als 1, r nie größer als 90° werden, also kann der Lichtstrahl nur so lange aus dem Glase in die Luft austreten, als $n \sin i < 1$ ist; dann tritt ein Teil des Lichtes in die Luft aus, ein Teil wird „partiell“ reflektiert. Wird $\sin i$ und damit i so groß, daß $n \sin i > 1$ ist, so wird alles Licht reflektiert: wir haben „totale“ Reflexion. Eine totale Reflexion kann demnach nur stattfinden, wenn das Licht aus einem optisch dichteren auf ein optisch dünneres Medium fällt. Der Winkel J , bei dem die totale Reflexion beginnt, heißt Grenzwinkel der totalen Reflexion, für ihn ist:

$$\sin J = \frac{1}{n} = v.$$

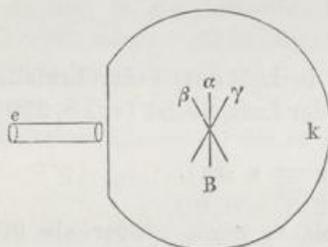
Fallen Strahlen bei wachsenden Einfallswinkeln auf die Grenze von Glas und Luft, so erkennt man den Eintritt der totalen Reflexion an der plötzlichen Zunahme der Helligkeit des reflektierten Lichtes.

Fallen Strahlen im dichteren Medium unter dem Grenzwinkel der totalen Reflexion auf die Grenze, so treten sie streifend aus, es ist $\sin r = 1$, $r = 90^\circ$; fallen umgekehrt Strahlen streifend im dünneren Medium auf die Grenze, so treten sie unter dem Grenzwinkel der totalen Reflexion ein.

1. Totalreflektometer von F. Kohlrausch.

Prinzip. In dem mit stark brechender Flüssigkeit (Schwefelkohlenstoff oder dem weniger leicht brennbaren Monobromnaphthalin) gefüllten Gefäße *k* (Fig. 160 und 161), das vorn durch eine ebene Spiegelglasplatte verschlossen ist, ist die Platte *B* um eine vertikale Achse drehbar. Das Gefäß ist mit durchscheinendem Papier umgeben, das, von rückwärts beleuchtet, gleichsam zum Selbstleuchter wird. Vor der Platte ist ein Fernrohr *e* mit Fadenkreuz aufgestellt. Dreht man die Platte aus der Lage α in die Lage β ,

Fig. 160.

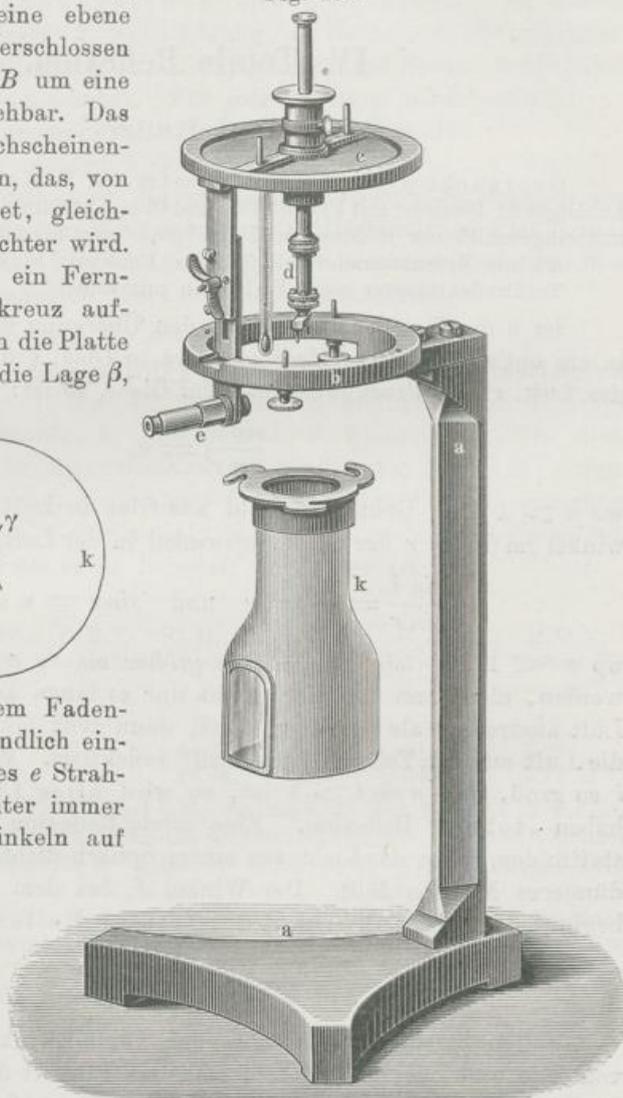


so werden auf dem Fadenkreuz des auf Unendlich eingestellten Fernrohres *e* Strahlen vereint, die unter immer größeren Einfallswinkeln auf die Platte *B* fallen.

Ist der Brechungsindex der Platte kleiner als der der Flüssigkeit, so tritt bei einem bestimmten Winkel für die auf der linken Seite des

Fadenkreuzes vereinten Strahlen totale Reflexion ein, während dies für die auf der rechten Seite noch nicht der Fall ist. Eine Grenze zwischen hellen und dunklen Teilen, die durch den Schnittpunkt des Fadenkreuzes geht, durchzieht das Gesichtsfeld von oben nach unten.

Fig. 161.



Diejenigen von der beleuchteten Papierwand kommenden Strahlen, die gerade auf dem Fadenkreuz nach der Reflexion vereint werden, haben eine totale Reflexion erfahren. Ihr Einfallswinkel ist nach dem Satze von Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels gleich dem Winkel, den die Normale auf der reflektierenden Fläche mit der Fernrohrachse bildet. Dreht man die Platte aus der Lage β durch α nach γ , bis wieder dieselbe Erscheinung eintritt, so entspricht diese Drehung dem doppelten Grenzwinkel der totalen Reflexion J zwischen Flüssigkeit und festem Körper.

Wir erhalten aus J zunächst den Brechungsindex ν für den Übergang aus der umgebenden Flüssigkeit in Glas. Um den Brechungsindex n aus Luft in Glas zu erhalten, muß man ν mit dem Brechungsindex aus Luft in die Flüssigkeit N (s. S. 251) multiplizieren, es ist also:

$$n = N\nu = N \sin J.$$

Apparat. Das Gefäß k (Fig. 161) wird mittels Bajonettverschluß in dem Ringe b befestigt. Auf ihm ruht die Platte c , welche an ihrem Rande eine Teilung trägt. Durch ihre Mitte geht die Stange d , welche durch eine Druckschraube gehalten wird. Am Ende von d , welches gewöhnlich eine in zwei Kugelgelenken bewegliche Klemme zum Festhalten der zu messenden Substanzen trägt, kann auch eine Platte h befestigt werden, an der hinter einem kleinen Fenster plattenförmige Körper durch eine Feder i festgehalten werden. Die Platte c trägt außerdem ein Thermometer und das Fernrohr e .

Um den Brechungsindex einer Flüssigkeit zu bestimmen, gießt man sie in eine Höhlung in einer ebenen Glasplatte, welche zwischen i und h eingeklemmt wird; die Flüssigkeit schließt man durch eine aufgelegte dünne, planparallele Glasplatte gegen die Umgebung ab.

Der Einfluß der Glasplatte fällt aus der Bestimmung heraus; man bestimmt zwar die Grenze der totalen Reflexion an Glas und Flüssigkeit, die Richtung der reflektierten Strahlen aber wird bei dem Austritte aus Glas in die umgebende Füllflüssigkeit so geändert, daß der Winkel, den man beobachtet, der gleiche ist wie der Grenzwinkel bei totaler Reflexion an der Grenze von dieser Flüssigkeit und der zu untersuchenden Substanz.

I. Einfach brechende Körper.

A. Brechungsindex einer Glasplatte.

Übung. 1. Man befestigt an dem Träger d die Platte möglichst parallel zu der Achse und hängt das mit der stark brechenden Flüssigkeit gefüllte Gefäß k an b .

2. Man stellt eine Natriumflamme auf die rechte Seite (Vorsicht bei Verwendung des Schwefelkohlenstoffs!) und dreht die Platte so lange, bis die Grenze der totalen Reflexion das Fadenkreuz schneidet; die Lage der Platte wird an beiden Alhidaden abgelesen und das Mittel α gebildet.

3. Dasselbe wird auf der linken Seite wiederholt und wieder an beiden Alhidaden abgelesen: β . Dann ist:

$$J = \frac{1}{2}(\alpha - \beta).$$

Der Brechungsindex ist:

$$n = N \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta).$$

Bei Schwefelkohlenstoff ist der Brechungsindex N für Natriumlicht bei 20° 1,6277 und nimmt für 1° Temperaturerhöhung um 0,0008 ab; bei Monobromnaphthalin ist $N = 1,66624 - 0,00045 \cdot t^\circ$.

B. Brechungsindex einer Flüssigkeit (Wasser $n = 1,3306$).

Übung. 1. Man füllt die Höhlung der oben erwähnten Glasplatte mit Flüssigkeit, setzt das Deckgläschen auf, ohne eine Luftblase einzuschließen, und klemmt beide fest.

2. Die Bestimmung des Brechungsindex ist dem Obigen zufolge ganz ebenso wie bei A. (Die der Totalreflexion an der Grenzfläche von Wasser und Glas entsprechende Grenze zwischen Hell und Dunkel, die man hier zu benutzen hat, ist diejenige, welche die Teile größter von denen mittlerer Dunkelheit trennt; die andere rührt von der Reflexion zwischen der Füllflüssigkeit und dem Glase her.)

II. Brechungsindex eines Kristalles.

Bei einem doppeltbrechenden Kristall entstehen aus einem einfallenden Strahl zwei gebrochene (vgl. VIII. Polarisation), die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, also auch verschiedene Brechungsindizes haben, für die also bei verschiedenen Einfallswinkeln totale Reflexion eintritt. Dreht man eine Platte eines doppeltbrechenden Kristalles in einem stark brechenden Medium von kleinen Einfallswinkeln zu immer größeren, so ist, ehe überhaupt für einen Strahl totale Reflexion eintritt, das Gesichtsfeld von dem partiell reflektierten Lichte beider Strahlen erleuchtet; bei einem bestimmten Einfallswinkel wird der Strahl (a) mit dem kleineren Brechungsindex total reflektiert, man sieht eine Grenze zwischen weniger hell und heller; bei weiterem Drehen wird auch der zweite Strahl total reflektiert, man erhält eine zweite Grenze (b) zwischen zwei verschiedenen hellen Teilen. Meist sieht man beide Grenzen gleichzeitig im Gesichtsfelde, der Raum zwischen beiden erscheint, obgleich er überall gleich hell ist, durch Kontrast an den der totalen Reflexion anliegenden Stellen heller¹⁾.

Übung. Brechungsindex eines Topaskristalles. $n_a = 1,6120$, $n_b = 1,6208$. Es wird wie oben auf beide Grenzen eingestellt.

¹⁾ Über Messung mit einem Okularmikrometer ist die Arbeit von F. Kohlrausch selbst zu vergleichen (Wiedemanns Annalen 4, 1, 1878).

2. Totalrefraktometer von Abbe.

Prinzip. Zwei rechtwinkelige Prismen ABC und DEF (Fig. 162) mit ungleich langen Katheten werden mit ihren Hypotenusenflächen AC und ED aneinandergelegt, vor die Fläche BC ist noch ein rechtwinkeliges Prisma gekittet (CHG). Befindet sich zwischen AC und ED Luft oder eine Substanz von kleinerem Brechungsindex als das Glas, so wird beim Drehen der Prismen um eine durch O gehende, zur Ebene der Zeichnung senkrechte Achse ein in der Richtung WV das System durchsetzender Lichtstrahl bei einer gewissen Stellung der Prismen an der Fläche ED total reflektiert. Ein in der Richtung V gelegenes Auge sieht dann eine in W gelegene homogene Lichtquelle plötzlich, eine weiße, nachdem sie eine Reihe von Farben durchlaufen hat, verschwinden: die verschiedenen Farben erfahren sukzessiv eine totale Reflexion, und die übrigbleibenden geben eine Mischfarbe. Flüssigkeiten bringt man direkt zwischen die Prismen. Feste Körper schleift man zu dünnen Platten, legt sie mit einem Tropfen einer Flüssigkeit, die stärker bricht als sie selbst und sie nicht angreift, zwischen die Prismen. Solche Flüssigkeiten sind Cassiaöl ($n = 1,60$), Zimtaldehyd ($n = 1,62$), Monobromnaphthalin ($n = 1,66$), Arsenbromür ($n = 1,781$), Naphthylphenylketon ($n_B = 1,664$, $n_E = 1,678$), Metacinnamen ($n_D = 1,593$).

Die dünne Flüssigkeitsschicht zwischen dem Prisma und dem zu untersuchenden Körper ist ohne Einfluß auf die Resultate.

Statt das durchgehende Licht zu betrachten, kann man auch das in der Richtung SO eintretende und nach OV total reflektierte untersuchen, man hat dann ein Totalrefraktometer¹⁾.

Apparat (Fig. 163, a. f. S.).

An dem Fernrohre OJ , in welchem bei F zwei Fadenkreuze ausgespannt sind, ist durch die Hülse T der Kompensator D befestigt, der die bei der Totalreflexion auftretende Farbenzerstreuung aufhebt und mißt. Derselbe besteht aus zwei gleichen Prismensätzen mit gerader Durchsicht (vgl. bei Spektralanalyse), die durch die Schraube t in entgegengesetzter Richtung gedreht werden können: für die an der auf D angebrachten Skala c abgelesene Stellung T gibt eine dem Instrumente beigegebene Tafel die Dispersion \mathcal{A} , d. h. die Differenz der Brechungsindizes zwischen zwei angegebenen Linien des Sonnenspektrums. Das Fernrohr ist an dem Sektor A befestigt, der durch die Schraube K in einer solchen Stellung zu dem dem Fenster zugekehrten Spiegel g festgestellt wird, daß das Gesichtsfeld gleichmäßig hell erscheint.

Vor dem Fernrohre wird das Glasparallelepiped C Fig. 163 (vgl. auch Fig. 162), mittels eines Bajonettverschlusses befestigt und dadurch

¹⁾ Die Wirkungsweise der einzelnen Teile ist im Sohnckeschen Universalrefraktometer direkt verfolgbar.

mit der Alhidade *B*, die oben einen Index trägt, fest verbunden. An der auf *A* angebrachten Teilung werden die Brechungsindizes für das mittlere Gelb unmittelbar abgelesen.

I. Flüssigkeiten.

Übung. 1. Das Instrument wird gedreht, bis es fast horizontal liegt, und das bewegliche Stück des Doppelprismas durch Niederdrücken einer Feder entfernt.

2. Die Prismenflächen werden gereinigt, zwischen dieselben an den senkrecht zur Ebene der Zeichnung stehenden Kanten kurze Streifen

Fig. 162.

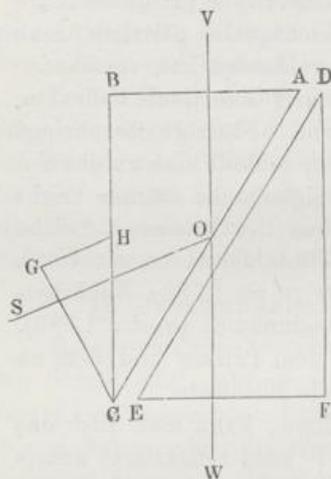
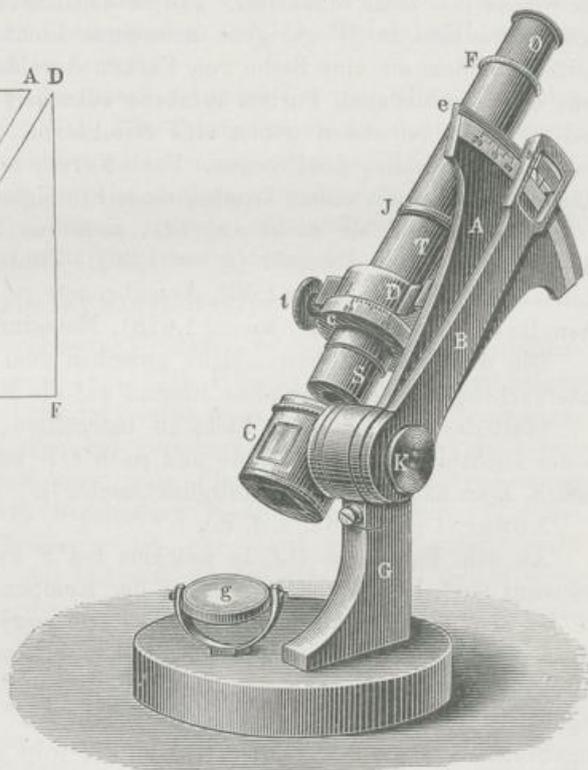


Fig. 163.



von dünnem Papier gelegt; auf die Fläche des festen Prismas wird ein Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit gebracht.

3. Das bewegliche Prisma wird eingesetzt, das Fernrohr herumgedreht und die Alhidade an den Anfang der Teilung gebracht; das Instrument und der Spiegel *g* werden so gestellt, daß das Gesichtsfeld gleichmäßig erleuchtet ist.

4. Man bewegt die Alhidade aufwärts, bis die untere Hälfte des Gesichtsfeldes dunkel erscheint; dieselbe ist von dem oberen hellen Teile des Gesichtsfeldes durch einen farbigen Saum getrennt.

5. Durch Drehen an der Schraube t verwandelt man die Grenze zwischen Hell und Dunkel in eine möglichst farblose Linie.

6. Man stellt durch Drehen an der Alhidade die Grenzlinie auf die Durchschnittspunkte der Fäden und liest die Stellung der Alhidade (A_1) und der Trommel $D(T_1)$ ab.

7. Man dreht an dem Triebkopfe t so lange, bis die Grenzlinie zum zweiten Male farbenrein erscheint, stellt mit der Alhidade abermals ein und liest zum zweiten Male ab: A_2 und T_2 .

Zur Berechnung dient eine dem Instrumente beigegebene Tafel.

Beispiele: Destilliertes Wasser, Alkohol, Monobromnaphthalin.

II. Brechungsindex von festen Körpern.

Übung. 1. Das Fernrohr wird umgelegt, das bewegliche Prisma abgenommen und ein Tropfen einer Flüssigkeit, die stärker als der zu untersuchende Körper bricht, z. B. Cassiaöl, auf das feste Prisma gebracht.

2. Der Körper wird mit einer ebenen, polierten Fläche auf das Prisma gelegt, das bewegliche Prisma wieder aufgesetzt und durch einen Drahtbügel auf demselben festgehalten. Das Fernrohr wird wieder herumgedreht und weiter wie unter I. verfahren.

Beispiel: Flußspat: Brechungsindex gegen Luft $n_{12} = 1,4331$.

3. Totalreflektometer nach Pulfrich.

Einleitung. Läßt man (Fig. 164) auf die eine Fläche I eines Prismas ein breites Strahlenbündel S_1 homogenen Lichtes streifend auffallen, so sieht man in einem Fernrohre in der Richtung S das an der Fläche II austretende Bündel S auf der einen Seite scharf abgeschnitten (Fig. 166): Die Grenzstrahlen entsprechen den auf I gerade streifend auftreffenden Strahlen. Ihr Austrittswinkel an der Fläche I ist gleich dem Grenzwinkel der totalen Reflexion.

Ist δ der Austrittswinkel für die Grenzstrahlen an der Fläche II, φ der brechende Winkel, so ist:

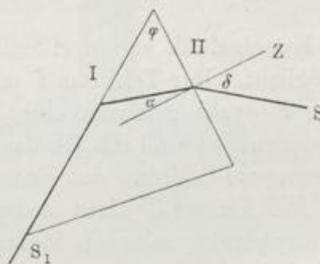
$$\sqrt{N^2 - 1} = \frac{\cos \varphi + \sin \delta}{\sin \varphi}.$$

Denn es ist $N = \sin \delta / \sin \alpha$ und an Fläche I $N = 1 / \sin (\varphi - \alpha)$. Man eliminiert α .

Grenzt die Fläche I nicht an Luft, sondern an eine beliebige Substanz vom Brechungsindex n , so ist

$$n = \sin \varphi \sqrt{N^2 - \sin^2 \delta} - \cos \varphi \sin \delta.$$

Fig. 164.



Ist $\varphi = 90^\circ$, so wird

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \delta}.$$

Statt eines dreiseitigen Prismas verwendet man zweckmäßiger einen Würfel, auf dessen Oberfläche man die zu untersuchende Substanz legt. Flüssigkeiten bringt man in einen auf die horizontale Fläche aufge kitteten Trog. Den Gang der von links kommenden Strahlen und das Bild, welches das Auge direkt bzw. im Fernrohre sieht, geben die Fig. 165 und 166.

Apparat. Er ist im wesentlichen ein kleines Spektrometer ohne Kollimatorrohr, dessen Drehungsachse horizontal gestellt ist (Fig. 167).

Auf den rechtwinkligen Würfel P ist ein Glasrohr G gekittet, das zur Aufnahme der zu untersuchenden Körper dient. In Flüssigkeiten wird ein Thermometer t eingesetzt. P wird von einem besonders

konstruierten, auf der Fußplatte des Instrumentes befestigten Trä-

Fig. 165.

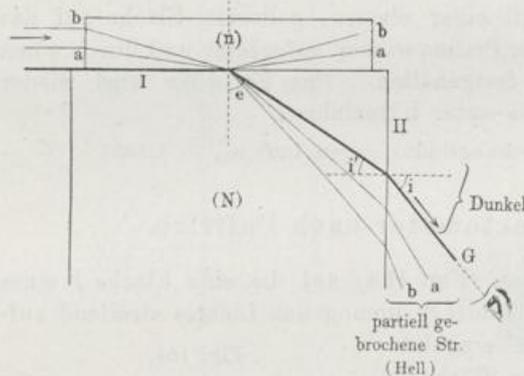
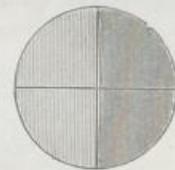


Fig. 166.



ger in seiner Stellung ein für allemal festgehalten. Die Justierung wird durch eine Art

von Kugelgelenk und drei Stellschrauben unter dem Halter des Würfels ermöglicht. Der Teilkreis T mit dem auf Unendlich eingestellten Fernrohre F dreht sich um eine horizontale Achse A . Das Fernrohr ist gebrochen, so daß die Okularachse O stets horizontal bleibt und jede gezwungene Stellung des Beobachters vermieden ist.

Die Linse L dient dazu, das von der Lichtquelle kommende Strahlenbündel schwach konvergent zu machen. Der Würfel wird so justiert, daß die Achse des Fernrohres bei der Nullstellung desselben der Normalen auf der Würfelfläche II parallel ist. Man stellt mittels Stell- und Mikrometerschraube das Fadenkreuz genau auf die Trennungslinie des Gesichtsfeldes ein und liest den entsprechenden Winkel δ ab.

Übung 1. Justierung des Würfels. 1. Man stellt das Fernrohr auf den Teilstrich 0 des Teilkreises fest ein, setzt vor das Okular des Fernrohres 45° gegen die Achse geneigt ein Glasplättchen (Gaußsches Okular) und verstellt den Würfel P so lange, bis der Horizontalfaden mit seinem Spiegelbilde in der vertikalen Fläche sich deckt.

2. Man dreht das Fernrohr um 90° und verfährt mit der horizontalen Fläche des Würfels ebenso, möglichst ohne an der Einstellung der vertikalen Fläche etwas zu ändern. Man wiederholt das Verfahren, bis bei beiden Lagen eine Deckung des Fadens mit seinem Spiegelbilde stattfindet.

Stellt man dann das Fernrohr auf irgend einen Strahl nach seinem Austritte an der Fläche II ein, so erhält man direkt die Winkel δ .

Übung 2. Bestimmung der Konstanten N des Würfels.

1. Man füllt den Glastrog G mit destilliertem Wasser, stellt in dasselbe ein Thermometer und beleuchtet mit Nalicht.

2. Man stellt das Fadenkreuz des Fernrohres auf die Grenze zwischen Hell und Dunkel und liest den Winkel δ ab.

3. Man berechnet die Größe N nach der Formel

$$N = \sqrt{n^2 + \sin^2 \delta}$$

indem man den Brechungsindex n des Wassers aus Tabelle 18 entnimmt.

Übung 3. Bestimmung des Brechungsindex von Flüssigkeiten. Man verfährt wie bei Übung 2 und berechnet mit dem dort gefundenen N die Werte von n .

Übung 4. Bestimmung des Brechungsindex von festen Körpern, etwa Quarz. Man gießt in den Trog G Wasser und legt in dieses ein auf der unteren Fläche und einer Seite eben geschliffenes Stück des zu untersuchenden Körpers und bestimmt für denselben den Winkel δ , daraus erhält man dann n . (Der Einfluß der dünnen planparallelen Schicht der Flüssigkeit zwischen dem Prisma und dem festen Körper fällt bei der Berechnung heraus [S. 269].)

Fig. 167.

