

pflanzt sich homogenes Licht um seine Wellenlänge fort, λ , als Maß der Lichtgeschwindigkeit, wechselt mithin auch für dieselbe Farbe, in den verschiedenen Medien, bei anisotropen Stoffen (S. 118) zudem mit der Richtung in letzteren. Zur Kennzeichnung einer Lichtsorte gibt man somit die Schwingungszahl oder üblicher die Wellenlänge in einem bestimmten Medium (Luft) oder im leeren Raume an.

Die Gesamtheit der Orte, zu denen von einem Punkte nach allen Richtungen ausgehende Lichtstrahlen in einer Zeiteinheit gekommen sind, heißt Strahlenfläche. Bei Gleichheit aller Richtungen ist letztere eine Kugel, sonst eine verwickeltere Oberflächenfigur. In Fig. 357 gibt SS' die Fortpflanzung eines Lichtstrahls OSS' in bestimmter Zeit wieder und WWW' die gleichzeitige Verschiebung NN' einer Tangentialebene an die Strahlenfläche in Richtung der zur Tangentialebene lotrechten Wellennormalen ONN' . Wo im folgenden von Lichtfortpflanzung ohne weiteren Vermerk die Rede ist, handelt es sich stets um Wellennormalen.

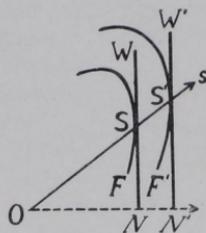


Fig. 357. Lichtstrahlen und Wellennormalen.

2. Brechung.

Es seien zunächst nur die einfach brechenden Körper (amorphe Substanzen und isometrische Kristalle) in Betracht gezogen.

Dringt eine Lichtbewegung aus einem isotropen in ein anderes isotropes Medium, wie z. B. aus Luft in Glas, so besteht zwischen dem Einfallswinkel e und dem Brechungswinkel i der Wellennormale (Fig. 358) das konstante Verhältnis¹⁾ $\sin e / \sin i = n$.

Die Größe n (der Brechungsindex = Brechungsquotient gegen Luft) ist kennzeichnend für die betreffende Substanz und, da sie leicht zu bestimmen ist, auch praktisch gut verwertbar bei der Beschreibung und Wiedererkennung eines Körpers.

n wechselt mit der Lichtsorte. Für violettes Licht ist der Brechungsindex meist größer als für rotes (Dispersion der Brechung $n_v > n_r$). Hat man n für zwei Wellenlängen bestimmt, so kann man für sonstige Farben oft die Cauchysche Annäherungsformel $n = A + B/\lambda^2 + \dots$ gebrauchen, deren Konstanten A und B man aus zwei bekannten Größen für n herleitet.

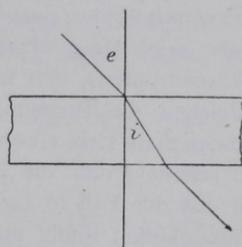


Fig. 358. Brechung.

¹⁾ Für den allgemeinen Fall anisotroper Medien ist die sinus-Beziehung nicht gültig.

Anomale Erscheinungen zeigen Körper mit kräftigen Absorptionsstreifen im Spektrum. In der Nähe eines solchen Streifens a steigt der Brechungsindex (vom Rot aus gerechnet) stark an, um alsbald wieder zu fallen oder ganz auszusetzen und dann wieder zu steigen (Fig. 359).

Beim Erhitzen bewirkt die Volumvergrößerung eine Abnahme von n ; doch kann eine zunehmende Absorption im entgegengesetzten Sinne wirken, so daß dann insgesamt eine Zunahme von n statthat.

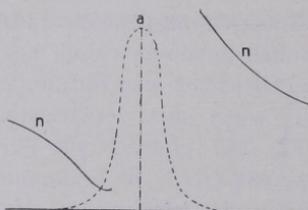


Fig. 359. Brechung und Absorption.

a) Das Mikroskop als Refraktometer.

Bei den zu erörternden Methoden kommt es wesentlich auf die Beobachtung von Gegensätzen zweier gleichzeitig im Mikroskop sichtbarer Körper an. Um diese Unterschiede möglichst stark herauszutreten zu lassen, ist die Beleuchtung durch einen weiten Lichtkegel, also grelles Licht, zu vermeiden. Man schnürt es durch eine Blende oder durch Senken des Kondensors ein.

Umhüllungsmethode. Taucht man einen farblosen Körper mit dem Brechungsindex n in eine farblose Flüssigkeit mit gleichem n , so verschwindet der Umriß des eingetauchten Gegenstandes. Man sieht seine Umrandung nicht, gerade wie man die Konturen eines Wassertropfens, den man in Wasser fallen läßt, nicht mehr erkennt. Weichen die Brechungsindizes der beiden Körper voneinander ab, taucht man z. B. einen Quarzkristall ($n = 1,54$) in Wasser ($n = 1,33$), so erkennt man die Umgrenzung der festen Substanz; noch besser ist das der Fall in Luft ($n = 1$). Durch Probieren einer Anzahl von Flüssigkeiten findet man eine, deren n mit dem des zu untersuchenden Körpers wenigstens nahezu übereinstimmt, so daß seine Umrisse bei der Betrachtung unter dem Mikroskop sehr zart werden. Vom bekannten n der Flüssigkeit schließt man dann auf den Brechungsgrad des zu untersuchenden Körpers. Wegen der verschiedenen Dispersion der Probe und der Flüssigkeit ist strenge Übereinstimmung nur für monochromatisches Licht möglich; man beobachtet also am besten in solchem.

In folgender Tabelle sind die Brechungsindizes einer Anzahl von Flüssigkeiten angegeben (Temperatur 15°).

<i>n</i> für <i>Na</i> -Licht		<i>n</i> für <i>Na</i> -Licht	
Methylalkohol	1,33	Kreosot.	1,54
Wasser.	1,33	Anisöl	1,55
Äthylalkohol	1,36	Anilin	1,58
Hexan	1,39	Bittermandelöl	1,60
Amylalkohol	1,40	Schwefelkohlenstoff	1,63
Chloroform	1,45	Monobromnaphthalin	1,66
Glyzerin	1,47	1 Vol. Monobromnaphtha-	
Olivenöl	1,47	lin und 1 Vol. Methylen-	
Rizinusöl	1,48	jodid	1,70
Benzol	1,50	Kaliumquecksilberjodid,	
Zedernöl	1,51	konz. Lösung	1,73
Monochlorbenzol	1,52	Methylenjodid	1,74
Nelkenöl	1,54		

Man kann bei den in Rede stehenden Versuchen auch so verfahren, daß man einer Flüssigkeit mit bekanntem Brechungsverhältnis *n* (z. B. Wasser) so lange eine andere Flüssigkeit mit Brechungsexponent *n'* (z. B. Kaliumquecksilberjodidlösung) zusetzt, bis der zu untersuchende Körper möglichst wenig sichtbar ist. Es berechnet sich dann der Brechungsindex *n''* der Mischung nach $n v + n' v' = n'' v''$, wo *v*, *v'*, *v''* die betreffenden Volumina bezeichnen.

K. Spangenberg fand besonders praktisch: Methylenjodid mit Bromoform (Bereich 1,742—1,589); Monobromnaphthalin + Chinolin (Bereich 1,658—1,624); Chinolin + Diäthylanilin (Bereich 1,624—1,542); Chinolin + Glyzerin (Bereich 1,624—1,47).

Auch hat man Tabellen aufgestellt, die den Brechungsindex aus dem spezifischen Gewicht einer Flüssigkeitsmischung erschließen lassen. Bezüglich wäßriger Kaliumquecksilberjodidlösung liegen diese Verhältnisse wie folgt:

Spez. Gew.	<i>n</i>	Spez. Gew.	<i>n</i>	Spez. Gew.	<i>n</i>
3,2	1,73	2,5	1,60	1,9	1,49
3,0	1,70	2,4	1,58	1,8	1,47
2,9	1,68	2,3	1,57	1,7	1,46
2,8	1,66	2,2	1,55	1,6	1,44
2,7	1,64	2,1	1,53	1,5	1,42
2,6	1,62	2,0	1,51		

Eine Westphalsche Wage gestattet eine schnelle Bestimmung des spezifischen Gewichts nach der Schwebemethode.

Am meisten zu empfehlen ist die Benutzung eines Flüssigkeitsrefraktometers oder eines Pulfrichschen Kristallrefraktometers; es ist sehr bequem, nach Auffindung der passenden Flüssigkeit. F. Rinne, Krist. Formenlehre u. Anleitung z. kristall.-opt. sowie röntgen. Untersuchung. 8

keit ihren Brechungsindex mit einem derartigen Apparat zu bestimmen, wie denn auch sonst stets eine Kontrolle der zu verwendenden Flüssigkeiten mit dem Refraktometer anzuraten ist.

Bemerkung. Zu beachten ist, daß die Wärme den Brechungsindex von Flüssigkeiten nicht unwesentlich beeinflußt. Nach dem Vorschlag von R. Nacken kann man diesen Wechsel zur genauen Einstellung auf Übereinstimmung der Brechungsquotienten einer Probe und einer sie umgebenden Flüssigkeit ausnutzen, falls deren Brechung für wechselnde Wärmegrade bekannt ist. Man stellt auf Gleichheit beim Abkühlen ein und mißt die Temperatur.

Außer der Beobachtung des Randes zwischen Probe und Flüssigkeit kann man, im Falle blättchenförmige Körper vorliegen (wie im

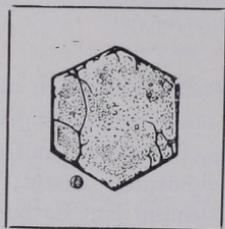


Fig. 360. n der Probe Δ als n' der Umgebung.

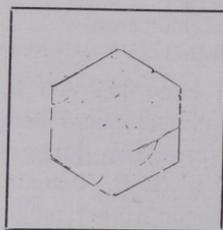


Fig. 361. n der Probe annähernd = n' der Umgebung.



Fig. 362. Gaseinschlüsse.

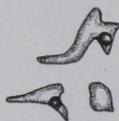


Fig. 363. Flüssigkeitseinschlüsse, zwei mit Libelle.

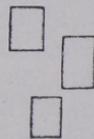


Fig. 364. Glaseinschlüsse.

Dünnschliff), auch das Aussehen der Oberfläche (das Relief) in Betracht ziehen. Bei einer Differenz der Brechung von Präparat und Hüllmasse (im Dünnschliff Kanadabalsam mit $n = 1,54$) sieht man bei starker Vergrößerung die wohl immer etwas raue Oberfläche der Probe. Stimmen die beiden Brechungen überein, so gewahrt man die runzelige Oberfläche nicht; man sieht glatt hindurch. Fig. 360/61.

Bemerkung. Anwendung auf Einschlüsse. Fig. 362/64. Der starke Gegensatz der Brechung tritt bei Einschlüssen von Gasen in festen Körpern oder Flüssigkeiten durch kräftigen Totalreflexionsrand heraus; es ist letzterer im Verhältnis dazu schmaler bei Einschlüssen von Flüssigkeiten in festen Körpern und noch mehr bei solchen von Fest (z. B. Glas) in Fest.

Feinerer Ausbau der Umhüllungsmethoden.

1. Beckesche Linie. Stoßen zwei Medien verschiedener Brechbarkeit mit etwa senkrechter Grenzfläche aneinander, so beobachtet man unter dem Mikroskop nach der scharfen Einstellung dieser Grenze beim Heben des Tubus mittels der Mikrometerschraube einen hellen Lichtstreifen, der von der Grenzlinie nach dem stärker brechenden Medium wandert. Hierdurch ist ein wertvolles Mittel zur Entscheidung gegeben, welches der beiden aneinanderstoßenden Medien das stärker brechende ist, was zu bestimmen bei der oben geschilderten einfachen Umhüllungsmethode nicht möglich ist (Beispiele Olivin [$n = c. 1,67$] und andererseits Flußpat [$n = c. 1,48$] in Kanadabalsam [$n = c. 1,54$]). Fig. 365/66.

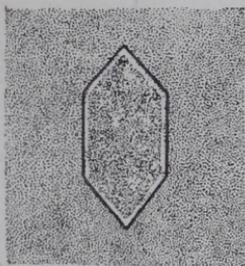


Fig. 365. Beckesche Linie. n der Probe $> n'$ der Umgebung.

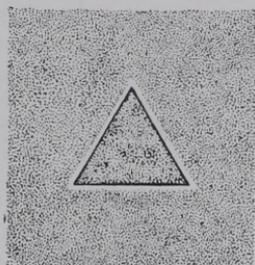


Fig. 366. Beckesche Linie. n der Probe $< n'$ der Umgebung.

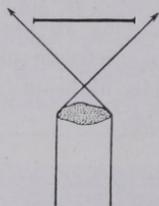
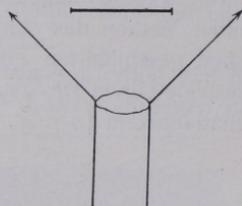
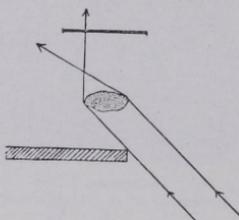
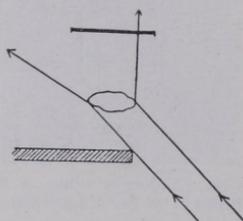
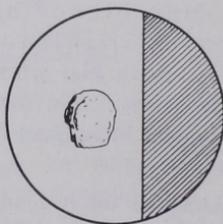
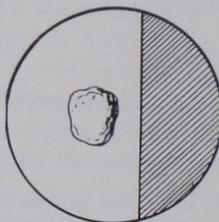
Die Deutlichkeit der Beckeschen Linie nimmt zu, wenn das Licht des Beleuchtungskegels eingengt wird. Man blende also die ganz schrägen Strahlen durch eine Irisblende oder durch Senken des Kondensors ab. Auch hier wird erst die Untersuchung in monochromatischem Licht genau. Ein starkes Objektiv ist von Vorteil. Das n der passenden Flüssigkeit bestimmt man am ehesten mit einem Refraktometer.

Die Erklärung der im Grunde recht verwickelten, mit Beugungseffekten verknüpften Erscheinung¹⁾ beruht im großen ganzen darauf, daß alle Lichtstrahlen aus dem schwächer brechenden Medium in das stärker brechende übergehen, nicht aber umgekehrt. Unter flachem Winkel auf die Grenzfläche treffende Strahlen werden im stärker brechenden Medium total reflektiert. An der Grenze beider Substanzen ist also der Grenzteil an der Seite der mit höherem Brechungsindex in bezug auf Lichtmenge begünstigt, also heller als der Grenzteil im Medium mit kleinerem n .

¹⁾ Ausführliche Erläuterung der Umhüllungsmethoden durch K. Spangenberg, Fortschr. d. Mineralogie, Bd. 7, 1920.

2. Methode von Schroeder van der Kolk.

Der oft keilförmige Rand von pulverigen Teilchen wirkt ähnlich wie eine Linse, und zwar bei Einbettung in eine Flüssigkeit mit einem niedrigeren Brechungsgrad, als ihn die Probe hat, wie in Fig. 367; im umgekehrten Falle gilt Fig. 368. In beiden Fällen fängt ein schwaches (in den Fig. 367/68 durch den Strich angedeutetes) Objektiv die Randstrahlen der Probe nicht mehr auf; sie erscheint dunkel umrahmt. Läßt man das Licht schräg einfallen, so hat man die Erscheinung wie in Fig. 369 und 370, d. h. der rechte oder linke Rand der Probe ist dunkel, der andere hell.

Fig. 367. n der Probe $>$ n' der Umgebung.Fig. 368. n der Probe $<$ n' der Umgebung.Fig. 369. n der Probe $>$ n' der Umgebung.Fig. 370. n der Probe $<$ n' der Umgebung.Fig. 371. n der Probe $>$ n' der Umgebung.Fig. 372. n der Probe $<$ n' der Umgebung.

Methode: Man benutzt paralleles, gerade auffallendes monochromatisches Licht (Kondensor senken oder Irisblende einschnüren und schwache Vergrößerung). Weichen n der Probe und n' der Flüssigkeit ab, so hat erstere dunklen Rand. Durch Einschieben eines dunklen Blättchens als Lichtschirm über den wieder gehobenen Kondensor bis zu dessen Mitte stellt man schräge Beleuchtung her. Regel: heller Rand im mikroskopischen Bilde, in welchem man auch den Schirm sieht, auf der Schirmseite: $n > n'$; dunkler Rand auf der Schirmseite $n < n'$ (Fig. 371/72).

Für den Fall naher Übereinstimmung von n und n' erscheint die Probe im schrägen Tageslicht an einer Seite rot, an der anderen Seite blau umrandet. Es beruht das darauf, daß die Brechungsexponenten von Präparat und Umhüllung streng genommen nur für eine Lichtsorte gleich werden können. Ist dies für mittleres Licht der Fall, so ist es das nicht für Rot und für Blau als extreme Lichtarten. Für sie müssen dann die Erscheinungen entgegengesetzt ausfallen, d. h. der eine Rand ist hell für Blau und dunkel für Rot (also erscheint er blau), der andere umgekehrt. Beispiel: Schwerspatpulver ($n = c. 1,64$) in einer Mischung von Methylenjodid ($n = c. 1,74$) und Benzol ($n = c. 1,50$). Bei reichlich Benzol ist n' der Flüssigkeit $< n$ des Schwerspats; durch Verdunsten des Benzols kommt es zur Gleichheit von n und n' für mittleres Licht. Schließlich kehrt sich gegenüber dem Anfang die Erscheinung um, wenn durch weiteres Verdunsten von Benzol $n' > n$ geworden ist.

3. Methode der farbigen Ränder.

Bei festen Stoffen ist die Dispersion der Brechung im allgemeinen weit geringer als für Flüssigkeiten. Benutzt man also unter Anwendung von Pulver eine einhüllende Flüssigkeit mit starker Dispersion, so ist ein ungefähres Zusammenfallen von n der Probe und n' der Flüssigkeit nur für gewisse Lichtsorten möglich. Die Teilchenränder erscheinen farbig, eventuell schwarz, Verhältnisse, die zur Materialerkennung benutzt werden können (Beispiele: Salze in Kreosot).

b) Bestimmung mittels des Pulfrichschen Refraktometers.

Die mit einer ganz glatten Fläche versehene Probe wird unter Benezung der Auflageseite durch eine Flüssigkeit (z. B. Monobromnaphthalin), deren Brechungsindex größer als der des Kristalls ist, auf eine Glashalbkugel mit starker Brechung gelegt. Man beleuchtet streifend (parallel der ebenen Fläche der Halbkugel) oder von unten durch entsprechende Spiegelstellung und liest den Winkel der Totalreflexion α ab. Bei streifendem Einfall ist die Grenze der Totalreflexion am besten ausgeprägt. Die Möglichkeit, in der Art zu beobachten, hängt von der seitlichen Beschaffenheit des Probekörpers ab. Vorquellende Flüssigkeit ist abzutupfen.

Es gilt die Formel: das gesuchte $n = n' \sin \alpha$, wo n' der Brechungsindex der Halbkugel und α der Totalreflexionswinkel ist. n' bestimmt man durch einen Körper bekannter Brechung, z. B. mittelst auf die Halbkugel gebrachten destillierten Wassers; bei ihm ist $n_{Na}(20^\circ) = 1,33381$.

c) Bestimmung der Brechung mittels Prismas.

Ein Reflexionsgoniometer gestattet die Ablenkung zu messen, die das Licht durch ein Prisma erfährt. Man stellt zunächst Kollimator und Beobachtungsfernrohr genau gegenüber, sucht dann mit leßterem das

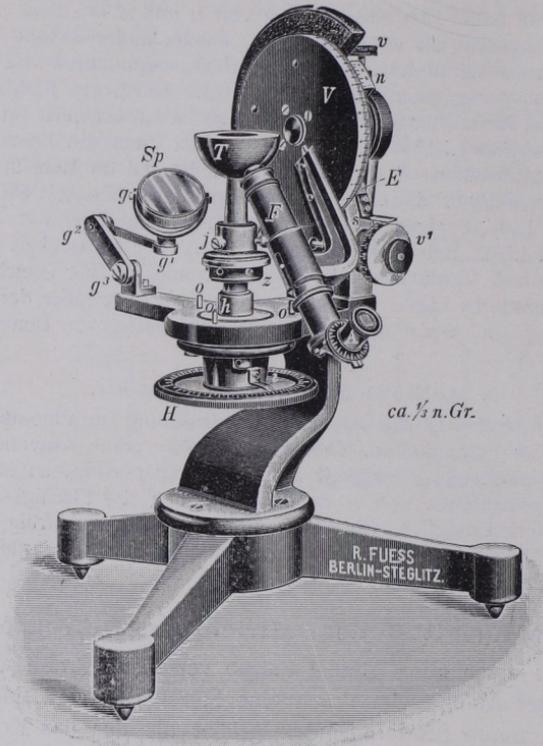


Fig. 373. Refraktometer nach Pulfrich. *T* Glashalbkugel, *F* Fernrohr zum Ablesen der Totalreflexionsgrenze mittels Teilkreises *V*, *Sp* Beleuchtungsspiegel, *H* Teilkreis für die Drehung der Platte in ihrer Ebene.

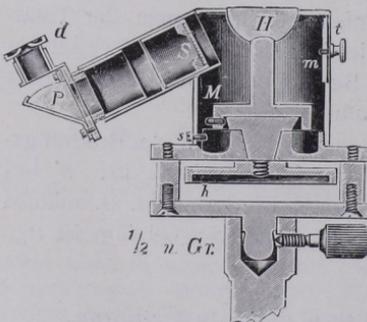


Fig. 374. Kleines Refraktometer. *H* Glashalbkugel, *S* Skala zum Ablesen der Brechungsquotienten, *h* Scheibe zum Drehen der Platte in ihrer Ebene, *M* Mantel mit Schlitze *l* für von unten einfallendes Licht, *m* Drehteil zum Verschließen von *l*.

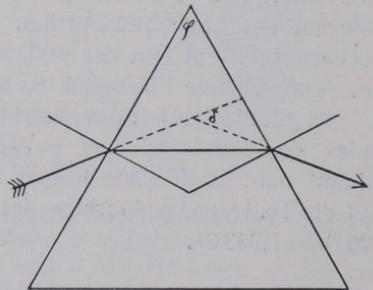


Fig. 375. Minimalablenkung des Lichtes in einem Prisma. φ Prismenwinkel, δ Winkel der Minimalablenkung, Strahlengang symmetrisch.

Signal in der Minimalablenkungsstellung auf (kennlich am Rücklauf des Signalbildes beim Drehen des Prismas über diese Stellung hinaus) und mißt außer δ den Winkel φ (Fig. 375). Man erhält n aus $n = \sin \frac{\varphi + \delta}{2} : \sin \frac{\varphi}{2}$. Genaue Ergebnisse erfordern vollkommen ebene Prismenflächen, wie man sie mit dem Wüllingschen Schleifapparat erzielt. Um die Dispersion der Brechung festzustellen, ver-

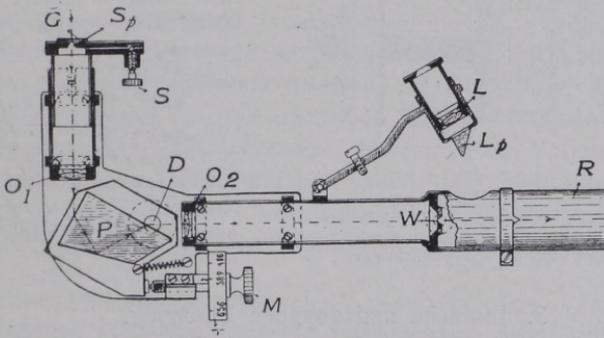


Fig. 376. Kleiner Monochromator für Goniometer. R Einsteckrohr für den Kollimator des Goniometers (besser ist ein Trägerarm), W Austrittspalt, L Einstellleupe, P Prisma mit Einstellvorrichtung M , S_p Eintrittspalt.

wendet man verschiedene Sorten monochromatischen Lichtes. Ein lichtstarker Monochromator für das Goniometer ist in Fig. 376 abgebildet.

Die Brechungsindizes von Flüssigkeiten bestimmt man mittels des erwähnten Pulfrichschen bzw. eines anderen Refraktometers oder mittels eines Hohlprismas aus Glas, in welches man die Flüssigkeit bringt.

Die Veränderung der Brechungsindizes mit der Temperatur beobachtet man vermittels am Goniometer anzubringender Erhitzungs- und Abkühlungsapparate. Am besten ist für Erwärmungen (bis 800°) elektrische Heizung. In Fig. 377 ist ein vom Verfasser erprobter Apparat im schematischen Querschnitt dargestellt.

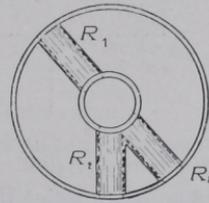


Fig. 377. Querschnitt einer Erhitzungsvorrichtung für Goniometer.

Er besteht aus einem zentralen Rohr mit innerer oder äußerer Heizspirale aus Platin oder Nickel und einem weiten Mantel. In horizontaler Richtung verlaufen drei Rohre, die als Eingang für das Licht (R_1), zur Ein-

stellung der Minimalablenkung (R_2) und zum Gegenüberstellen von Kollimator und Beobachtungsfernrohr dienen (R_3). Die Prismen werden so geschliffen, daß sie eine Minimalablenkung von 40° ergeben, entsprechend dem festen Winkel von R_2 und R_3 . Der Abkühlungs-

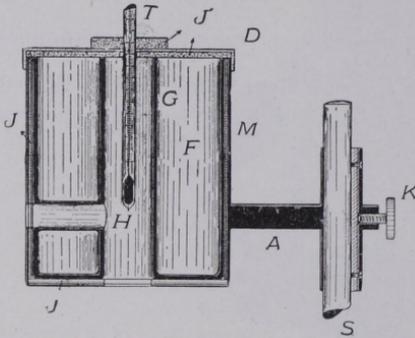


Fig. 378. Abkühlvorrichtung für Goniometer.
S K Ansatzstück, *M* Messinggefäß, *J* Isolierschicht,
G Metallrohr mit horizontalen Rohren *K* wie in Fig. 377,
F Füllraum für Kältemischung.

Der Abkühlungsapparat (Fig. 378) zeigt ein Innenrohr, umgeben von einem Gefäß zur Aufnahme von Kältemitteln (Eis, feste Kohlensäure, flüssige Luft, flüssiger Sauerstoff). Im übrigen ist er dem Erhitzungsapparat ähnlich.

Nach dem Vorschlage von V. M. Goldschmidt umgibt man den unteren Teil des Apparates mit einem Blecheimer oder Dewarschen Gefäß, um auch hier zu kühlen.

3. Einfache und doppelte Brechung.

In optischer Hinsicht zerfallen die Substanzen in zwei Gruppen.

1. optisch isotrope = einfachbrechende: amorphe Körper und isometrische Kristalle;
2. optisch anisotrope = doppelbrechende: trigonale, tetragonale, hexagonale, rhombische, monokline, trikline Kristalle.

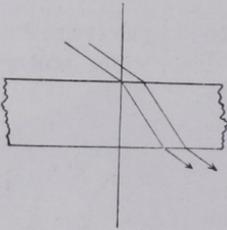


Fig. 379a. Einfache Brechung.

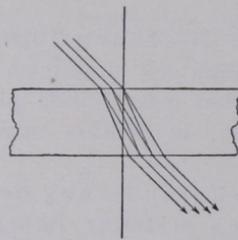


Fig. 379b. Doppelte Brechung.

Fig. 379a zeigt den Fall der einfachen, Fig. 379b den Fall der doppelten Brechung.

Bei dem einfachbrechenden Körper (Fig. 379a) sendet jeder Punkt der Unterseite nur einen Lichtstrahl aus. Fig. 379b läßt erkennen, daß jeder Punkt der Unterfläche des doppelbrechenden Körpers, durch den Licht geschickt ist, zwei Lichtbewegungen in derselben Richtung entläßt.