

während der Bestrahlung an, so heißt er Fluoreszenz¹, während das Nachleuchten Phosphoreszenz genannt wird. Ein phosphoreszierender Körper ist z. B. der Diamant [cf. § 106]. Daß es sich um eine Absorptionserscheinung hierbei handelt, geht daraus hervor, daß Strahlen, die durch einen fluoreszierenden Körper gegangen sind, nicht wieder Fluoreszenz erregen können. Die wirksamen Strahlen sind hier die mit großer Schwingungszahl, welche dadurch, daß sie ihre Bewegung teilweise an materielle Moleküle abgeben, eine Verminderung ihrer kinetischen Energie erfahren und dadurch in Strahlen von größerer Wellenlänge, aber kleinerer Schwingungszahl übergehen. Fluoreszierende Körper sind demnach ein Mittel, die sonst unsichtbaren ultravioletten Strahlen sichtbar zu machen.

E. Interferenz und Polarisation.

§ 135. **Fresnel's Spiegelversuch.** Eine Hauptstütze der Wellentheorie des Lichtes ist die Tatsache, daß unter Umständen Licht zu Licht gefügt, Dunkelheit ergibt. Dies zeigt sehr schön der berühmte Spiegelversuch von FRESNEL:

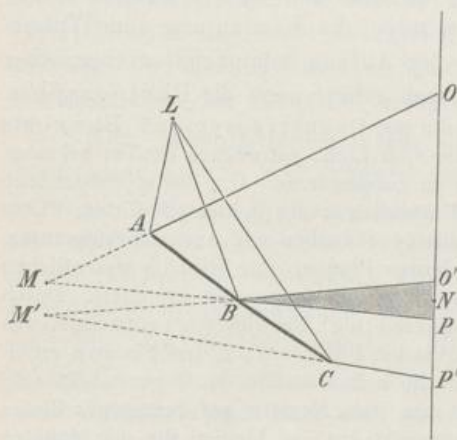


Fig. 87.

Fallen von der Lichtquelle L (Fig. 87) Strahlen auf die unter sehr stumpfem Winkel zusammenstoßenden Spiegel AB und BC , so scheinen die reflektierten Strahlen von den Bildpunkten M und M' zu kommen. Die davon ausgehenden Lichtkegel OMP und $O'M'P'$ haben nun das Stück $O'BP$ gemeinsam, und in diesem entstehen bei Anwendung von einfarbigem Lichte abwechselnd dunkle und helle Streifen, die auf einem Schirme aufgefangen werden können.

Diese dunklen Streifen sind der Ausdruck dafür, daß daselbst Wellen mit entgegengesetzten Phasen zusammentreffen. Da N , die Mitte von $O'P$, von M und M' gleichweit entfernt ist, muß dort Helligkeit herrschen, weil hier die Wellen gleiche Phasen haben. Bei Anwendung von rotem Licht sind die dunklen Streifen weiter voneinander entfernt als beim violetten Licht. Da nämlich die Wellenlänge

¹ Weil zuerst beim Fluorkalzium (Flußspat) entdeckt.

des ersteren größer ist, entsteht auch die zur Auslöschung nötige Phasendifferenz von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge erst nach einer längeren Strecke. Bei der Anwendung von weißem Lichte, das ja alle Strahlen in sich vereint, erhält man in N wieder eine weiße Stelle, da ja dort keine Phasendifferenz besteht. Seitlich davon werden zuerst die violetten Strahlen vernichtet, dann allmählich die anderen, entsprechend ihrer Wellenlänge. Die an den betreffenden Stellen übrig bleibenden Strahlen ergeben dann durch Mischung die sogenannten Interferenzfarben.

§ 136. **Andere Interferenzerscheinungen.** Auf Interferenz beruhen viele prächtige Farbenerscheinungen, z. B. die Farben dünner Blättchen. Hier wird nämlich das Licht sowohl an der vorderen, wie an der hinteren Fläche reflektiert (Fig. 88) und kommt dann zur Interferenz. Der Gangunterschied wird hier einmal dadurch bedingt, daß der an der Hinterfläche reflektierte Strahl einen längeren Weg, hier abc , zurücklegt, und ferner entsteht ja auch durch Reflexion an einem dichteren Medium ein Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge [cf. § 63]. Je nach der Dicke des Blättchens wird nun eine bestimmte Phasendifferenz eintreten; in homogenem Lichte wird es daher hell oder dunkel, in weißem in einer bestimmten Farbe erscheinen. Ändert sich die Dicke der betreffenden Schicht, so tritt auch ein Wechsel in der Helligkeit und Dunkelheit bzw. den Farben ein. Dies ist z. B. der Fall bei Seifenblasen und bei den sogenannten Newton'schen Ringen. Diese entstehen, wenn auf eine ebene Glasplatte eine schwach gekrümmte Konvexlinse gedrückt wird; dann stellt die Luft zwischen beiden eine dünne Schicht vor, deren Dicke gleichmäßig zunimmt. Es entstehen daher in homogenem Lichte helle und dunkle Ringe, in weißem farbige.

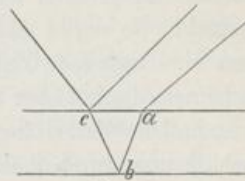


Fig. 88.

§ 137. **Beugung.** Mit Interferenz verbunden ist auch die Beugung oder Diffraktion des Lichts um den Rand undurchsichtiger Körper [vgl. § 62]. Es sei z. B. AB (Fig. 89) ein schmaler Spalt, durch den homogenes Licht auf den Schirm MN fällt, dann wird auf der AB gerade gegenüberliegenden Stelle C Helligkeit herrschen, da alle Elementarwellen dort in gleicher Phase ankommen (vorausgesetzt ist ein genügender Abstand zwischen AB und MN , so daß die Randstrahlen AC und BC als parallel gelten können). In allen anderen Punkten kommen die Strahlen mit einem Gangunterschied an. Beträgt derselbe z. B. in D für die Randstrahlen AD

und BD eine halbe Wellenlänge, dann müssen diese sich aufheben, die dazwischenliegenden Strahlen aber nicht; es wird daher auch in

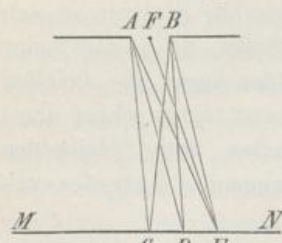


Fig. 89.

D Helligkeit herrschen, wenn auch geringere als in C . In E dagegen, wo die Randstrahlen AE und BE mit einer Wegdifferenz von einer ganzen Wellenlänge ankommen, muß Dunkelheit herrschen. Denn wenn F die Mitte von AB vorstellt, so heben sich die Strahlen AE und FE gegenseitig auf, und ebenso der Reihe nach die zwischen AF und FB liegenden Strahlen, da

immer für je zwei derselben ein Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge besteht. So ergibt sich, daß die Punkte des Schirms, deren Randstrahlen um eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen differieren, hell erscheinen, dunkel aber die, wo es sich um die Differenz einer geraden Zahl von halben Wellenlängen handelt. Sehr schöne Beugungerscheinungen erhält man durch mehrere nebeneinanderliegende Spalten, sog. Gitter; eine Art derselben wird z. B. hergestellt, indem mit einem Diamanten feine parallele Striche in Glas eingeritzt werden; hier wirken die geritzten, matt gewordenen Stellen wie undurchsichtige Schirme; die Stellen zwischen zwei Strichen entsprechen einem Spalt. An Stelle der hellen und dunklen Streifen erscheinen mit weißem Lichte natürlich wieder farbige (Beugungs- oder Gitterspektren). Die Streifen sind um so breiter und deutlicher, je größer die Wellenlänge der betreffenden Strahlen und je schmaler der Spalt ist. Auf der Beugung beruht es z. B., daß man durch angelaufene Fensterscheiben Flammen mit farbigen Ringen sieht, daß Spinnfäden schillern etc.

§ 138. **Begriff der Polarisation.** Polarität wird die Eigenschaft genannt, daß zwei Enden eines Körpers, die Pole (man

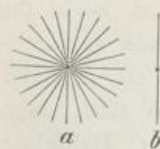


Fig. 90.

denke z. B. an einen Magneten), besondere Eigenschaften gegenüber den anderen Seiten haben.

Nach der üblichen Anschauung pflanzt sich nun das Licht durch transversale Ätherschwingungen fort und zwar so, daß die Ätherteilchen in allen möglichen Ebenen — immer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung — pendeln. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl würde also auf dem Durchschnitt etwa

wie Fig. 90a aussehen. Demgegenüber schwingen beim geradlinig polarisierten Lichte (Fig. 90b) alle Ätherteilchen nur in einer Ebene, ebenfalls senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung;

dieselbe heißt Schwingungsebene, die zu ihr senkrechte Polarisationssebene.¹⁾

§ 139. **Doppelbrechung.** Die Kristalle aller Systeme, mit Ausnahme des regulären, sind anisotrop, d. h. sie haben in verschiedenen, und zwar besonders in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften (Dichte, Elastizität, Wärmeleitungsvermögen etc.). So ist auch in diesen beiden Richtungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts verschieden groß, und dadurch ist eine Doppelbrechung bedingt, d. h. ein auffallender Strahl teilt sich im Kristall in zwei Strahlen, die Gegenstände werden daher doppelt gesehen. Der eine von beiden Strahlen folgt dem SNELLIUS'schen Gesetze [§ 115] und heißt daher der ordinäre, während dies beim extraordinären nicht der Fall ist; beide sind zueinander senkrecht polarisiert. Alle doppelbrechenden Kristalle haben nun eine oder zwei Symmetrieachsen; in den senkrecht durch diese gelegten Ebenen sind die physikalischen Eigenschaften (also auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes) gleich, dagegen verschieden von denjenigen in der Richtung der Achsen selbst. Wenn sich also Licht in der Richtung dieser Achsen fortpflanzt, werden sich die Ätherteilchen des ordinären und extraordinären Strahles, die ja in dazu senkrechten Ebenen (und senkrecht zueinander) schwingen, nach dem eben Gesagten gleichschnell fortpflanzen; mit anderen Worten, es tritt dann keine Doppelbrechung ein. Diese Richtungen, auch optische Achsen genannt, fallen bei den optisch einachsigen Systemen, zu denen das quadratische und hexagonale gehört, mit der kristallographischen Hauptachse zusammen oder sind ihr parallel; bei den optisch zweiachsigen dagegen; wo die Verhältnisse überhaupt viel komplizierter sind, ist dies nicht der Fall. Jede Ebene nun, die durch einen Kristall so gelegt ist, daß die optische Achse in sie fällt, heißt Hauptschnitt. In Fig. 91, die einen Doppelspatrhomboëder

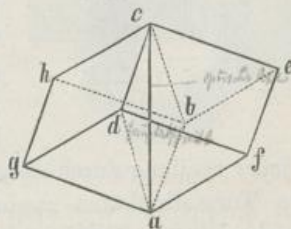


Fig. 91.

vorstellt, ist ac die optische Achse, $abcd$ ein Hauptschnitt. Während also in der Richtung der optischen Achse keine Doppelbrechung eintritt, muß dies in allen anderen Richtungen der Fall sein, weil eben dann die beiden Komponenten, in die das Licht zerlegt wird, un-

¹ Bisweilen wird auch die Schwingungsebene als Polarisationssebene bezeichnet und umgekehrt.

AB und CD Winkel von 68° (statt wie ursprünglich von 71°) bilden. $ABCD$ (Fig. 94) sei dann der neue Durchschnitt durch die Eckpunkte. Darauf wird der Kristall senkrecht auf diese Ebene AD und zugleich senkrecht auf die neuen Endflächen AC und BD durchsägt, so daß also zwei dreiseitige Prismen entstehen, und dann werden die Schnittflächen wieder in der alten Lage durch Kanadabalsam zusammengekittet.

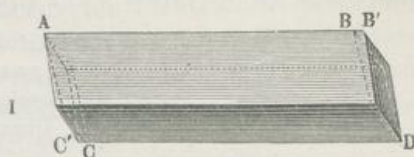


Fig. 93.

Trifft nun ein Lichtstrahl ab (Fig. 94) auf die rhombische Vorderfläche des Prismas, so wird er in zwei Strahlen zerlegt. Da der ordinäre Strahl bc sich im Doppelspat langsamer fortpflanzt als im Kanadabalsam, dieser mithin für ihn ein optisch dünneres Medium vorstellt, so



Fig. 94.

wird er bei genügend schrägem Auffall an der Balsamschicht total reflektiert und seitlich bei d durch die schwarze Einfassung des Prismas absorbiert. Der extraordinäre Strahl bc' dagegen, der im Kristall rascher verläuft als im Balsam, geht unbehindert durch diesen und verläßt das Prisma bei d' parallel mit seiner ursprünglichen Richtung. Ein Nicol läßt also nur Strahlen hindurch, die ebenso schwingen wie der extraordinäre Strahl, d. h. parallel dem Hauptschnitt oder, was dasselbe ist, parallel der kürzeren Diagonale seiner rhombischen Endflächen, wie Fig. 95 zeigt, die die Endfläche eines Nicols samt Fassung darstellt. PP ist die zur Schwingungsebene senkrechte Polarisationssebene. Ein Nicol kann natürlich ebenfalls sowohl als Polarisator wie als Analysator dienen.

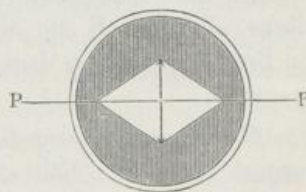


Fig. 95.

§ 141. Polarisation durch Reflexion und einfache Brechung.

Gewöhnliches Licht wird auch durch Reflexion, ausgenommen an Metallspiegeln, in linear polarisiertes umgewandelt (MALUS). Und zwar ist die Polarisationssebene des reflektierten Lichts identisch mit der Einfallsebene; die Schwingungen erfolgen also senkrecht zu dieser und parallel der Oberfläche des Spiegels. (Fig. 96.) Gewöhnlich findet hierbei nur eine teilweise Polarisation statt; nur

wenn der Einfallswinkel so groß ist, daß der reflektierte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht, ist alles reflektierte Licht polarisiert (Gesetz von BREWSTER).

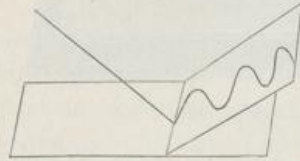


Fig. 96.

Die Größe dieses Polarisationswinkels hängt vom Brechungsindex ab. Dieser ist nämlich hier (Fig. 97) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. Nun ist $a = \gamma$ und $\beta + \gamma = R$. Also $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\cos \gamma} = \frac{\sin \alpha}{\cos a} = \operatorname{tg} a$. Bei vollständiger

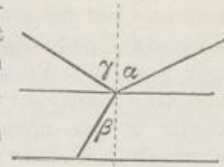


Fig. 97.

Polarisation ist also die Tangente des Einfallswinkels gleich dem Brechungsindex.

Auch das durch eine Glasplatte hindurchgegangene, also einfach gebrochene Licht ist teilweise polarisiert, und zwar steht bei der Brechung die Polarisationsebene senkrecht zu der Einfallsebene. Das so erhaltene polarisierte Licht ist aber wegen der Beimischung anderen Lichts sehr schwach; verstärkt wird es, indem man es durch mehrere Glasplatten durchgehen läßt, da hierbei das nicht polarisierte Licht durch wiederholte Reflexion beseitigt wird. Die verschiedene Schwingungsrichtung des reflektierten und durchgelassenen Lichts rührt daher, daß Lichtwellen in ein Medium nur dann eindringen können, wenn sie mit ihren Kämmen vorschreiten: treffen sie dagegen mit den Seiten der Wellen auf, so werden sie reflektiert. Ebenso dringt z. B. ein Messer, wenn es mit der Spitze auffällt, in ein Brett ein, fällt es dagegen mit der stumpfen Kante auf, so prallt es zurück.

Man kann nach dem Gesagten auch zwei Spiegel als Polarisationsapparat benutzen. Fällt z. B. der Lichtstrahl ab unter dem Polarisationswinkel auf den Spiegel MN (Fig. 98), der hier Polarisator ist, so wird er in der Richtung bc reflektiert, und gleichzeitig schwingen seine Teilchen alle senkrecht zur Einfallsebene. Bildet $M'N'$, der Analysator, denselben Winkel zur Achse, die hier durch den Lichtstrahl bc dargestellt ist, so kann er nur dann bc reflektieren, wenn seine Einfallsebene parallel der von MN

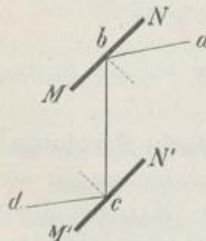


Fig. 98.

ist, wenn beide also einen Winkel von 0° oder 180° miteinander bilden; bei einem Winkel von 90° oder 270° wird kein Licht reflektiert. Benutzt man als Analysator einen Satz Glas-

platten und beobachtet das durchgehende Licht, so sind die Erscheinungen gerade umgekehrt.

§ 142. **Interferenz des polarisierten Lichtes.** Es wurde oben auseinandergesetzt, daß bei parallelen Turmalinplatten oder Nicols etc. das Gesichtsfeld hell, bei rechtwinklig gekreuzten aber dunkel sein muß. Bilden die optischen Achsen der Nicols einen anderen Winkel wie einen rechten, sei z. B. ab (Fig. 99) die Richtung der Achse im ersten, ef die im zweiten Nicol, so kann nach dem Parallelogramm der Kräfte jede Schwingung in zwei von der Richtung ef und gh zerlegt werden. Die letztere, rechtwinklig zur Achse des zweiten Nicols erfolgende, geht nicht hindurch, wohl aber die erstere. Auf dieser Zerlegung von Schwingungen beruhen auch Interferenzerscheinungen, wenn man zwischen

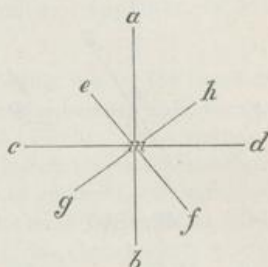


Fig. 99.

einen Polarisationsapparat einen dünnen, doppelbrechenden Körper z. B. ein Gipsblättchen bringt, welches Lichtstrahlen nur in den Richtungen ef und gh (Fig. 99) durchläßt. Dann werden die durch den Polarisator in die Richtung ab gebrachten Strahlen in Schwingungen nach den Richtungen ef und gh zerlegt; und diese am Analysator wieder in Komponenten nach den Richtungen ab und cd . Es werden dann nur die letzteren durchgelassen, und da sie von Strahlen herrühren, die infolge der Doppelbrechung einen Phasenunterschied, abhängig von der Dicke des Gipsblättchens, besitzen, so wird durch Interferenz das Gesichtsfeld bei einfarbigem Lichte mehr oder weniger hell, bei weißem Licht in einer bestimmten Farbe erscheinen. In ähnlicher Weise entsteht in dickeren doppelbrechenden (optisch einachsigen) Kristallen bei Anwendung von divergenten Lichtstrahlen ein System von hellen und dunklen bzw. farbigen Ringen, das von einem schwarzen Kreuz in der Richtung der Achsen des Polarisators und Analysators durchzogen ist. Während dies bei gekreuzten Nicols der Fall ist, erscheinen bei parallelen die komplementären Farben und ein helles Kreuz. Hierauf beruht auch das Polarisationsmikroskop, bei dem durch das Objektiv schon polarisiertes Licht konvergent gemacht wird, dann durch den zu untersuchenden Körper dringt und schließlich hinter dem Okular noch einen Analysator passiert. Es dient einmal zum Erkennen doppelbrechender Substanz, denn diese verrät sich durch ihren Farbenglanz; ferner treten dadurch feinere Strukturunterschiede besser hervor.

§ 143. **Zirkulare Polarisation.** Wenn ein Pendel durch einen

bestimmten Impuls von A nach B (Fig. 100) schwingt, so werden durch gleichstarke Impulse, die senkrecht zu dieser Bahn an verschiedenen Stellen erteilt werden, verschiedene Schwingungsformen entstehen. Ist

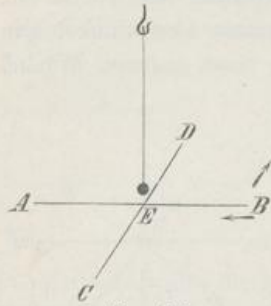


Fig. 100.

Ist der Pendel in B , hat er also von E aus $\frac{1}{4}$ Schwingung zurückgelegt, so wird durch einen Impuls in der Richtung und Stärke von ED eine Kreisbewegung nach links resultieren; ebenso in A eine solche nach rechts; in E eine geradlinige Bewegung in diagonalen Richtung; eine elliptische Bewegung endlich, entweder wenn in A oder B stärkere Impulse wirken, oder wenn der gleiche Impuls auf der Strecke zwischen A und B einwirkt. Genau dasselbe findet nun

beim polarisierten Lichte statt. Wenn das Licht, das durch einen doppelbrechenden Körper in zwei zueinander senkrechte Strahlen polarisiert ist, durch den Analysator wieder auf eine Ebene gebracht wird, so hängt es allein vom Gangunterschied ab, welche Form resultiert. Ist er $= 0$ oder $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, so entsteht geradlinig polarisiertes Licht, beträgt er $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, kreisförmiges, und für die Zwischenwerte elliptisches. Der Name polarisiert paßt eigentlich nicht mehr, da ja z. B. kreisförmig polarisiertes Licht sich nach allen Richtungen gleich verhält. Es ist vom natürlichen Lichte nur dadurch zu unterscheiden, daß, wenn man seinen Gangunterschied um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge erhöht oder erniedrigt, indem man es z. B. durch ein entsprechend dickes Glimmerplättchen schiebt, geradlinig polarisiertes Licht entsteht.

§ 144. **Drehung der Polarisationsenebene.** Ebenso wie unter Umständen aus zwei geradlinigen Bewegungen eine kreisförmige entsteht, kann jede geradlinige Bewegung als Resultante zweier gleichgroßer, entgegengesetzt gerichteter Kreisbewegungen aufgefaßt werden.

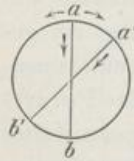


Fig. 101.

Wirken z. B. auf das Teilchen a (Fig. 101) zwei Impulse in der Richtung der Pfeile, so wird es den Weg ab beschreiben. Setzt aber der nach links gerichtete Impuls später ein, wenn a schon in a' ist, dann resultiert der Weg $a'b'$. In der Tat findet nun beim Quarz und bestimmten Flüssigkeiten eine Zerlegung geradlinig polarisierten Lichts in zwei entgegengesetzt kreis-

förmige Bewegungen statt. Und da sich hierbei letztere ungleich schnell fortpflanzen, so wird, wenn sie sich wieder zu geradlinig polarisiertem Lichte vereinigen, das letztere in einer anderen Ebene schwingen, die Polarisationsenebene wird also, wie man sagt, durch

diese „optisch aktiven“ Substanzen gedreht sein, z. B. nach rechts (wie beim Rohrzucker etc.), wenn die rechtsherum gehende kreisförmige Bewegung sich schneller fortpflanzt. Diese Drehung der Polarisationsebene ist nun deshalb von großer Bedeutung, weil sie z. B. bei Zuckerlösungen proportional der Dicke der betreffenden Schicht und ihrem Zuckergehalte ist, so daß dieser daraus berechnet werden kann. Die hierfür angewandten Apparate heißen Saccharimeter¹.

Durch eine l dm lange Schicht einer Zuckerlösung, die in 100 ccm z gr Zucker enthält, wird nämlich die Polarisationsebene des Lichtes z. B. für das gelbe Natriumlicht um den Winkel $\alpha = 0,665^\circ \cdot z \cdot l$ gedreht. Ist α bekannt, so ergibt sich daraus ohne weiteres z . Bei den einfachsten Saccharimetern wird nun die Zuckerlösung zwischen gekreuzte Nicols gebracht, wodurch (bei Anwendung einfarbigen Lichtes) das bisher dunkle Gesichtsfeld heller wird. Dreht man hierauf den Okular-Nicol solange, bis das Gesichtsfeld wieder dunkel geworden ist, so ist dadurch der Drehungswinkel α bekannt. Genauere Resultate erhält man, wenn man zwischen beide Nicols eine Doppelquarzplatte einschaltet. Diese besteht aus zwei aneinanderg kitteten, gleichdicken, senkrecht zur optischen Achse geschliffenen Quarzplatten, von denen eine rechts-, die andere linksdrehend ist. Beide Platten erscheinen sowohl bei gekreuzten wie bei parallelen Nicols gleich hell (bezw. bei Anwendung weißen Lichtes gleichgefärbt); nach Zwischenschaltung der Zuckerlösung werden sie dagegen ungleich.

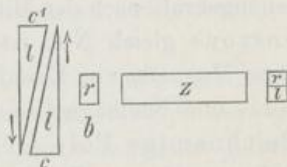


Fig. 102.

Der Winkel, um den der Okular-Nicol gedreht werden muß, damit sie wieder gleich werden, entspricht wieder α . Beim SOLEIL'schen Saccharimeter wird an Stelle des drehbaren Okular-Nicols der sog. Kompensator benutzt (Fig. 102), um die Größe der Drehung zu bestimmen. Derselbe besteht aus einer rechtsdrehenden Quarzplatte b und zwei linksdrehenden Quarzkeilen c, c' . Letztere können so gegeneinander verschoben werden, daß ihre (genau durch eine Mikrometerschraube meßbare) gemeinsame Dicke gleich, größer oder kleiner wird, als die von b . Da nun das Drehungsvermögen einer 1 mm dicken Quarzschicht bekannt ist, so ergibt sich daraus auch der optische Effekt derjenigen Zuckerlösung, welcher durch den Kompensator das Gleichgewicht gehalten wird.

¹ saccharum Zucker. *Ueber die Eigenschaften des Rohrzuckers* S. 574.