

er in das bei o befindliche Auge gelangt, welches daher a in der Richtung der Tangente an die Kurve $a c o$, in a_1 erblickt. Ebenso wird der Punkt b in b_1 gesehen, d. h. wir sehen ein umgekehrtes Bild, so als ob der Boden $A B$ eine Wasseroberfläche wäre, die spiegelt.

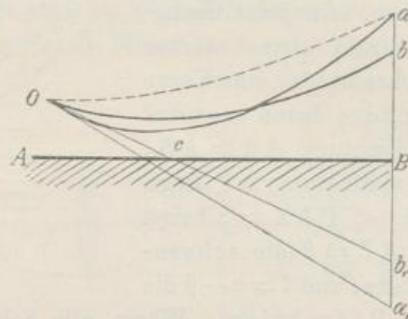


Fig. 265.

Durch andere Strahlen, z. B. den punktiert gezeichneten Strahl $a o$, sehen wir gleichzeitig den Gegenstand selbst.

In nördlichen Gegenden tritt oft die umgekehrte Erscheinung auf, ein Spiegelbild nach oben, durch totale Reflexion an höheren ungewöhnlich erwärmten Schichten.

D. Dispersion des Lichtes.

§ 365. Wird ein weisser Lichtstrahl durch Brechung aus seinem Wege abgelenkt, indem er z. B. durch ein Prisma geht, so zeigt sich, dass er in Farben zerlegt wird. Kommt das Licht von einem Spalt, der der brechenden Kante des Prisma parallel ist, wird dann nach der Brechung auf einem Schirme aufgefangen, so sieht man einen hellen Streifen, der vom am wenigsten abgelenkten Ende beginnend die Farben rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett zeigt. Dieser Versuch wurde zuerst von Newton 1666 angestellt; er schloss, dass 1. das weisse Sonnenlicht aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt sein müsse; 2. dass die verschiedenen Farben verschieden stark gebrochen werden. Diese Zerlegung gemischten Lichtes nennt man Dispersion, das durch das Prisma entworfene farbige Bild des Spaltes ein Spektrum. In ihm sind bei Benutzung von Sonnenlicht nicht nur obige 7 Farben, deren Bezeichnung von Newton eingeführt wurde, vorhanden,

sondern unendlich viele; es zeigt sich ein ganz kontinuierlicher Uebergang von einer Farbe zur anderen.

Dass die Farben wirklich im Licht vorhanden sind, nicht durch das Prisma hervorgebracht werden, erkennt man daran, dass alle Prismen aus verschiedener Substanz die gleichen Farben geben, und dass man bei Vereinigung des Spektrums, etwa durch eine Linse, zu einem Punkt wieder weisses Licht erhält.

§ 366. Der Brechungsexponent eines Mediums ist $n = \frac{v_0}{v_1}$, wo v_0 die Geschwindigkeit im Weltraum bedeutet. v_0 ist unabhängig von der Farbe; denn wenn ein Fixstern nach einer Verfinsternung sichtbar wird, sehen wir ihn sofort weiss, d. h. die verschiedenen Farben gelangen genau in derselben Zeit zu uns. Da aber bei der Brechung durch durchsichtige Substanzen n für verschiedene Farben verschieden, müssen wir schliessen, dass v_1 variabel ist, dass also in dem Lichtäther, der den Zwischenraum zwischen ponderablen Molekeln füllt, die Farbe, d. h. die Wellenlänge, von Einfluss auf die Geschwindigkeit ist (§ 349).

Cauchy hat zuerst (1836) theoretische Untersuchungen hierüber angestellt; er kam zu dem Schluss, dass $v = a - \frac{b}{\lambda^2} - \frac{c}{\lambda^4} + \dots$ sein müsse, wo a, b, c Konstante sind. Daraus folgt:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots,$$

die Cauchysche Dispersionsformel. Die λ sind, wie wir sehen werden, sehr klein, unter $\frac{1}{1000}$ mm, also ist λ^4 in erster Annäherung zu vernachlässigen gegen λ^2 , und man schreibt meist:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2},$$

wo A und B für jedes Medium Konstante sind.

Diese Gleichung ist von Wichtigkeit, weil sie, sobald für ein Prisma A und B bekannt sind, aus dem Brechungsexponenten einer Farbe deren Wellenlänge zu berechnen gestattet.

Die Cauchysche Dispersionsformel stellt nur eine grobe Annäherung an die Wahrheit dar. Auf Grund anderer theoretischer Voraussetzungen sind später, z. B. von Briot, Redtenbacher, Ketteler, andere Dispersionsformeln abgeleitet worden.

Bessere Resultate wurden erreicht, als Sellmeier in die Theorie die Annahme einführte, die ponderablen Molekeln des Mediums setzten dem in sie eingelagerten Aether bei seinen Schwingungen einen reibungsartigen Widerstand entgegen.

Vollkommen bewährt hat sich in neuester Zeit eine Formel, welche von Ketteler gegeben ist und sich auch aus einer elektromagnetischen Dispersionstheorie von Helmholtz ableiten lässt:

$$n^2 - a^2 = \frac{M_2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} - \frac{M_1}{\lambda_1^2 - \lambda^2}.$$

Hier bedeuten a , M_1 , M_2 , λ_1 und λ_2 Konstante, von welchen die beiden letzteren eine wichtige Bedeutung haben. Sie stellen nämlich die Wellenlängen im Rot und Violett dar, welche von dem Medium des Körpers vollkommen absorbiert werden (vgl. § 368).

§ 367. Die beiden Konstanten der Cauchyschen Dispersionsformel sind für jedes Medium konstant, wechseln aber von einem zum anderen. Die Differenz, $d = n_v - n_r$ für die äussersten violetten und roten Strahlen nennt man die Grösse der Dispersion des betreffenden Mediums; von ihr hängt der Winkel der Zerstreuung oder die Länge des Spektrums ab. Es zeigt sich, dass n , der Brechungs-exponent einer mittleren Farbe, und d von einander nicht abhängen; im allgemeinen zerstreuen allerdings die Substanzen stark, die stark brechen, aber es gibt doch viele Ausnahmen. Die mittlere Ablenkung des Spektrums hängt nur von der Konstanten A der Cauchyschen Formel ab, die Grösse der Zerstreuung aber von B .

Folgende Tabelle gibt für einige Substanzen n für gelbes Licht und d .

	n	d		n	d
Bleiglas	1,7321	0,0677	Wasser	1,333	0,0192
Flintglas	1,7037	0,0371	Schwefelwasserstoff .	1,636	0,0837
„	1,6350	0,0433	Steinsalz	1,544	0,029
Crown glas	1,6114	0,0192	Diamant	2,420	0,056
„	1,5280	0,0204	Chromsaures Blei .	2,926	0,770

Der Umstand, dass wir also Substanzen haben, welche das Licht relativ stark brechen, schwach zerstreuen, und andere, die es

schwach brechen, stark zerstreuen, ist von der grössten Wichtigkeit für die praktische Optik. Nehmen wir nämlich eine Prisma aus einer stark brechenden, schwach zerstreuenden Substanz (z. B. Crown Glas) von grossem brechendem Winkel; setzen wir dahinter in umgekehrter Stellung ein Prisma aus schwach brechender, stark dispergierender Substanz (z. B. Flintglas), dessen brechender Winkel so gross gewählt ist, dass die Dispersion beider Prismen gerade gleich ist, so wird sie durch die beiden entgegen wirkenden Prismen gerade aufgehoben werden, die Brechung wird aber bestehen bleiben, da das zweite Prisma viel schwächer wirkt und kleineren brechenden Winkel hat. Wir haben so ein achromatisches Prisma (Fig. 266).

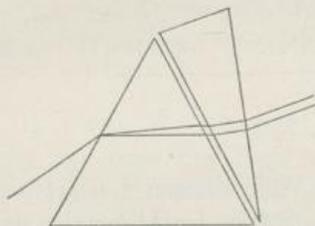


Fig. 266.



Fig. 267.

Linsen können wir als aus Prismen zusammengesetzt betrachten, und wir erhalten eine achromatische Sammellinse (Fig. 359), wenn wir eine Konvexlinse aus Crown Glas vereinigen mit einer Konkavlinse aus Flintglas von passenden Krümmungsradien (Fig. 267).

Wir können aber auch das umgekehrte Ziel verfolgen: setzen wir hinter ein Prisma mit grossem Winkel aus stark dispergierender, schwach brechender Substanz ein solches aus schwach dispergierender, stark brechender von kleinem Winkel, so können wir ein zusammengesetztes Prisma erhalten, welches eine mittlere Farbe gar nicht ablenkt, aber doch das Licht zerstreut, ein Spektrum liefert; man nennt es gradsichtiges Prisma, oder Prisma à vision directe.

§ 368. Fast alle Substanzen brechen der Cauchyschen Dispersionsformel entsprechend längere Wellen, rotes Licht, am schwächsten, kürzere stärker. Bei einzelnen ist aber ein abweichendes Verhalten zuerst von Christiansen beobachtet, dann von Kundt näher untersucht worden.

Füllt man z. B. ein Hohlprisma mit Fuchsinlösung, so liefert

dasselbe ein Spektrum, bei welchem die Farben grün, blau, violett schwächer gebrochen sind, als die folgenden rot, orange, gelb. Diese Erscheinung, welche man anomale Dispersion nennt, zeigen solche Substanzen, welche eine bestimmte Farbe stark absorbieren, nicht hindurchlassen, also namentlich Farbstoffe. Kundt hat gefunden, dass der Brechungsexponent kurz vor den absorbierten Wellenlängen stark wächst, um hinter denselben wieder mit kleinerem Wert zu beginnen. Die Fig. 268 wird dies anschaulicher

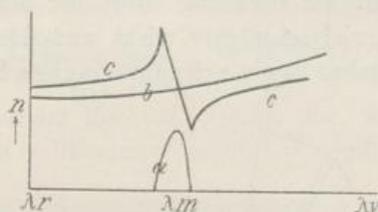


Fig. 268.

machen: auf der x-Axe sind die Wellenlängen von rot nach violett aufgetragen: die Kurve a stellt die Stärke der Absorption dar, welche also nur bei einer Stelle, λ_m , bedeutend wird. Als Ordinaten sind die Brechungsexponenten genommen; b gibt die Kurve für das Lösungsmittel des Farbstoffes, c die für diesen an. Die Kurve läuft nicht glatt fort, sondern steigt vor λ_m plötzlich an, um hinter λ_m ganz niedrig wieder zu beginnen. So sind die n von λ_m bis λ_v kleiner als von λ_r bis λ_m , und bei der Brechung muss der zweite Teil des Spektrums vor dem ersten liegen.

Denken wir uns nun einen Körper mit zwei solchen Absorptionstreifen, etwa einen im Ultrarot bei λ_1 , einen im Ultra-

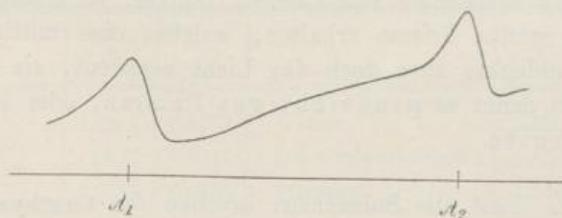


Fig. 269.

violett bei λ_2 , so wird an beiden Stellen ein plötzlicher Fall des Brechungsexponenten eintreten müssen, und die Dispersionskurve wird etwa das durch Fig. 269 dargestellte Aussehen haben müssen.

Diese Gestalt der Kurve ergibt sich in der That aus der Helmholtz-Kettlerschen Dispersionsgleichung (§ 366). Zwischen den Absorptionsstreifen steigt die Kurve gleichmässig an, und da passt die Cauchysche Formel, aber nicht mehr, sobald man sich den Absorptionsgebieten nähert. Man erkennt so, dass die ganze Dispersion nur eine Folge der Absorption ist; alles, was die Lage der Absorptionsstreifen ändert, z. B. eine Temperaturänderung, muss auch die Dispersionskurve ändern.

E. Wirkungen des Lichtes.

§ 369. Die Transversalschwingungen des Lichtäthers, die Lichtstrahlen, können je nachdem, auf welchen Körper sie treffen, verschiedene Wirkungen ausüben. Wir können folgende unterscheiden:

1. Optische Wirkungen: Breiten wir das Tageslicht durch ein Prisma zu einem Spektrum aus, so sehen wir einen farbigen Streifen, dessen eines Ende rot, das andere violett ist. Die Enden sind nicht scharf begrenzt; nehmen wir direktes Sonnenlicht, so sehen wir das Spektrum nach beiden Seiten länger werden. Nach Methoden, die wir später besprechen werden, kann man nachweisen, dass das äusserste sichtbare Rot einer Wellenlänge von $\lambda = 760 \mu\mu$ (milliontel Millimeter) entspricht, das äusserste Violett $400 \mu\mu$; dazwischen liegen die übrigen Farben mit mittleren Wellenlängen. — Unsere Sehnerven haben daher nur eine beschränkte Empfindlichkeit, sie nehmen nur bestimmte Wellenlängen wahr, grössere und kleinere nicht; in ähnlicher Weise ist ja auch das Gehör beschränkt, so dass wir kleinere Wellen als von 1 mm nicht mehr hören. Es gibt aber sowohl längere als kürzere Wellen, als die sichtbaren. Die längeren Wellen sind zuerst nachgewiesen durch:

2. Wärmewirkungen: Herschel fand 1800, dass ein Thermometer im Spektrum verschoben desto stärker stieg, je längere Wellen auffielen, und dass die Temperaturerhöhung noch zunahm jenseits des roten Endes. Dieser unsichtbare Teil des Spektrums wird der ultraroten genannt. Statt des unempfindlichen Thermometers sind später schmale Thermosäulen (§ 305) namentlich durch Melloni und Bolometer (§ 282) durch Langley zur Untersuchung verwandt worden. Da Glas die langen Wellen nicht durchlässt, muss man Prismen aus Steinsalz oder Flusspat be-