



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

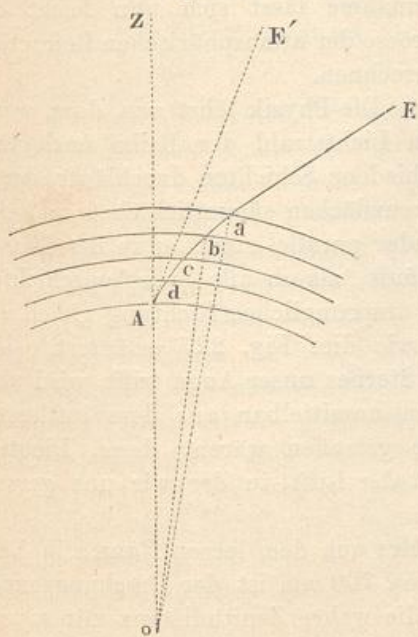
Zweites Capitel. Atmosphärische Lichterscheinungen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96939](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96939)

Atmosphärische Lichterscheinungen.

Atmosphärische Refraction. Wenn von irgend einem Ge- 143
 stirne ein Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde fällt, so wird er,
 den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen

Fig. 226.



Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu, indem der Lichtstrahl allmählich in immer dichtere Luftschichten eindringt, und so kommt es, dass derselbe auf dem Wege durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche eine krumme Linie beschreibt.

Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist, als die nächst höhere und weniger dicht, als die nächst tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl *Ea*, Fig. 226, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er in der

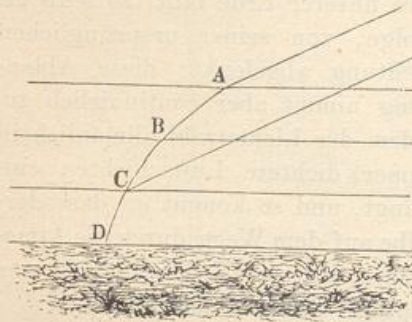
Weise abgelenkt, dass er dem Einfallslot *ao* genähert wird, er wird die oberste Schicht in der Richtung *ab* durchlaufen; in *b* auf eine dichtere Luftschicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in demselben Sinne u. s. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde bei *A* an, nachdem er die unterste Schicht der Atmosphäre in der Rich-

tung dA durchlaufen hat. In der Wirklichkeit ist aber nun $abcdA$ keine gebrochene Linie, sondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher sich in A befindet, wird offenbar denselben Eindruck haben, als ob das Gestirn, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, sich in der Richtung der in A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluss der atmosphärischen Refraction erscheinen also alle Gestirne dem Zenith näher gerückt, sie scheinen höher über dem Horizonte zu stehen, als es wirklich der Fall ist.

Die mit einem Höhenkreise gemachten Messungen geben uns also keineswegs die wahren Werthe der Zenithdistanz der Gestirne, sondern die durch die atmosphärische Refraction verminderte Zenithdistanz; um also den wahren Ort eines Gestirnes am Himmelsgewölbe zu bestimmen, muss man die Grösse der atmosphärischen Refraction kennen und dieselbe in Rechnung bringen.

Bei der verhältnissmässig geringen Höhe der Atmosphäre kann man ohne merklichen Fehler für alle Gestirne, welche mehr als 15° über dem

Fig. 227.



Horizonte stehen, von der Krümmung der Atmosphäre abstrahiren und sie aus lauter horizontalen Schichten bestehend betrachten. Mit Hülfe dieser Annahme lässt sich nun leicht die Grösse der atmosphärischen Refraction berechnen.

Die Physik lehrt uns, dass, wenn ein Lichtstrahl der Reihe nach verschiedene Schichten durchläuft, deren Grenzflächen sämmtlich eben und einander parallel sind, er in der letzten

Schicht genau denselben Weg durchläuft, als ob alle Zwischenschichten fehlten und der Lichtstrahl in seiner ursprünglichen Richtung gleich auf diese letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 227 erläutert. Die Richtung, in welcher das Licht eines Sternes unser Auge trifft, wird also dieselbe sein, als ob seine Strahlen unmittelbar aus dem luftleeren Himmelsraume auf eine Atmosphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit so gross ist, wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Beim Uebergang eines Lichtstrahles aus dem leeren Raume in Luft von 0° und einem Barometerstande von 760 mm ist der Brechungsexponent 1,000294; bezeichnen wir also die wahre Zenithdistanz mit z , die durch die atmosphärische Refraction verkleinerte oder die scheinbare Zenithdistanz mit z' , so ist:

$$\sin z = 1,000294 \sin z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert sich aber mit dem Barometerstande, der Temperatur u. s. w. Für einen Barometerstand von 760 mm und eine Temperatur von 10°C . ist er 1,00028; für diesen

Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die scheinbaren Zenithdistanzen von fünf zu fünf Grad die entsprechenden Werthe der atmosphärischen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdistanz grösser ist als die scheinbare. Ausserdem ist noch die Refraction für 87° und 89° beigefügt worden, um zu zeigen, wie rasch dieselbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdistanz	Atmosphärische Refraction	Scheinbare Zenithdistanz	Atmosphärische Refraction
5 ⁰	5,1''	55 ⁰	1' 23,0''
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,6
25	27,2	75	3 33,9
30	33,6	80	5 18,9
35	40,8	85	9 49,8
40	48,8	87	14 21,8
45	58,2	89	24 36,7
50	1' 9,3	90	35 24,2

Da sich die Grösse der atmosphärischen Brechung mit dem Barometerstande, der Temperatur und dem Feuchtigkeitszustande der Luft ändert, so muss man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen noch eine den veränderten Umständen entsprechende Correction anbringen, auf deren nähere Besprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmosphärischen Refraction sehen wir auch die Sonne noch vollständig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derselben in der That schon 35' unter denselben hinabgesunken ist; durch die Atmosphäre bleibt uns also des Abends die Sonne über zwei Zeitminuten länger sichtbar, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde, und ebenso findet der scheinbare Sonnenaufgang um mehr als zwei Minuten früher statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, dass man bei einer Mondfinsterniss Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte sehen kann, wie es in der That der Fall ist, wenn die Mondfinsterniss zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges stattfindet.

Die Kimmung. Eine merkliche Ablenkung von der geraden 144 Linie findet für die in Luft sich bewegenden Lichtstrahlen nicht allein in dem Falle statt, welchen wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, in dem Falle nämlich, dass die von den Gestirnen kommenden Strahlen die Atmosphäre ihrer ganzen Höhe nach durchlaufen haben, sondern auch für Lichtstrahlen, welche von irdischen Gegenständen kommend,

nur den unteren Theil der Atmosphäre durchlaufen, hier aber Luftschichten passirt haben, welche in Folge ungleicher Erwärmung von merklich verschiedener Dichtigkeit sind. Wenn unter solchen Umständen die Lichtstrahlen von irdischen Gegenständen in krummen Linien ins Auge gelangen, so sehen wir sie in einer Richtung, welche von derjenigen abweicht, unter welcher wir sie gewöhnlich, d. h. bei möglichst gleichförmig erwärmter Luft, zu sehen gewohnt sind.

Eine derartige Erscheinung ist z. B. die folgende: Wenn man von Ramsgate aus mit dem Fernrohr nach Dover hinschaut, so erblickt man unter normalen Umständen nur die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze

Fig. 228.



Fig. 229.



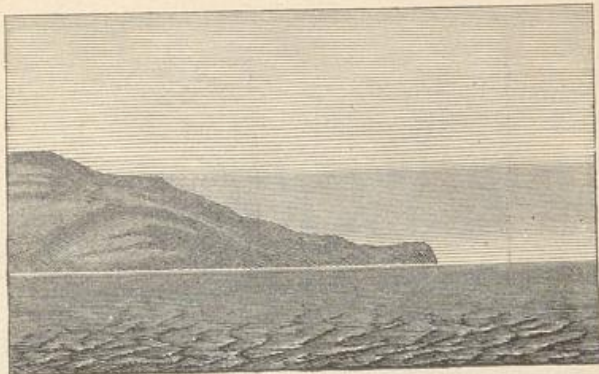
Schloss bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Lichtstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmässiges, umgekehrtes Bild desselben, so dass die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstiessen, wie dies Fig. 228 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 229, ein aufrechtes und darunter ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfter, z. B. besonders häufig in dem westlichen Theile der Ostsee beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung, des Seegesichtes oder der Kimmung bekannt. Scoresby

hatte in den grönländischen Meeren oft Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen

Fig. 230.

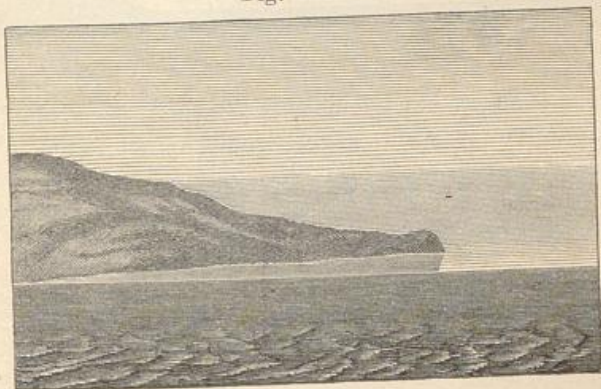


rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Die Erscheinung der Kimmung tritt häufig in der Weise ein, dass entferntere Gegenstände über den Meereshorizont erhoben und von ihm getrennt erscheinen, wie die Figuren 230, 231 und 232 (a. f. S.) zeigen.

Die Erscheinung rührt offenbar daher, dass die Dichtigkeit der unteren Luftschichten mit der Erhöhung über dem Boden ungewöhnlich

Fig. 231.

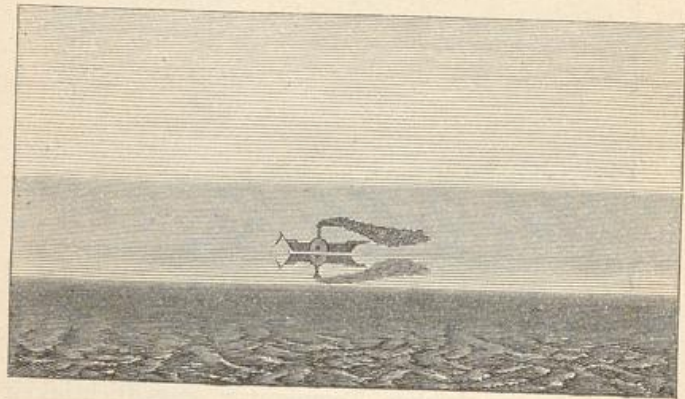


rasch abnimmt, so dass die vom Gegenstande aus ins Auge gelangenden Lichtstrahlen nicht eine gerade, sondern eine mehr oder weniger stark nach oben gewölbte Linie beschreiben. Es wird dies, wie Zech (Jelinek's Zeitschrift für Meteorologie, II. Bd.) richtig bemerkt, namentlich dann der Fall sein müssen, wenn bis zu einer gewissen Grenze die höheren Luftschichten wärmer sind als die tieferen. — Unter Umständen bringt die rasch nach oben abnehmende Dichtigkeit der Luft nicht allein eine

Erhebung, sondern auch eine im nächsten Paragraphen näher zu besprechende Luftspiegelung hervor, wie das in Fig. 228 dargestellte Beispiel zeigt.

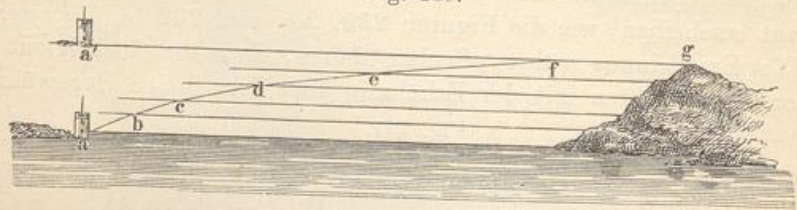
Die Figuren 233 und 234 mögen dazu dienen, die Erscheinung etwas näher zu untersuchen. Es sei g , Fig. 233, ein etwas erhöhter

Fig. 232.



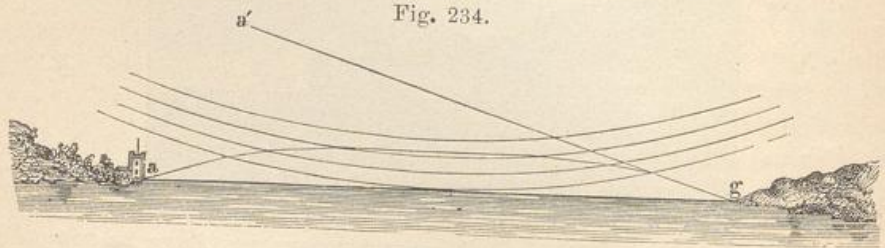
Standpunkt, von welchem aus man nach dem tiefer gelegenen Punkte a hinschauen kann. Ist nun die Luft zwischen g und a , wie es gewöhn-

Fig. 233.



lich der Fall ist, nahezu von gleicher Dichtigkeit, so wird ein Lichtstrahl in gerader Linie von a nach g gelangen können, von g aus gesehen

Fig. 234.



sieht man den Punkt a nach der Richtung ga hin, in welcher er sich wirklich befindet.

Unter Umständen kommt es aber vor, dass die etwas höheren Luftschichten wärmer sind als die tieferen, was dann zur Folge hat, dass die Dichtigkeit der Luft von unten nach oben ungewöhnlich schnell abnimmt. (Wir werden darauf später noch einmal zurückkommen.) Als-

dann wird ein von a ausgehender Lichtstrahl, welcher in b eine dünnere Luftschicht trifft, beim Eintritt in dieselbe vom Einfallslot, also von der Verticalen entfernt, die Richtung bc erlangen; bei c abermals von der Verticalen entfernt, nimmt er die Richtung cd an; in d , e und f erfolgt eine ähnliche Ablenkung, so dass der Strahl endlich in der Richtung fg ins Auge gelangt, der in g befindliche Beobachter also den Punkt a bis a' gehoben erblickt.

Unter den eben betrachteten Umständen, d. h. wenn die Schichten gleicher Luftdichtigkeit stets vollkommen wagerecht sind, wird man von einem etwas erhöhten Standpunkte g einen tiefer gelegenen Gegenstand a höchstens bis zum Horizont von g gehoben sehen können. Um die Erhebung über den Horizont des Beobachters zu erklären, muss man annehmen, dass die Schichten gleicher Luftdichtigkeit nicht horizontal, sondern dass sie nach unten convex sind, wie es Fig. 234 andeutet.

Die eben besprochene Erhebung beobachtet man am Meere und an Landseen vorzugsweise in den frühen Morgenstunden heiterer Tage. Durch die nächtliche Strahlung sind Land und Wasser stark erkaltet, während die etwas höheren Luftschichten die höhere Temperatur des vorigen Tages nicht so schnell abgegeben haben. Nach Sonnenaufgang wird aber das Land durch die Sonnenstrahlen weit rascher erwärmt als das Wasser und dadurch ungefähr eine Krümmung der Schichten gleicher Luftdichtigkeit bewirkt, wie sie bei der Construction der Fig. 234 angenommen wurde.

Die Bilder ferner Gegenstände, welche uns durch aussergewöhnliche atmosphärische Refraction und Luftspiegelung sichtbar werden, können uns aber, wenn die Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten eine unregelmässig wechselnde ist, nicht allein verzerrt, sondern auch in fortwährender Bewegung erscheinen, wie dies bei der unter dem Namen der *Fata Morgana* zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten Siciliens bekannten Erscheinung der Fall ist. Auf einmal sieht man in grosser Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhaftige Erscheinung beruht darin, dass Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu sein scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

Luftspiegelung. Für den Uebergang eines Lichtstrahles lc , 145 Fig. 235 (a. f. S.), welcher sich in atmosphärischer Luft bewegt, deren Brechungsexponent 1,00030 ist, in solche, deren Brechungsexponent 1,00029 beträgt, ist der Grenzwinkel gleich $89^{\circ} 45'$. Stellt also hk die Trennungsfläche der beiden Luftschichten dar, so findet in c eine totale Reflexion statt, wenn der Winkel hel kleiner ist als $15'$. Man ersieht

hieraus, dass stets eine totale Reflexion eintreten muss, wenn ein Lichtstrahl lc unter einem Winkel von nur wenigen Minuten auf die Grenzfläche hk einer nur unbedeutend weniger dichten Luftschicht trifft, und so erklärt sich die Luftspiegelung, deren schon im vorigen Paragraphen erwähnt wurde.

Wie wir bereits gesehen haben, kann bei anomalen Dichtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre von a , Fig. 236, aus ein Lichtstrahl in krummliniger Bahn adg nach g gelangen, so dass man von g aus in a' das gehobene Bild von a erblickt. Von a aus kann aber noch auf anderem Wege ein Lichtstrahl nach g gelangen, welcher von a über p nach c gelangte und hier eine totale Reflexion erlitt, wenn die Luftschicht über hk im entsprechenden Grade weniger dicht ist, als die unterhalb hk befindliche Luftschicht. Der in c reflectirte Strahl gelangt aber auf dem Wege cog nach g , so dass man von g aus in der Richtung ga'' noch ein Spiegelbild a'' von a erblickt.

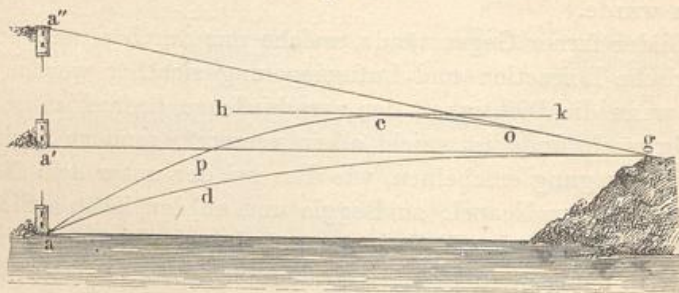
Fig. 235.



In den bisher betrachteten Fällen war das durch Luftspiegelung erzeugte Bild oberhalb des direct gesehenen; unter Umständen kann aber durch Luftspiegelung auch ein Spiegelbild unterhalb dem direct

gesehenen entstehen, wie dies namentlich in den Ebenen von Aegypten öfters beobachtet wird.

Fig. 236.



gesehenen entstehen, wie dies namentlich in den Ebenen von Aegypten öfters beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine grosse Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur theilnehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heissen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun

kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, dass alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reisewerke: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852“, finden sich ausgezeichnete bildliche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch im südlichen Theil von Abessinien häufig gesehen wird. Tab. XXXIV ist die Copie eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thale Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

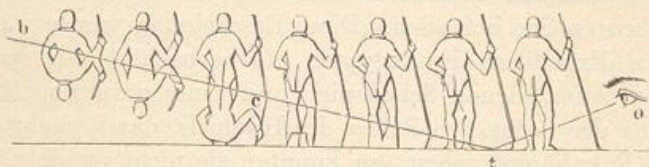
Karawanen, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Sees nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenschatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, dass der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einschliessen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so dass endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Bildes sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, dass unter gewissen Umständen von einem Punkte o , Fig. 237, aus, in welchem sich der Beobachter befindet, man sich eine gebrochene Linie otb gezogen denken kann, so

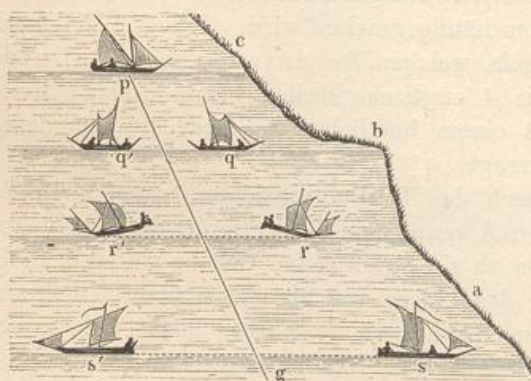
Fig. 237.



dass alle Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmählich von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 237 dargestellten Erscheinungen geben.

Offenbar gehört hierher auch eine Erscheinung, welche man manchmal an Orten beobachtet, für welche der westliche Horizont frei ist und welche darin besteht, dass man die untergehende Sonne doppelt sieht,

Fig. 238.



d. h. dass man zwei in verticaler Richtung etwas abgeplattete Bilder der Sonne sieht, von welchen das eine gerade unter dem anderen liegt.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seit-

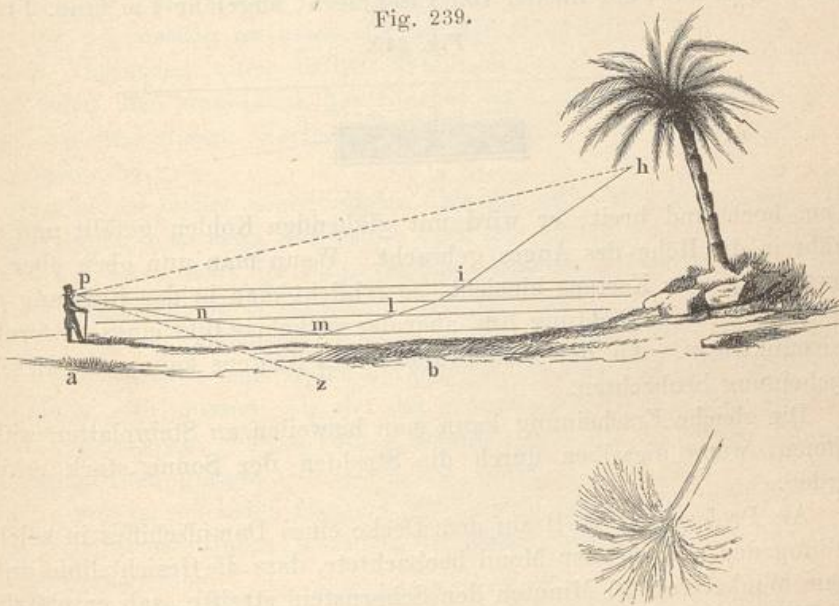
wärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung gp , Fig. 238, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmählich nach q , r und s kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in q' , r' , s' , welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes grösser wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, dass man es mit blossen Augen sehen konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Luft über dem See am östlichen Ufer *abc* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical sein.

Folgendes ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, dass die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sei *ab*, Fig. 239, der horizontale Boden, *h* irgend ein erhabener Punkt. Wir

Fig. 239.



wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von *h* in das Auge des in *p* befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, dass das Auge ein directes Bild des Punktes *h* in der Richtung *ph* sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von *h* nach *p* gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens eine geringe Hebung oder Senkung des directen Bildes entstehen kann.

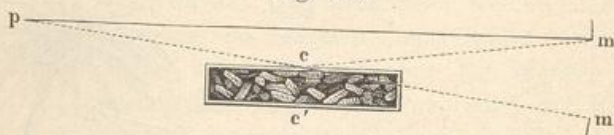
Unter den Strahlen, welche der Punkt *h* nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche; welche den Weg *hilmnp* verfolgen und welche also, in der Richtung *pz* ins Auge gelangend, ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl *hi*, wenn er auf

eine tiefere, weniger dichte Luftschicht trifft, so gebrochen werden, dass er sich vom verticalen Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächst tiefere, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung mnp in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmählich abnimmt, so werden auch die Strahlen allmählich abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sei cc' , Fig. 240, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 m lang, 14 bis

Fig. 240.



18 cm hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über die obere Fläche des Kastens hinsieht, so erblickt man in der Richtung pm das directe, in der Richtung pm' aber das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes m . An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Die gleiche Erscheinung kann man bisweilen an Steinplatten wahrnehmen, wenn dieselben durch die Strahlen der Sonne stark erhitzt werden.

Als Professor R. Ball auf dem Decke eines Dampfschiffes in solcher Stellung den aufgehenden Mond beobachtete, dass die Gesichtslinie unter einem Winkel von 20 Minuten den Schornstein streifte, sah er plötzlich das Licht des Gestirnes in solchem Glanze von der schwarzen Fläche reflectirt, dass es schwer hielt, nicht zu glauben, der Effect rühre von einem gewöhnlichen Spiegel her.

146 Das Funkeln der Sterne. Gewöhnlich erscheint uns das Licht der Fixsterne nicht ruhig sondern es scheint von Zeit zu Zeit, und zwar abwechselnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzeln. Diese beständige Veränderung im Lichte der Fixsterne ist es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt.

Die mit blossem Auge sichtbaren Planeten zeichnen sich vor den Fixsternen durch ein sehr ruhiges Licht aus, sie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit schwächer.

Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens, welches wesentlich dazu beiträgt, die Schönheit des gestirnten Himmels zu erhöhen, hat

uns Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde sind die Fixsterne nur als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtstrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, so nahe sie auch einander sein mögen, bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringsten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschichten schon einen namhaften Gangunterschied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beständiger Wechsel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft stattfindet, so wird auch die Grösse dieses Gangunterschiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen sein, und so kommt es denn, dass zwei solche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, sich entweder gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen (wenn der Gangunterschied Null ist oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder sich gegenseitig aufheben (wenn der Gangunterschied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich ist). Auf diese Weise wird also das Licht des Sternes bald stärker, bald schwächer erscheinen und dieser Wechsel kann mit grosser Geschwindigkeit vor sich gehen.

Wir haben bisher angenommen, dass der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, also etwa nur rothes oder nur blaues, aussende. Dies ist aber in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixsterne weiss, also aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist. Da nun die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ist, so wird unter sonst gleichen Umständen der Gangunterschied der rothen Strahlen ein anderer sein müssen, als der der grünen, blauen u. s. w. In demselben Augenblicke, wo die rothen Strahlen sich fast aufheben, können also die grünen gerade so interferiren, dass sie sich gegenseitig verstärken und im nächsten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes stattfinden, während die blauen und grünen Strahlen fast erloschen erscheinen.

Während die Fixsterne, selbst durch die stärksten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimensionen zeigen, haben die Planeten, durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmesser; ein Planet kann demnach als ein Aggregat einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieser Punkte für sich allein wird sich nun wie ein Fixstern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixstern, wenn er isolirt wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheibe des Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weise funkeln, so wird das Funkeln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutralisiren, und so kommt es denn, dass die Planeten sich durch ein ruhiges Licht auszeichnen.

Man hat bemerkt, dass sich das Funkeln der Sterne dann besonders stark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und sich nunmehr Wasserdampf in derselben zu verbreiten beginnt, so dass ein

auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seeleuten als ein Zeichen bald eintretenden Regens gilt.

Zwischen den Wendekreisen, wo die Luft oft eine bewundernswerthe Ruhe und Klarheit zeigt, ist das Funkeln der Sterne bei Weitem nicht so auffallend und lebhaft, als in höheren Breiten.

- 147 **Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft.** Gewiss ist die atmosphärische Luft ungemein durchsichtig im Vergleich gegen alle uns bekannten festen und flüssigen Körper und dennoch ist sie, wie uns die alltäglichen Erscheinungen lehren, keineswegs vollkommen durchsichtig. Entfernte Gegenstände erscheinen uns nicht nur unter kleinerem Gesichtswinkel, ihre Färbung erscheint matter, die Contraste zwischen Schatten und Licht sind schwächer; kurz, je entfernter ein Gegenstand ist, desto mehr scheint er uns mit einem milchigen, blassblauen Schleier überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich sieht. Man bezeichnet diese Wirkung der unvollständigen Durchsichtigkeit der Luft mit dem Namen der Luftperspective.

Um ein Maass für die Schwächung des Lichtes durch die Atmosphäre zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Diaphanometer nannte. Diese Vorrichtung besteht aus zwei weissen Scheiben, von denen die eine ungefähr 6 Fuss, die andere 6 Zoll im Durchmesser hat; in der Mitte der grösseren Scheibe ist ein schwarzer Kreis von 24 Zoll, auf der anderen ein solcher von 2 Zoll gemalt. Beide Scheiben werden neben einander aufgestellt, und zwar so, dass sie nach einer und derselben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet sind. Entfernt man sich nun allmählich, so kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine schwarze Kreis dem Auge verschwindet, und wenn man sich dann noch weiter von den Scheiben entfernt, so gelangt man endlich auch dahin, dass der grössere schwarze Kreis auch nicht mehr sichtbar ist.

Misst man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, in welchen der kleine und der grosse Kreis verschwindet, so findet man, dass sie keineswegs den Durchmessern der Kreise proportional sind, wie es sein müsste, wenn die Luft vollkommen durchsichtig und das Verschwinden der schwarzen Kreise nur durch die Kleinheit des Gesichtswinkels bedingt wäre.

Bei einem derartigen Versuche verschwand z. B. der kleine Kreis in einer Entfernung von 314 Fuss, der grosse aber nicht in zwölfacher Entfernung, sondern schon bei einem Abstände von 3588 Fuss. Die beiden Abstände verhalten sich wie 1 zu 11,427; die kleine schwarze Scheibe verschwand unter einem Gesichtswinkel von $1' 49''$, die grosse schon unter einem Gesichtswinkel von $1' 55''$.

Dass der grössere schwarze Kreis schon verschwindet, bevor der Sehwinkel auf die Grösse herabgesunken ist, bei welcher der kleine Kreis aufhört, dem blossen Auge sichtbar zu sein, rührt nur daher, dass bei grösserer Entfernung in Folge der durch die Atmosphäre bewirkten

Lichtabsorption der Contrast der schwarzen Scheibe und des weissen Grundes geringer wird.

In grösseren Höhen über dem Meeresspiegel ist begreiflicher Weise die Luft durchsichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Versuche darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anstellte (Pogg. Ann. LXXXIV, 1851). Der kleine schwarze Kreis des Schlagintweit'schen Diaphanometers hatte 1 Zoll, der grössere hatte 12 Zoll im Durchmesser. An sehr günstigen reinen Tagen fand er für den Quotienten der beiden Entfernungen, in welchen die kleine und grosse Scheibe verschwinden, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300' über dem Meere, und
11,957 " " " " 12000' " " "

Man sieht, wie sich der Quotient für grössere Höhen seinem Grenzwerte weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall ist.

Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber selbst für einen und denselben Ort von sehr veränderlicher Grösse. Während man z. B. bei durchsichtiger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die schneebedeckte Alpenkette in grosser Klarheit und mit scharfen Umrissen erblickt, ist dieselbe an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel vollkommen unsichtbar.

Im Allgemeinen sind die sonnigsten, wolkenfreiesten Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist; im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fernsicht; und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Die Luft erreicht, wenigstens in unseren Klimaten, ihre grösste Durchsichtigkeit, wenn nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine rasche Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann selten von Dauer ist.

In den Aequatorialgegenden ist die Luft bei weitem durchsichtiger als in unseren Gegenden, so dass man dort kleinere Sterne deutlich mit blossen Auge unterscheiden kann, die bei uns stets unsichtbar bleiben. So unterschied Humboldt an der Küste von Cumana und auf den 12000 Fuss hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem Auge vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen genannt), welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanz des Grossen Bären steht, obgleich dieses Sternbild in Südamerika nicht so hoch über dem Horizonte steht, wie bei uns, wo man es nur selten und dann nicht mit grosser Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt zu erkennen im Stande ist.

In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffnetem Auge auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weissen, sich vor den schwarzen basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er durch das Fernrohr als seinen in einen weissen Mantel gehüllten Reisegefährten Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer, selbst in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien.

Als Ursache der geringeren Durchsichtigkeit der Luft bei trockener Witterung betrachtet A. de la Rive das Vorhandensein von undurchsichtigem Staube und Pflanzenkeimen in derselben. Wird dann die Luft beim Einfallen südwestlicher Winde feuchter, so werden diese Körperchen durch Absorption des Wasserdampfes durchsichtiger und zugleich schwerer, so dass sie schneller zu Boden fallen, was bei beginnendem Regen noch vollständiger erfolgt. Maréchal Vaillant dagegen sucht den hauptsächlichsten Grund der verschiedenen Durchsichtigkeitsgrade der Luft darin, dass beim Wehen der südwestlichen Winde die Temperatur von Boden und Luft viel gleichartiger und deshalb die Unruhe der Luft durch aufsteigende und niedersinkende Luftströmungen weit geringer sei als bei Nordostwinden. Unruhige Luft ist aber undurchsichtiger, weil an den Grenzen wärmerer und kälterer Luftschichten vielfache Reflexionen und unregelmässige Brechungen stattfinden.

Mag nun auch die Mischung ungleich erwärmter Luftschichten die Durchsichtigkeit der Luft unter Umständen sehr beeinträchtigen, so rühren doch die stärkeren Trübungen der Luft, welche man als trockene Nebel bezeichnet, unzweifelhaft von feinen Staub- und Rauchtheilchen her, welche in der Luft schweben, wie dies namentlich beim Höhenrauch der Fall ist, welcher von Moorbränden in Nordwestdeutschland herrührt, die jährlich im Mai und Juni ausgeführt werden, um die Aecker zum Anbau von Buchweizen und Roggen geeignet zu machen. Der durch diese Moorbrände erzeugte Rauch wird je nach der Windrichtung nach verschiedenen Seiten hin oft Hunderte von geographischen Meilen weit fortgeführt. Bei Emden ist der Rauch oft so dicht, dass Häuser und Bäume schon bei 1000 Schritt Entfernung unsichtbar werden. In grösserer Entfernung erscheint der Moorrauch als grauliche Trübung, welche der Landschaft Leben und Frische, der Sonne ihren Glanz raubt, so dass man sie ungestraft mit blossem Auge als rothe Scheibe am grauen Himmel erblickt. Gewöhnlich ist der Höhenrauch selbst in grösseren Entfernungen, z. B. in Thüringen, von einem brenzlichen Geruche begleitet. Im Jahre 1857 verbreitete sich der Moorrauch über Hannover bis über Bonn und Frankfurt a. M. hinaus und er wurde zu Bamberg, Dresden, Krakau und Wien beobachtet.

Durch Regen und namentlich durch Gewitter wird der Höhenrauch niedergeschlagen.

In Spanien ist eine trockene Trübung, welche von der Mitte Juni bis zur Mitte August oft den ganzen Horizont mit einem bläulichgrauen Reif umzieht, unter dem Namen der Callina bekannt; sie ist vollkommen geruchlos und hängt mit Moorbränden oder dergleichen durchaus nicht zusammen. Wahrscheinlich ist die Callina das Erzeugniss des über den staubigen dürrn Ebenen Spaniens aufsteigenden Luftstromes.

Aehnlich der Callina in seinem Erscheinen und in seiner Ursache ist auch der Qobar Aethiopiens.

Der Durchsichtigkeits-Coëfficient. Ein richtiges Urtheil 148 über die Grösse der Lichtabsorption in der Luft erhält man erst durch die Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten, d. h. durch Bestimmung des Bruchtheils des einfallenden Lichtes, welcher durch eine Luftschicht von der Länge 1 hindurchgeht. Die Berechnung dieses Coëfficienten aus den mit dem Diaphanometer gemachten Messungen stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Erscheinung nicht wesentlich geändert würde, wenn die Scheiben aus weissen Kreisen auf schwarzem Grunde beständen und dass in diesem Falle die beiden verschieden grossen weissen Flecke im Moment, wo sie verschwinden, gleich viel Licht ins Auge senden.

Es sei nun i die Lichtmenge, welche die kleine Scheibe ins Auge senden würde, wenn sie in der Entfernung 1 aufgestellt wäre und wenn keine Lichtabsorption in der Luft stattfände, so ist

$$l = \frac{i}{e^2} a^e \dots\dots\dots 1)$$

die Lichtmenge, welche von derselben Scheibe ins Auge gelangt, wenn sie in der Entfernung e aufgestellt ist, und wenn a den Durchsichtigkeits-Coëfficienten bezeichnet. Ist d der Durchmesser der kleinen, D aber der der grossen Scheibe, so ist die Lichtmenge L , welche die grosse Scheibe (bei gleicher Beleuchtung) aus der Entfernung E ins Auge sendet:

$$L = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E \dots\dots\dots 2)$$

Sind nun e und E die Entfernungen, für welche der kleine und der grosse Fleck eben verschwinden, so sendet die grosse Scheibe aus der Entfernung E ebenso viel Licht ins Auge, wie die kleine aus der Entfernung e , es ist also für diesen Fall $l = L$ oder

$$\frac{i}{e^2} a^e = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E$$

oder

$$\frac{a^E}{a^e} = \frac{d^2 E^2}{D^2 e^2}$$

und daraus

$$a = \left(\frac{d \cdot E}{D \cdot e} \right)^{\frac{2}{E-e}} \dots\dots\dots 3)$$

Bei den oben erwähnten, von Schlagintweit angestellten Versuchen war $D = 12 d$. In einer Höhe von 12000' fand er $e = 230$, $E = 2750$ und danach

$$a = \left(\frac{2,75}{12 \cdot 0,23} \right)^{\frac{2}{2,52}} = 0,9971,$$

wenn man eine Länge von 1000 Fuss zur Längeneinheit wählt. Aus den in einer Höhe von 2300' angestellten Versuchen ergibt sich nach dieser Formel

$$a = 0,9029.$$

Bei Ableitung dieser Formel ist stillschweigend angenommen, dass die Pupillenöffnung des Auges bei der Beobachtung der grossen Scheibe ebenso gross sei, wie bei der Beobachtung der kleinen. Es ist aber bekannt, dass sich die Pupille beim Accommodiren auf nahe Gegenstände verengert. Mit Berücksichtigung dieses geht die Gleichung 3) über in

$$a = \left(\frac{d \cdot E \cdot p}{D \cdot e \cdot P} \right)^{\frac{2}{E-e}} \cdot \dots \cdot \dots \cdot 4)$$

wenn p den Durchmesser der Pupillenöffnung bei Beobachtung der nahen, P aber denselben bei Beobachtung der entfernteren Scheibe bezeichnet. Wild, welcher zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht hat (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868), fand, dass sich der Durchmesser der Pupillenöffnung für die fragliche Distanzveränderung ungefähr im Verhältniss von 24 zu 30 ändert, dass also in unserem Falle $\frac{p}{P} = \frac{24}{30} = 0,8$ ist. Berechnet man den Durchsichtigkeits-Coëfficienten aus den von Schlagintweit in einer Höhe von 2300 Fuss angestellten Beobachtungen nach Gleichung 4), so erhält man

$$a = 0,7225$$

statt des oben angeführten Werthes $a = 0,9029$. Der Einfluss der Pupillenöffnung ist also ein sehr bedeutender.

Ausser dem eben erwähnten Umstände werden aber die nach den Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer berechneten Werthe von a auch noch dadurch unsicher, dass eine vollkommen gleiche Beleuchtung der beiden Scheiben, welche bei der Construction der Formel stillschweigend vorausgesetzt wurde, schwer zu realisiren ist. Es bedurfte also zuverlässigerer Methoden, um den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der Luft mit grösserer Genauigkeit zu bestimmen, wie dies in der That durch die Beobachtungen von De la Rive und Wild geschehen ist.

149 Methoden und Messungen von De la Rive und Wild.

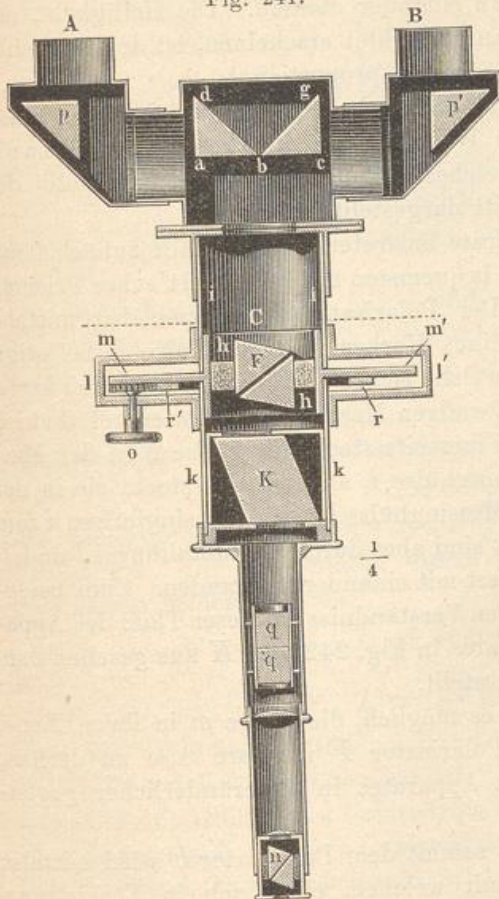
Um Versuche über die Durchsichtigkeit der Luft anzustellen, hat De la Rive einen Apparat construirt, von welchem die „Annales de chimie et de physique“ (4. Ser., t. XII, 1867) eine kurze Beschreibung enthalten. Im Wesentlichen besteht das Instrument aus zwei Fernrohren mit gemeinschaftlichem Ocular.

Jedes Objectiv giebt sein Bild in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes des Oculars, so dass man die Bilder der Gegenstände, auf welche die beiden Fernrohre gerichtet sind, dicht neben einander

erblickt. Der Winkel, welchen die Axen der beiden Röhre mit einander machen, kann von 0° bis 29° variirt werden. Die durch jedes Objectiv eintretenden Strahlen werden durch zwei totale Reflexionen dem Ocular zugeführt.

Als Vergleichsobjecte dienen zwei gleiche, mit weisser Leinwand oder mit Papier überzogene Schirme, welche in passender Weise, mög-

Fig. 241.



lichst gleich beleuchtet, in verschiedenen Entfernungen aufgestellt, und auf welche dann die beiden Fernrohre gerichtet werden. Von diesen beiden Miren erblickt man nun, in das Ocular hineinschauend, unmittelbar neben einander zwei Bilder, von welchen das der entfernteren Scheibe lichtschwächer erscheinen wird. Um die Helligkeit der beiden Bilder gleich zu machen, wird vor das auf die nähere Scheibe gerichtete Objectiv ein Diaphragma mit veränderlicher Oeffnung gesetzt und diese verkleinert, bis beide Bilder gleich hell erscheinen. Aus dem Verhältniss der beiden Objectivöffnungen kann man dann auf das Verhältniss der Helligkeit der beiden Miren schliessen.

Der Wild'sche Apparat ist in Fig. 241 abgebildet, und zwar mit Hinweglassung mancher Constructionsdetails

und solcher Einrichtungen, welche, zu anderen Zwecken dienend, hier unnöthig sind. Das Licht, welches von der einen der zu vergleichenden Lichtquellen kommt, tritt durch die Röhre A, das von der anderen Lichtquelle kommende tritt durch die Röhre B in den Apparat ein.

Ein Theil des bei A eintretenden Lichtes dringt ohne Ablenkung an der Vorderseite des Prismas *p* ein, um an seiner Rückwand eine totale Reflexion zu erleiden. Die aus dem Prisma *p* austretenden Strahlen treffen auf das mit *p* parallel gestellte Glasprisma *abd*, an dessen Rückfläche sie abermals eine totale Reflexion erleiden, um dann ohne Ablenkung an der Fläche *ab* auszutreten und sich rechtwinkelig zu *ab* fortzupflanzen.

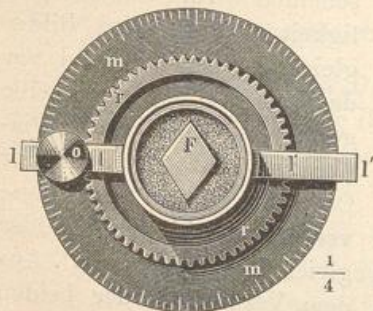
In gleicher Weise tritt nach zweimaliger totaler Reflexion rechtwinkelig zu bc ein Theil der Strahlen aus, welche, von der zweiten Lichtquelle kommend, durch die Röhre B in den Apparat eingetreten waren.

Denken wir uns nun denjenigen Theil des Apparates, Fig. 241, entfernt, welcher unterhalb der punktirten Linie liegt, so würde man, von C her gegen die beiden Prismen schauend, zwei erleuchtete Flächen ab und bc sehen, welche in einer geraden, in Fig. 241 in b zum Punkte verkürzt erscheinenden Linie an einander stossen. Die Helligkeit, mit welcher uns diese beiden Flächen erleuchtet erscheinen, ist der Intensität der bei A und B eintretenden Strahlen proportional.

Um nun aber die Helligkeit dieser beiden an einander stossenden Flächen zu vergleichen, wendet Wild das von ihm construirte Polarizationsphotometer an, welches in unserer Figur unterhalb der punktirten Linie im Durchschnitt dargestellt ist.

Das aus dem Prismenapparate austretende Licht fällt zunächst auf den Kalkspathpolarisator F (am bequemsten ein Foucault'sches Prisma).

Fig. 242.



Der Polarisator F ist zunächst mittelst eines Korkes in einer Hülse h befestigt, welche selbst wieder in der Mitte der kreisförmigen Messingscheibe m eingelöthet ist. Einerseits steckt die Hülse h in der Messinghülse i , andererseits steckt sie in der Messinghülse k . Die Messinghülsen i und k sind aber durch die Metallbügel l und l' fest mit einander verbunden. Zum besseren Verständniss ist dieser Theil des Apparates in Fig. 242 von K aus gesehen dargestellt.

Durch diese Einrichtung ist es möglich, die Platte m in ihrer Ebene, also auch die Hülse h sammt Polarisator F um ihre Axe zu drehen, während alle übrigen Theile des Apparates in unveränderlicher gegenseitiger Stellung bleiben.

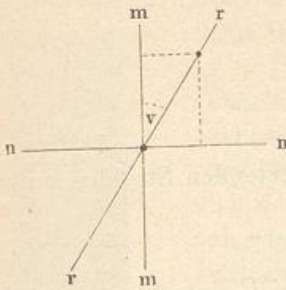
Die Drehung der Scheibe m sammt dem Polarisator F wird mittelst des Knopfes o bewerkstelligt, mit welchem ein Trieb in Verbindung steht, der in den gezahnten, auf der Platte m aufgelötheten Ring r eingreift.

Die bei A und B eintretenden Lichtstrahlen, welche wenigstens in den hier zu betrachtenden Fällen vollkommen unpolarisirt sind, werden nun durch das Kalkspathprisma F polarisirt und fallen dann auf das Kalkspathrhomboëder K , welches so in dem Apparate befestigt ist, dass sein Hauptschnitt (die Ebene des Papiers) rechtwinkelig steht zu der geraden Linie, in welcher die beiden Glasprismen dab und gcb zusammenstossen.

Durch K nach dem vorderen Theile des Apparates hinschauend, erblickt man nun zwei Bilder von einer jeden der beiden erleuchteten

Flächen ab und bc , und zwar wird das ordinäre Bild der Fläche ab zum Theil noch über das extraordinäre Bild von bc fallen. Diese Stelle aber, an welcher das ordinäre Bild von ab und das extraordinäre von bc über einander liegen, ist es, deren nähere

Fig. 243.



Untersuchung zu einer Vergleichung der Helligkeit der Flächen ab und bc führt.

In Fig. 243 sei mm die Schwingungsrichtung der ordinären Strahlen im Rhomboeder K , also eine Linie, welche mit der Kante parallel läuft, in welcher die beiden Prismen dab und gcb zusammenstossen, so ist nn die Schwingungsrichtung der extraordinären Strahlen. Es sei ferner rr die Schwingungsrichtung der aus dem Polarisator F austretenden Strahlen, welche einen Winkel v mit mm macht.

Bezeichnen wir nun mit i und i_1 die Amplituden der aus dem Polarisator austretenden nach rr schwingenden Strahlen, welche von den Flächen ab und bc kommen, so ist

$$i \cos v$$

die Amplitude des nach mm vibrirenden ordinären Bildes der Fläche ab und

$$i_1 \sin v$$

die Amplitude des nach nn schwingenden extraordinären Bildes der Fläche bc . Die Intensitäten dieser beiden rechtwinkelig zu einander polarisirten Bilder sind also

$$L = i^2 (\cos v)^2$$

und

$$L^1 = i_1^2 (\sin v)^2.$$

Sind nun diese beiden Bilder vollkommen gleich lichtstark, so wird die Partie, in welcher sie über einander fallen, keinerlei Polarisation zeigen, was man mit Hülfe eines Polarisikops leicht erkennen kann. Als Polarisikop bedient sich Wild hier derselben Vorrichtung, welche er schon bei seinem Polarisationsstrobometer in Anwendung gebracht hat, nämlich eines kleinen, schwach vergrößernden Fernrohrs, vor dessen Objectiv zwei gekreuzte Quarzplatten q und q' eingesetzt sind, deren Oberflächen einen Winkel von 45° mit ihrer optischen Axe machen, während vor dem Ocular ein Nicol'sches Prisma eingesetzt ist. Sind die beiden fraglichen Bilder gleich hell, so wird man an der Stelle, wo sie über einander fallen, keinerlei Streifen wahrnehmen, ist das eine aber lichtstärker als das andere, so erscheinen die Streifen. Durch Drehung der Scheibe mm , Fig. 242, und des Polarisators F , also durch passende Veränderung des Winkels v , kann man aber leicht die Streifen zum Verschwinden bringen.

Zur Messung des Winkels v ist der Umfang der Scheibe m mit einer Gradeintheilung versehen, deren Nullpunkt beim Nonius einsteht,

wenn die Schwingungsebene des Polarisators F rechtwinkelig steht auf dem Hauptschnitte des Kalkspathrhomboëders K . Hat man mit Hülfe des Knopfes o den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen an der Stelle verschwinden, wo sich die Bilder von ab und bc überdecken, so ist $L = L_1$, also

$$i^2 (\cos v)^2 = i_1^2 (\sin v)^2$$

oder

$$\frac{i^2}{i_1^2} = (\text{tang } v)^2.$$

Nun ist aber die Lichtstärke J der bei A eintretenden Strahlen proportional dem Quadrat der Amplitude i , also

$$J = ci^2,$$

und ebenso haben wir für die Lichtstärke der bei B eintretenden Strahlen

$$J_1 = c_1 i_1^2.$$

Die Factoren c und c_1 würden vollkommen gleich sein, wenn der Verlust an Lichtstärke, welchen die Strahlen beim Durchgange durch die Prismen p' und gcb erleiden, vollkommen dem Lichtverluste in p und dab gleich wäre, was aber in der Regel nicht der Fall ist. Wir haben also

$$\frac{J}{J_1} = \frac{c_1 i_1^2}{c i^2},$$

oder

$$\frac{J}{J_1} = C (\text{tang } v)^2 \dots \dots \dots 1)$$

wenn man $\frac{c_1}{c} = C$ setzt.

Die Grösse des Factors C lässt sich ermitteln, wenn man bei A und B , Fig. 241, Licht von gleicher Intensität eintreten lässt, wenn also $J = J_1$ ist. Hat man für diesen Fall den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen im Polariskop verschwinden und den entsprechenden Winkel v_1 gemessen, so hat man:

$$C (\text{tang } v_1)^2 = 1,$$

also:

$$C = \frac{1}{(\text{tang } v_1)^2} \dots \dots \dots 2)$$

Zur Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten der Luft wendet nun Wild das eben beschriebene Photometer in folgender Weise an (Pogg. Ann. CXXXV, 1868). Vor die beiden Oeffnungen des in einem Zimmer aufgestellten Instrumentes P , Fig. 244, werden zwei Blechröhren R und R_1 so aufgestellt, dass ihre Axen gegen einen und denselben Punkt a einer geölten Papierscheibe gerichtet sind. Die Papierscheibe ist in der Oeffnung eines Fensters aufgestellt, dessen Flügel vollständig entfernt sind, so dass die Papierscheibe sehr gleichförmig durch das äussere Tageslicht erleuchtet ist. Ausserdem aber wird die Scheibe

durch ein Uhrwerk um einen unter *a* liegenden Mittelpunkt in gleichförmige Rotation versetzt.

Die Länge *l* der Röhren *R* und *R*₁ betrug 3,98 m, ihr Durchmesser 1 dm. An beiden Seiten war jede dieser Röhren mit einer Platte von Spiegelglas luftdicht verschlossen.

Um alles fremde Licht möglichst vollständig abzuhalten, waren im Inneren der Röhren *R* und *R*₁ zahlreiche Diaphragmen eingesetzt, welche eine centrale Oeffnung von nur 6 cm Durchmesser hatten. An der Röhre *R* sind zwei Seitenröhrchen *b* und *c'* angebracht; durch *b* kann das Innere des Rohres *R* mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, also evacuirt werden, durch *c'* aber kann man in die entleerte Röhre Luft einströmen lassen, welche zuerst durch einen Trockenapparat und alsdann durch eine Röhre mit Baumwolle gegangen ist, um möglichst allen Staub aus der eintretenden Luft zu entfernen. Die Röhrchen *b'* und *c* an dem Rohre *R*₁ dienen zu dem gleichen Zwecke, um nämlich *R*₁ evacuiren und dann mit getrockneter, filtrirter Luft füllen zu können.

Zwischen der Papierscheibe und den Röhren *R* und *R*₁ befindet sich zur Abhaltung fremden Lichtes noch ein innen geschwärzter, in der Hälfte seiner Länge mit einem in der Mitte durchbrochenen Diaphragma versehener Kasten.

Bezeichnen wir mit *I* die Lichtstärke, welche das ordinäre Bild von *ab* (Fig. 241) haben würde, wenn die Luft in der Röhre *R* gar kein Licht absorbirte, so ist die wirkliche Lichtstärke dieses Bildes

$$J = Ia^l,$$

wenn *a* den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in *R* enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, und *l* die Länge der Röhre bezeichnet. Ebenso ist die Intensität des extraordinären Bildes von *bc*

$$J_1 = Ia_1^l,$$

wenn *a*₁ den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in *R*₁ enthaltenen verdünnten Luft bezeichnet.

Setzen wir in Gleichung 1) für *J* und *J*₁ ihre oben angeführten Werthe, und für *v* den Winkel, auf welchen man den getheilten Kreis *m* einstellen muss, damit die Streifen verschwinden, wenn die

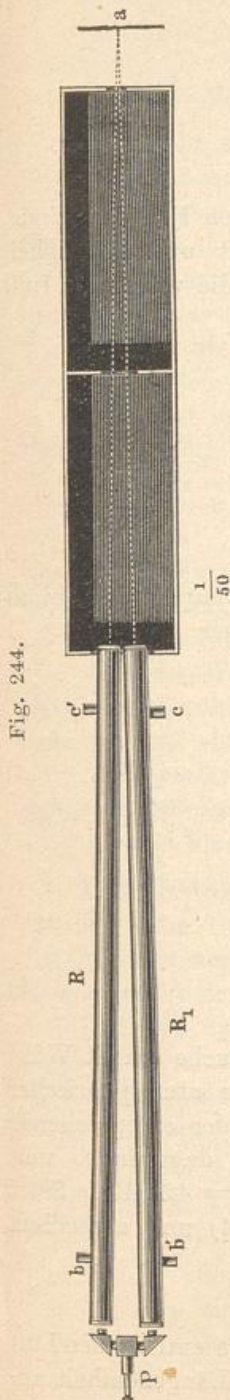


Fig. 244.

eine Röhre Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, die andere aber verdünnte Luft enthält, so kommt

$$\left(\frac{a}{a_1}\right)^l = C (\text{tang } v)^2,$$

und wenn man für C seinen Werth bei 2) setzt,

$$\frac{a}{a_1} \left(\frac{\text{tang } v}{\text{tang } v_1}\right)^{\frac{2}{l}} \dots \dots \dots 3)$$

wenn v_1 den Werth des Neutralisationswinkels für den Fall bezeichnet, dass beide Röhren Luft von gleicher Beschaffenheit und Dichtigkeit enthalten. Wenn die Luft in R n mal so dicht als die verdünnte Luft in R_1 , so ist

$$\begin{aligned} a &= a_1^n \\ a_1 &= a^{\frac{1}{n}} \\ \frac{a}{a_1} &= \frac{a}{a^{\frac{1}{n}}} = a^{1 - \frac{1}{n}} = a^{1 - \frac{p}{P}}, \end{aligned}$$

wenn man mit p den Druck der Luft in R_1 und mit P den in R bezeichnet. Aus der letzten Gleichung folgt aber ferner

$$\frac{a}{a_1} = a^{\frac{P-p}{P}}$$

und endlich

$$a = \left(\frac{a}{a_1}\right)^{\frac{P}{P-p}}$$

und wenn man für $\frac{a}{a_1}$ seinen Werth bei 3) setzt

$$a = \left(\frac{\text{tang } v}{\text{tang } v_1}\right)^{\frac{2P}{(P-p)l}} \dots \dots \dots 4)$$

Bei einem nach dieser Methode angestellten Versuche erhielt Wild folgende Resultate. Als beide Röhren mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit ($P = 715$ mm) gefüllt waren, ergab sich der entsprechende Neutralisationswinkel $v_1 = 43^\circ$. Als die Röhre R_1 dagegen so weit evacuirt worden war, dass $p = 40$ mm, ergab sich $v = 42^\circ 49'$. Setzt man diese Werthe von P , p , v und v_1 in Gleichung 4) und ausserdem $l = 3,98$, so kommt

$$a = 0,99659$$

auf den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in der Röhre enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, wenn man 1 m als Längeneinheit annimmt.

Nach einer Reihe sorgfältig angestellter Versuche ist bei atmosphärischem Druck (auf 1 m als Wegeinheit bezogen) der Durchsichtigkeits-Coëfficient

trockener, möglichst staubfreier Luft	0,99718
„ staubhaltiger Zimmerluft	0,99520
staubfreier, mit Wasserdampf gesättigter Luft	0,99388

Man sieht daraus, dass der Staubgehalt der Luft ihre Durchsichtigkeit sehr vermindert. Da aber staubfreie, trockene Luft durchsichtiger ist, als staubfreie, mit Wasserdampf gesättigte, so kann die vermehrte Durchsichtigkeit der Luft bei bevorstehendem Regen oder unmittelbar nach erfolgtem Niederschlage nicht sowohl von der Feuchtigkeit der Luft als solcher, sondern nur daher rühren, dass durch den vermehrten Wasserdampf die Menge des in der Luft suspendirten Staubes und der herumfliegenden Pflanzenkeime vermindert wird.

Berechnet man nach dem oben angegebenen Werthe den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der staubfreien Luft für die Längeneinheit von 1000 Fuss, so erhält man ungefähr

$$a = 0,99718^{300} = 0,428,$$

ein Werth, der noch ungleich kleiner ist als derjenige, welcher sich mit Berücksichtigung der Pupillenveränderung aus den Schlagintweit'schen Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer ergibt.

Nach den Wild'schen Versuchen ist also die Lichtabsorption wenigstens in den zunächst über dem Boden ruhenden Luftschichten eine weit bedeutendere, als man bis dahin annehmen zu können glaubte.

Nach vorläufigen Versuchen von Wild ist übrigens der Durchsichtigkeits-Coëfficient nicht für alle Farben derselbe, er ist kleiner für blaue als für rothe Strahlen.

Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers. Die Besprechung der Durchsichtigkeit und der Farbe des Wassers gehört zwar streng genommen nicht in dieses Capitel, dennoch dürfte hier wohl die passendste Stelle dafür sein.

Ogleich das reine Wasser in kleinen Quantitäten vollkommen durchsichtig erscheint, so übt es doch eine bedeutende Absorption auf Lichtstrahlen aus, welche einen etwas längeren Weg im Wasser zurückzulegen haben.

Nach Wild's Messungen ist der Durchsichtigkeits-Coëfficient des Wassers auf 1 m als Wegeinheit reducirt (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868) bei einer Temperatur von 17°C., nach der Filtration durch

Grobes Filtrirpapier	0,5368
Mittelfeines „	0,6491
Feinstes „	0,7978

Diese Zahlen zeigen, wie bedeutend die Durchsichtigkeit des Wassers durch Staubtheilchen beeinträchtigt wird, welche im Wasser suspendirt

sind. Aber selbst für das reinste Wasser ist die Lichtabsorption noch so bedeutend, dass eine Schicht von 5 m Länge ungefähr nur noch $\frac{1}{3}$ des auffallenden Lichtes, eine Schicht von 300 m Länge aber so gut wie gar kein Licht mehr durchlässt.

Mit wachsender Temperatur nimmt der Durchsichtigkeits-Coëfficient des Wassers ab. Wild fand denselben, auf 1 m Wegeinheit bezogen, für destillirtes, durch grobes Papier filtrirtes Wasser

bei 24,4° C. gleich 0,4247

„ 6,2° C. „ 0,5844

Daraus erklärt sich nun auch, dass die Farbe des Wassers in Seen und Flüssen im Sommer eine dunklere und gesättigtere ist als im Winter, und dass ebenso das Wasser des Golfstromes intensiver gefärbt erscheint, als das umgebende Wasser.

Das reine Wasser ist, wie es Bunsen experimentell bewiesen hat, nicht farblos, wie man gewöhnlich annahm, sondern es besitzt von Natur eine rein blaue Färbung. Er beobachtete diese Färbung, als er durch eine 2 m lange Wassersäule weisse Porcellanstücke betrachtete.

Um die Farbe des destillirten Wassers zu beobachten, wandte Beetz (Pogg. Ann. CXV, 1862) einen aus Guttapercha verfertigten Kasten,

Fig. 245.

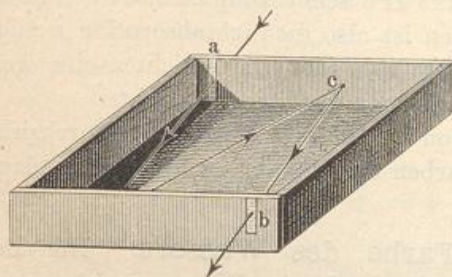


Fig. 245, an, dessen Vorder- und Hinterwand durch dünne geschliffene Glasplatten gebildet ist, welche auf ihrer Innenseite mit einer polirten Silberbelegung versehen sind. Der Abstand der beiden Glasplatten betrug 250, die Breite derselben 150 cm. An der Hinterwand ist bei *a*, an der Vorderwand ist bei *b* ein verticaler Streifen der Belegung

fortgenommen. Lässt man nun ein Bündel Sonnenstrahlen, welches durch den Spiegel eines Heliostats reflectirt, in horizontaler Richtung in ein dunkles Zimmer eingetreten ist, in gehöriger Richtung durch den Spalt bei *a* eintreten, so wird es nach einmaliger Reflexion an der Vorderwand und nach einmaliger Reflexion an der Hinterwand, nachdem es also die Länge des Kastens dreimal durchlaufen hat, durch den Spalt bei *b* austreten. Durch entsprechende Drehung des Kastens gegen die einfallenden Strahlen kann man es dahin bringen, dass die Strahlen bei *b* austreten, nachdem sie die Länge des Kastens fünfmal, siebenmal u. s. w. durchlaufen haben. Fängt man die bei *b* austretenden Strahlen auf einem Schirme von weissem Papier auf, so erhält man auf demselben ein Bild, dessen obere Hälfte weiss, dessen untere Hälfte aber blau gefärbt ist, wenn man den Kasten bis zur Hälfte seiner Höhe mit destillirtem Wasser füllt.

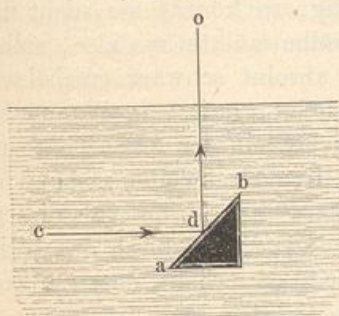
Auch subjectiv lässt sich die Erscheinung beobachten, wenn man den Spalt *a* durch diffuses Licht erleuchtet und beim Spalt *b* in den Apparat hineinschaut. Man erblickt dann auf der gegenüber liegenden Spiegelwand eine Reihe gefärbter Bilder des Spaltes *a*, dessen erstes bei *c* erscheint und von Strahlen herrührt, welche die Länge des Kastens dreimal durchlaufen haben, während die folgenden der Reihe nach weiter rechts liegenden Bilder die Länge des Kastens fünf-, sieben-, neunmal durchlaufen haben, und deshalb der Reihe nach immer dunkler gefärbt erscheinen.

Als Beetz den Kasten mit Wasser aus dem Achensee füllte, erschienen die Bilder des Spaltes *a* ebenso rein blau, als bei Anwendung von destillirtem Wasser, während das Wasser aus dem Tegernsee eine intensiv grüne Färbung zeigte.

Ein Hinderniss für die Reproduction des eben beschriebenen Beetz'schen Apparates dürfte übrigens in der Schwierigkeit liegen, die dazu nöthigen Silberspiegel zu erhalten; man wird deshalb wohl zu Blechröhren von etwa 4 m Länge seine Zuflucht nehmen müssen, welche an beiden Enden durch Platten von möglichst farblosem Spiegelglas verschlossen sind.

Um die Farbe des Lichtes zu beobachten, welches einen längeren Weg in horizontaler Richtung im Wasser des Meeres oder eines Sees

Fig. 246.



zurückgelegt hat, schlug Arago vor, ein mit Luft gefülltes, ringsum wasserdicht verschlossenes Hohlprisma anzuwenden, dessen Hypotenusenfläche *ab*, Fig. 246, durch geschliffenes Spiegelglas gebildet ist. Wird dies Prisma so in Wasser eingetaucht, dass die Glasfläche *ab* einen Winkel von 45° mit der Verticalen macht, so werden die in horizontaler Richtung *cd* auf die Glasplatte fallenden Strahlen hier eine totale Reflexion erleiden und in verticaler Richtung *do* ins

Auge des Beobachters gelangen. Poggendorff meinte, es genüge eine Platte von Spiegelglas in der Lage, wie *ab*, Fig. 246, ins Wasser zu versenken; es müsste aber doch wenigstens die untere Fläche dieser Glasplatte mit einer Spiegelbelegung versehen sein, wenn die nach oben reflectirte Lichtmenge nicht gar zu unbedeutend sein soll.

Als Beetz eine durch Glasplatten geschlossene, noch mit Luft gefüllte Blechröhre in der Art unter den Wasserspiegel im Tegernsee untertauchte, dass die obere Glasplatte in die Lage kam, wie *ab*, in Fig. 246, beobachtete er ein so intensiv smaragdgrünes Licht, wie er es auf anderem Wege niemals gesehen hatte, im Achensee aber ein blaues Licht, wie wenn es durch eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol hindurchgegangen wäre.

Wittstein hat durch chemische Untersuchungen nachgewiesen (Sitzungsbericht der bayerischen Akademie, 1860), dass die grüne Farbe des Wassers organischen Beimischungen ihren Ursprung verdanke. Mit Zunahme derselben geht die blaue Farbe des Wassers allmählich in die grüne, und aus dieser, wenn das Blau immer mehr zurücktritt, in die braune über, wie man sie in norddeutschen Landseen und in den Seen des Schwarzwaldes wahrnimmt. Die Auflösung organischer Substanz in Gestalt von Humussäure ist übrigens vom Alkaligehalte des Wassers abhängig. Wasser ohne Alkali kann die Humussäure nicht auflösen.

Sainte-Claire Deville hat die Beobachtung gemacht, dass solche Wasser, welche nach der Verdampfung einen weissen Rückstand lassen, blau sind, während diejenigen, deren Rückstand gelb oder bräunlich ist, grün sind.

151 **Die allgemeine Tageshelle.** Mag nun die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre von den Lufttheilchen selbst herrühren, oder durch Wasserdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen veranlasst sein, so ist klar, dass jedes Partikelchen, welches einen Theil des auf dasselbe fallenden Lichtes aufhält, Veranlassung zu einer Reflexion und Diffusion von Licht bietet. Diese Reflexion und Diffusion des Lichtes innerhalb der Atmosphäre ist die Ursache der allgemeinen Tageshelle.

Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie nicht das mindeste Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müsste uns also, selbst wenn die Sonne über dem Horizonte steht, absolut schwarz erscheinen, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müsste vollkommene Finsterniss herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, dass bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so dass die Sterne vor diesem gleichmässig ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht des Mondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, dass zur Zeit des Vollmondes nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Es wird vielfach erzählt, dass man aus tiefen Bergwerksschachten und durch Schornsteine selbst bei Tage nahe dem Zenith stehende Sterne sehen könne; die Richtigkeit dieser Behauptung ist aber höchst zweifelhaft, da das Rohr, durch welches man in einem solchen Falle aufschaut, die Helligkeit des Himmelsgewölbes im Zenith nicht zu schwächen vermag. Auch versichert Humboldt (Kosmos III, S. 71 der Ausgabe von 1850), so viel er sich auch in tiefen Bergwerksschachten aufhielt, niemals eine solche Beobachtung gemacht und auch in mexikanischen, peruanischen und sibirischen Bergwerken nie ein Individuum gefunden zu haben, welches in den Gruben bei Tage Sterne gesehen hätte.

Dem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdanken wir also die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also im Schatten,

in unseren Zimmern eine gleichmässig verbreitete Helligkeit herrscht. Je grösser die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Gebirge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am grössten, wenn der Himmel mit dünnen, faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz reinem, blauem Himmel.

Die Farbe des Himmels. Wenn der Himmel nicht durch 152 Wolken oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekanntlich eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Färbung.

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens annähernd genaue Messung zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem Berlinerblau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom reinen Weiss bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von Tusche bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschreitender Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleich grosse Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfange eines Kreises aufgeklebt. Diese 53 Nüancen von Weiss durch Blau zum Schwarz wurden Grade genannt, und die Grade wurden von Weiss anfangend gezählt.

Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen, so hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobachtung muss wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat, den man Rotationcyanometer nennen kann; es besteht aus einer weissen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3... Sektoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sektoren, die man auf die weisse oder die schwarze Scheibe bringen muss, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen.

Diese beiden Vorrichtungen sind in mancher Beziehung unbequem und mangelhaft. Arago machte den Vorschlag, die blaue Färbung, welche doppelbrechende Krystallplättchen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau solcher Krystallplättchen erreicht nämlich seine grösste Intensität, wenn das einfallende Licht vollkommen polarisirt ist; je unvollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist,

desto blasser und mehr dem Weiss sich nähernd wird die blaue Färbung des Blättchens. Aber auch die Herstellung und Ausführung eines auf dieses Princip gegründeten Cyanometers stösst auf mannigfache Schwierigkeiten und es scheint bis jetzt wenigstens das Polarisationscyanometer noch nicht in die Praxis eingetreten zu sein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt uns, dass die blaue Färbung desselben im Zenith am intensivsten ist, und dass sie nach dem Horizont hin mehr und mehr weisslich wird. An einem heiteren Tage fanden Saussure in Genf und Humboldt auf dem Atlantischen Ocean ($16^{\circ} 19'$ nördlicher Breite) für die Bläue des Himmels in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe	Cyanometergrade	
	Humboldt	Saussure
1 ⁰	3,0 ⁰	4,0 ⁰
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erscheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Saussure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° seines Cyanometers, während gleichzeitig zu Genf nur $22,5^{\circ}$ beobachtet wurden. An einem sehr schönen Tage stieg auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37° ; auf dem Gipfel des Montblanc wurden sogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern ist die Farbe des Himmels tiefer blau als in solchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleicher geographischer Breite ist der Himmel der Binnenländer blauer, als auf dem Meere und den Küstenländern, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass das reine Blau des Himmels besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe, durch feine Nebel gebleicht wird, welche den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre reflectirten Lichte herrührt, zeigen Lichtstrahlen, welche einen weiten Weg durch die unteren dichteren Schichten des Luftmeeres zurückgelegt haben, eine tiefgelbe bis ins Rothe spielende Färbung. Während der Mond, wenn er hoch über dem Horizonte steht, mit einem weissen, ja etwas bläulichen Lichte strahlt, sehen wir dieses Gestirn oft blutroth aufgehen, und ebenso ist die prachtvolle Erscheinung des Morgen- und

Abendrothes ein Beweis dafür, dass die Atmosphäre vorzugsweise orange-farbenen und rothen Strahlen den Durchgang gestattet.

Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes. Viele Physiker, und unter diesen besonders Brandes, suchen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, dass die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes (Pogg. Ann. XLVI, 349; XLVII, 593) rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenrothes nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

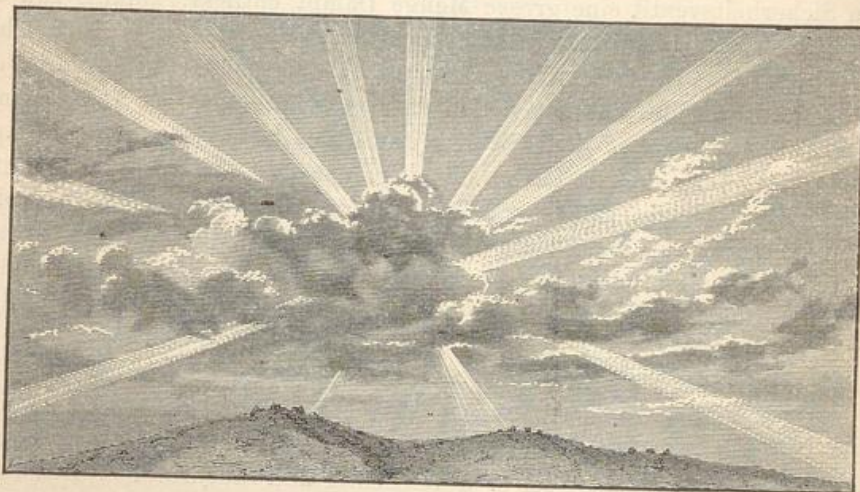
Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine grosse Menge Dampf entliess; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in grösserer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mässiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Forbes meinte nun, die Orangefarbe des Dampfes gehöre einer besonderen Stufe der Verdichtung an, bei vollkommener Gasgestalt sei der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande aber sei er durchsichtig und rauchroth. Vollständig zu Nebelbläschen verdichtet, ist die durch dieselben gebildete Wolke bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei grosser Dicke vollkommen undurchsichtig.

Die Annahme eines solchen Uebergangszustandes ist, wie sich aus den im nächsten Paragraphen zu besprechenden Thatsachen ergibt, ganz überflüssig, indem der Wasserdampf in vollkommen gasförmigem Zustande stark absorbirend auf die violetten und blauen Strahlen des Spectrums wirkt und vorzugsweise nur die gelben und rothen Strahlen durchlässt. Das Abendroth erklärt sich dadurch, dass die Sonnenstrahlen einen weiten Weg durch die tieferen, reichlich mit Wasserdampf beladenen Luftschichten zu durchlaufen haben. Das Morgenroth ist durchschnittlich weniger feurig als das Abendroth, weil die Luft in den Morgenstunden meist weniger Wasserdampf enthält als in den Abendstunden. Ein lebhaft gefärbtes Morgenroth ist ein Beweis, dass der Wassergehalt der Luft für diese Tagesstunden ungewöhnlich gross, und deshalb meist ein Vorbote baldigen Regens ist.

Eine mit der Abendröthe häufig vorkommende Erscheinung sind die Dämmerungsstrahlen (rayons crépusculaires), Fig. 247, welche entstehen, wenn in der Luft schwebende Cumulus- oder Stratocumuluswolken durch Lücken unterbrochen sind und die Sonne, durch diese hindurchscheinend, einzelne Partien der Atmosphäre erleuchtet, während ihre Umgebung im Schatten bleibt. In Wirklichkeit sind die durch die Lücken einer Wolke hindurchdringenden Lichtstreifen unter sich parallel und die Querschnitte jedes einzelnen Strahles sind überall von gleicher Form und Grösse; dass sie conisch und fächerförmig divergirend erscheinen, ist lediglich eine Wirkung der Perspective.

Wenn die Dämmerungsstrahlen bei noch ziemlich hoch stehender Sonne vorzugsweise nach unten gerichtet erscheinen und eine blassgelbliche Färbung zeigen, so pflegt man zu sagen, die Sonne ziehe Wasser.

Fig. 247.



Ein solcher Zustand des Abendhimmels ist ein ziemlich sicheres Zeichen bald eintretenden Regens.

Bei heiterem Wetter sind die Dämmerungsstrahlen oft selbst nach Untergang der Sonne noch sichtbar, und sehr schön zeigt sich diese Erscheinung namentlich in den Tropenländern. Nach einer Mittheilung von Dr. Ernst in Carácas bemerkt man daselbst an klaren Abenden am westlichen Horizonte nach Sonnenuntergang drei bis vier deutlich begrenzte rothe Strahlenbüschel, welche durch blaue Intervalle getrennt erscheinen und gegen die bereits unter dem Horizonte befindliche Sonne convergiren. Die rothen Strahlen erheben sich nicht selten bis zu 60° über den Horizont und bleiben oft eine halbe Stunde lang sichtbar. Die Erscheinung ist dieselbe, welche in Ceylon und vielleicht auch in anderen Gegenden Ostindiens unter dem Namen Buddha's rays bekannt ist. Sie ist offenbar durch Wolken bedingt, welche noch unter dem Horizonte liegen.

Clausius suchte die blaue Färbung des wolkenfreien Himmels auf Wasserbläschen zurückzuführen und zu beweisen (Pogg. Ann. LXXVI), dass die atmosphärische Reflexion weder von feinen, undurchsichtigen, in der Luft schwebenden fremden Partikelchen, noch von massiven Wasserkugeln herrühren könne, sondern dass dieselbe von den zarten, in der Luft schwebenden Wasserbläschen abzuleiten sei.

Diese Wasserbläschen verhalten sich nun ganz wie mikroskopische Seifenbläschen; sie werden eine von der Dicke der dünnen Wasserhülle abhängige Farbe reflectiren; bei der geringsten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen lässt, zeigt sich das Blau erster Ordnung. Wenn demnach in der Luft nur solche Wasserbläschen schweben, deren Hülle die Dicke nicht überschreitet, welche das Blau erster Ordnung liefert, so müssen sie nach der Ansicht von Clausius den Himmel mit dem Blau erster Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, so werden die schon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden sich von Neuem die feinen Bläschen, so dass dann von einer bestimmten Grenze der Dicke bis zu den feinsten herab Wasserbläschen von allen Zwischenstufen gleichzeitig in der Luft schweben; es kann deshalb auch der Himmel nicht etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, sondern das Zusammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zusammen nur eine weissliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um so mehr bleicht, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemischt sind.

Schon Newton hatte die Ansicht ausgesprochen, dass das Blau des Himmels das Blau erster Ordnung sei, ohne jedoch diese Ansicht weiter auszuführen oder zu begründen, wie dies von Clausius geschehen ist. Wenn man aber mit Aufmerksamkeit die Farben der Newton'schen Ringe betrachtet, so wird man gestehen müssen, dass in der ganzen ersten Ordnung kein Blau vorkommt, welches sich auch nur entfernt mit dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen liesse. Das Blau erster Ordnung ist ein nur wenig ins Blaue spielendes Weiss; das Schwarz des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches Grau in bläuliches Weiss und dieses in Gelblichweiss über. Von dieser Seite also scheint die Theorie von Clausius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den vorliegenden Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden; zu einer solchen Uebereinstimmung könnte man aber auf folgendem Wege gelangen.

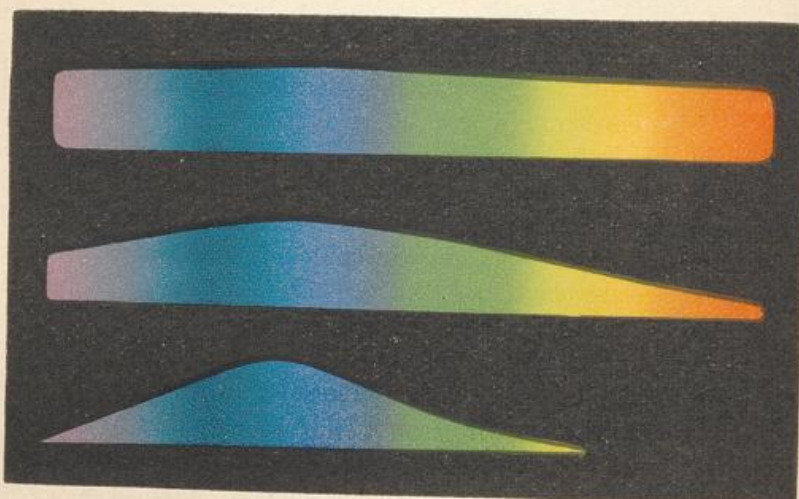
Der oberste Streifen in Fig. 248 (a. f. S.) zeigt nach der in dem Lehrbuche der Physik näher erörterten Weise, wie das Blau erster Ordnung zusammengesetzt ist. Während das Blau vollständig reflectirt wird, bleibt von dem zum reinen Weiss gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum reinen Weiss gehörigen Roth noch 0,83 übrig. Man sieht nun leicht ein, dass in dem Blau erster Ordnung von allen Farben des Spec-

trums noch so viel übrig bleibt, dass ein entschiedenes Vorherrschen von Blau unmöglich ist.

Wenn aber das Blau erster Ordnung, welches von einem ersten Wasserbläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, so wiederholt sich derselbe Vorgang. Bezeichnen wir die Intensität des von dem zweiten Wasserbläschen reflectirten Blau mit 1, so ist die Intensität des vom zweiten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0,96^2$ und des vom zweiten Bläschen reflectirten Roth nur noch $0,83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem solchen feinen Wasserbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrschen des Blau abschwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen wir die Intensität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem die Lichtstrahlen der Reihe nach von zehn Wasserbläschen

Fig. 248.



reflectirt worden sind, deren jedes für sich im weissen Lichte Blau der ersten Ordnung zeigt) mit 1, so ist die Intensität des Violett nach zehnmaliger Reflexion nur noch $0,96^{10} = 0,66$ und die des Roth nur noch $0,83^{10} = 0,15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 248 zeigt die Zusammensetzung der Farbe, welche von dem ursprünglich weissen Lichte bleibt, nachdem es der Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden ist, von welchen jedes für sich allein im weissen Lichte das Blau erster Ordnung zeigt. In gleichem Sinne stellt der unterste Streifen in Fig. 248 das Blau erster Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blasses, weissliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Färbung entstehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn

auch kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenziertes Blau erster Ordnung sein.

Atmosphärische Linien. Schon in §. 137 ist von atmosphä- 154
rischen Linien die Rede gewesen, welche sich im Sonnenspectrum zeigen. Es treten nämlich bei niedrigem Stande der Sonne im Sonnenspectrum dunkle Linien und Bänder auf, welche zur Mittagszeit gar nicht oder doch nur schwach sichtbar sind. Diese Linien rühren von einer Lichtabsorption in der Atmosphäre her und werden grossentheils durch die Gegenwart des Wasserdampfes in der Luft bedingt.

Man kann diese Linien am einfachsten beobachten, wenn man mit einem geradlinigen Spectroskop nach dem durch die untergehende Sonne gerötheten Himmel schaut. Man sieht dann, wie das Spectrum Nr. 2 auf Tab. 10 zeigt, in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums dunkle Bänder, von welchen bei höherem Stande der Sonne nichts wahrzunehmen ist, und von denen besonders zwei auffallen, welche in einem hellen gelben Streifen getrennt erscheinen und von denen das eine mit δ bezeichnet ist. Fig. 249 (a. f. S.) ist eine verkleinerte Copie der sorgfältig ausgeführten Abbildung, welche Angström in dem Atlas zu seinen „Recherches sur le spectre solair“ (Upsala 1868) von den atmosphärischen Linien gegeben hat. Das von δ zunächst nach dem Roth hin liegende dunkle Band deckt die Fraunhofer'sche Linie *D*. Selbst wenn die Sonne noch etwas höher steht, so dass die dunklen Bänder bei *D* und δ noch nicht merklich vortreten, erscheint doch schon der Zwischenraum zwischen ihnen als ein heller gelber Streif auf etwas dunklerem Grunde.

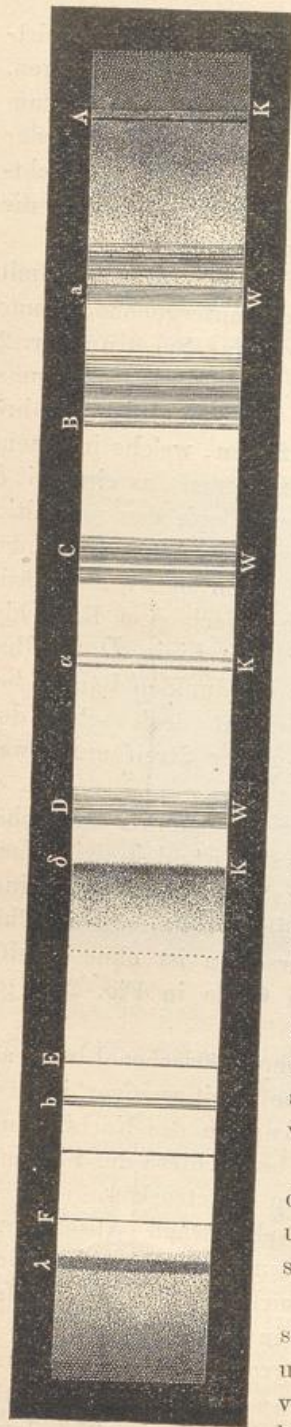
Der Erste, welcher die Veränderlichkeit der sogenannten atmosphärischen oder tellurischen Linien beobachtete, war Zantedeschi. Nach ihm haben sich zunächst Brewster und Gladstone mit dem Studium derselben beschäftigt und eine Zeichnung derselben veröffentlicht (Phil. Trans. 1860, T. 150). Die beste Abbildung derselben ist ohne Zweifel die bereits erwähnte Angström'sche, deren Copie in Fig. 249 gegeben ist.

Janssen fand im Jahre 1864, dass die atmosphärischen Linien auf dem Gipfel des Faulhorn (2683 m Meereshöhe) weit weniger intensiv erscheinen als in der Ebene. Bei Genf liess Janssen des Nachts einen Scheiterhaufen von Tannenholz anzünden, und beobachtete die Flammen aus einer Entfernung von 21000 m durch ein Spectroskop. Das so beobachtete Spectrum zeigte dieselben atmosphärischen Absorptionsstreifen, wie das Spectrum der untergehenden Sonne, während eine solche Flamme, in der Nähe beobachtet, ein continuirliches Spectrum liefert. Aehnliche Beobachtungen stellte auch Secchi in Rom an.

Dass die atmosphärischen Linien zum grossen Theil wenigstens vom Wasserdampf in der Luft herrühren, hat Janssen dadurch bestätigt, dass er das Licht von 16 combinirten Gasflammen durch eine 37 m lange,

an beiden Enden durch starke Platten von Spiegelglas geschlossene eiserne Röhre beobachtete, welche mit gesättigtem Wasserdampf von sieben Atmosphären Spannkraft gefüllt war. Es zeigte sich ein Absorptionsspectrum, dessen dunkle Linien sich sämtlich unter den tellurischen Linien des Spectrums der untergehenden Sonne wiederfinden, während sich diese Absorptionslinien nicht zeigten, wenn die Röhre nicht mit Wasserdampf, sondern mit trockener Luft gefüllt war.

Fig. 249.



Angström hat übrigens den Beweis geliefert, dass keineswegs alle mit dem Stande der Sonne veränderlichen und deshalb als tellurische zu bezeichnenden Linien vom Wasserdampf der Atmosphäre herrühren. Im Januar 1864 beobachtete er zu Upsala bei einer Temperatur von -27° C. wiederholt das Sonnenspectrum. Die tellurischen Streifen bei *D*, *C* und *a*, sowie diejenigen zwischen *a* und *B* waren fast vollständig verschwunden, während die Gruppen *A* und *B*, und eine dritte, ungefähr in der Mitte zwischen *D* und *C* gelegene und in unserer Figur mit α bezeichnete, sehr intensiv waren. Dasselbe gilt von dem Absorptionsstreifen δ , links von *D*. Bei genügender Vergrößerung lässt sich der Schattenstreifen δ , wenn er eben merklich zu werden beginnt, in sehr feine Linien auflösen; beim Untergang der Sonne aber vereinigen sich diese Linien und bilden ein zusammenhängendes, dunkles Band.

Diese Absorptionspartien bei *A* und *B*, α und δ rühren also nicht von Wasserdampf, sondern höchst wahrscheinlich von einem zusammengesetzten permanenten Gase, vielleicht von Kohlensäure, her.

In unserer Figur sind die von Wasserdampf herrührenden Absorptionsstreifen am unteren Rande mit *W*, die übrigen atmosphärischen Absorptionspartien sind mit *K* bezeichnet.

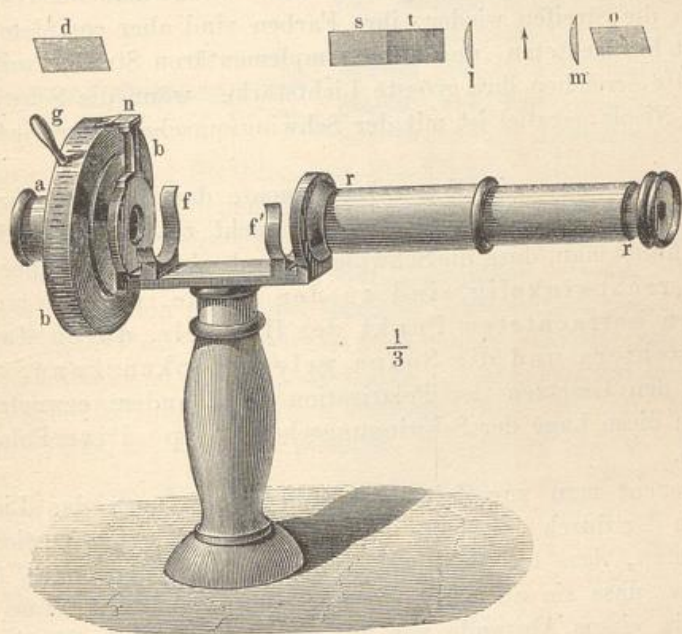
Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran. Zuerst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis *G*. Während dann die Absorption von *G*

gegen das Roth hin fortschreitet, treten die oben besprochenen Absorptionsbänder und Linien im Roth und Gelb auf, und zwar um so dunkler werdend, je tiefer die Sonne sinkt. Zuletzt bleiben nur noch die hellen Partien im Roth und Orange zwischen *B* und *D*, und die grüngelbe Partie unmittelbar links von δ ; am hellsten aber bleibt der Zwischenraum zwischen *D* und δ .

Durch diese einfachen Absorptionsphänomene erklären sich nun die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe weit einfacher, als durch die übrigen zu diesem Zwecke aufgestellten Theorien.

Polarisation des blauen Himmels. Da das Licht, welches uns irgend ein Punkt des blauen Himmelsgewölbes zusendet, ursprüng-

Fig. 250.



lich von der Sonne ausgehendes, aber von den einzelnen Lufttheilchen reflectirtes Licht ist, so muss es auch die Erscheinung einer partiellen Polarisation zeigen.

Die Polarisation der Atmosphäre wurde im Jahre 1809 zuerst von Arago beobachtet. Schon eine einfache, parallel mit der Axe geschliffene Turmalinplatte oder ein Nicol'sches Prisma genügt, um die Erscheinung zu beobachten, am schönsten zeigt sie sich aber bei Anwendung des Polariskops von Savart. Es besteht dasselbe aus einer Combination zweier gleich dicker, unter einem Winkel von 45° gegen die optische Axe geschnittener, gekreuzter Quarzplatten mit einem Polarisator, also einer Turmalinplatte oder einem Nicol'schen Prisma, dessen Schwingungsebene

einen Winkel von 45° mit den beiden Schwingungsebenen der Quarzplatten macht. Das an dem Apparat Fig. 250 (a. v. S.) befindliche Rohr *rr* ist nichts Anderes, als ein Savart'sches Polariskop. Man braucht dasselbe, nachdem es von dem Stativ abgeschraubt worden ist, nur gegen einen Punkt des blauen Himmels zu richten, um die fraglichen Farbstreifen zu sehen, deren Intensität zu- oder abnimmt, wenn man das Rohr bei unveränderter Richtung um seine Axe dreht. Hat man nun das Rohr so gedreht, dass bei schwarzem Mittelstreifen (vorausgesetzt, dass die beiden Quarzplatten *s* und *t* genau gleich dick sind) die Curven möglichst kräftig erscheinen, so steht die Schwingungsebene des Nicols rechtwinkelig auf der Schwingungsrichtung der vom beobachteten Punkte des Himmels kommenden Strahlen. Dreht man von dieser Stelle aus das Rohr *rr* um seine Axe, so werden die Streifen blasser und verschwinden, wenn man um 45° gedreht hat. Dreht man noch weiter, so erscheinen die Streifen wieder, ihre Farben sind aber complementär zu den zuerst beobachteten, und diese complementären Streifen mit Weiss in der Mitte erreichen ihre grösste Lichtstärke, wenn die Schwingungsebene des Nicols parallel ist mit der Schwingungsebene der einfallenden Strahlen.

Wenn man nun mit diesem Instrumente das Licht solcher Punkte des blauen Himmels untersucht, welche nicht zu nahe am Horizonte liegen, so findet man, dass die Schwingungen des Lichtes, welches sie uns zusenden, rechtwinkelig sind zu der Ebene, welche man sich durch den betrachteten Punkt des Himmels, durch das Auge des Beobachters und die Sonne gelegt denken kann, wie sich dies nach den Gesetzen der Polarisation nicht anders erwarten liess. Wir wollen diese Lage der Schwingungsebene als positive Polarisation bezeichnen.

Untersucht man zur Zeit des Sonnenunterganges das Licht des Himmels in der durch die Sonne und das Zenith gelegten Verticalebene, so findet man, dass die Polarisation in der Nähe der Sonne äusserst schwach ist, dass sie aber mit der Entfernung von der Sonne stärker wird und in einem Abstände von 90° von der Sonne ihr Maximum erreicht, um jenseits dieses Punktes wieder bis zu einem von Arago aufgefundenen neutralen Punkte abzunehmen, der übrigens nicht mit dem der Sonne diametral gegenüber liegenden antisolaren Punkte zusammenfällt, sondern nach Arago's Bestimmungen 20 bis 30° über demselben liegt.

Nach Brewster's Beobachtungen ändert sich die Entfernung des Arago'schen neutralen Punktes von dem antisolaren mit dem Stande der Sonne. Wenn die Sonne noch $11\frac{1}{2}^\circ$ über dem Horizonte steht, der antisolare Punkt *a*, Fig. 251, also $11\frac{1}{2}^\circ$ unter dem Horizonte liegt, so liegt der neutrale Punkt gerade im Horizonte. Wenn die Sonne eben untergeht, so beträgt der Abstand zwischen dem antisolaren Punkte *a*, Fig. 252, und dem neutralen *n* $18\frac{1}{2}^\circ$; gegen Ende der Dämme-

zung, wenn also die Sonne unter den Horizont gesunken ist, beträgt der Abstand zwischen den Punkten a und n , Fig. 253, 25° .

Während die Polarisation der Strahlen vom Zenith bis zum neutralen Punkte eine positive ist, d. h. während die Schwingungsebene der entsprechenden Strahlen eine horizontale ist, ist die Polarisation der Strahlen, welche von Punkten zwischen n und dem Horizonte kommen, eine negative, d. h. die Schwingungsebene dieser Strahlen ist vertical.

In der durch die Sonne gelegten Verticalebene hat Babinet einen zweiten neutralen Punkt b aufgefunden, welcher ungefähr ebenso hoch über der Sonne steht, wie n über a , einen dritten, ebenso tief unter der Sonne stehenden, aber sehr schwer zu beobachtenden, neutralen Punkt hat endlich Brewster aufgefunden.

Die Existenz der neutralen Punkte sowohl, wie auch die negative Polarisation des Himmels in der Nähe des Horizontes (Zusammenfallen der

Schwingungsebene der Strahlen mit der Ebene, welche man durch die Sonne, das Auge und den tiefliegenden Punkt des Himmels gelegt denken kann, von dem die Strahlen kommen) erklärt sich durch die secundären Reflexionen, welche das Licht in der Atmosphäre erleidet. Das Licht, welches uns irgend ein Punkt des Himmels zusendet, ist zum Theil direct reflectirtes Sonnenlicht, und dieses ist stets positiv polarisirt (Schwingungsebene rechtwinkelig zu der durch die Sonne, das Auge und den beobachteten Punkt gelegten Ebene), zum Theil aber auch Licht, welches bereits von anderen Punkten des Himmels reflectirt worden ist und hier eine aber-

Fig. 251.

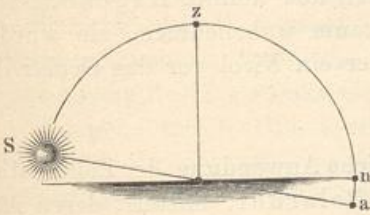


Fig. 252.

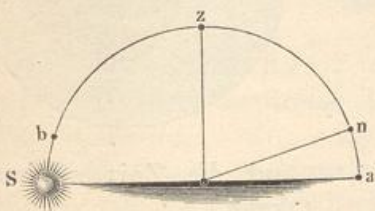
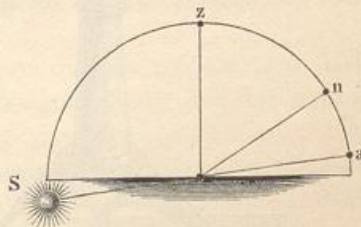


Fig. 253.



malige Reflexion erleidet. Die wiederholt in der Atmosphäre reflectirten Strahlen werden aber zum Theil negative Polarisation zeigen. Für höhere Punkte des Himmels herrscht die positive, für solche, welche dem Horizonte näher liegen, herrscht die negative Polarisation vor.

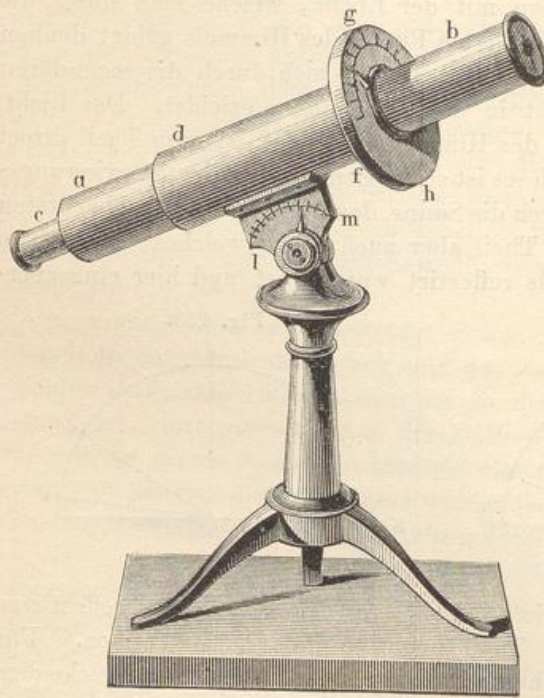
Es versteht sich von selbst, dass alles eben Gesagte nur vom unbewölkten Himmel gilt. Wolken zeigen keine Polarisation, und bedeutende Wolkenmassen stören auch den Polarisationszustand des übrigen Himmels.

Hagenbach hat die Beobachtung gemacht, dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern auch das Licht polarisirt ist, welches uns

die von der Sonne erleuchteten Luftschichten zuzenden, welche zwischen uns und entfernten Gebirgszügen liegen. Diese Polarisation zeigt sich immer sehr deutlich, wenn der Hintergrund dunkel und die zwischenliegende Luftschicht nicht zu klein ist. Wenn entfernte Gebirge durch die Wirkung des reflectirten Lichtes der zwischenliegenden Luftschichten undeutlich geworden sind, so lassen sie sich mit Hülfe eines passend gestellten Nicol'schen Prismas, welches einen Theil der von der Luftschicht reflectirten Strahlen wegnimmt, viel deutlicher sichtbar machen. Diese Wirkung des Nicols zeigt sich ebenso gut, man mag nun mit blossem Auge oder durch ein Fernrohr beobachten. Von dem Chrischona-berg (auf dem rechten Rheinufer bei Basel) aus konnte Hagenbach an einem schönen Tage die Berner Alpen kaum wahrnehmen, sie wurden aber deutlich und scharf sichtbar, als er ein Nicol vor das Ocular des Fernröhrchens brachte.

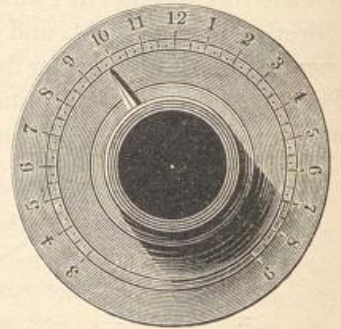
156 **Die Polaruhr.** Eine sehr sinnreiche Anwendung der Polarisation des blauen Himmels ist Wheatstone's Polaruhr, mittelst deren man

Fig. 254.



aus der Lage der Polarisationsebene des sichtbaren Poles des Himmels, bei uns also des Nordpols,

Fig. 255.



auf die Zeit schliessen kann.

Im Wesentlichen ist diese Polaruhr nichts Anderes, als ein gegen den Himmelspol gerichtetes und um seine Axe dreh-

bares Polariskop, welches so gefasst ist, dass man die Drehung desselben an einem entsprechend getheilten Kreise ablesen kann. In Ermangelung eines besonderen Modelles mag Fig. 254 dazu dienen, die Einrichtung der Polaruhr zu erläutern; *ab* ist das Rohr des Polariskops, an welchem bei *c* das Ocularnicol undrehbar gegen *ab* befestigt ist. Das Rohr *ab* steckt

in der Hülse d und kann in derselben frei um seine Axe gedreht werden. Die auf einem passenden Stativ befestigte Hülse d trägt einen getheilten Kreis, über dessen Theilung sich ein am Rohre ab befestigter Zeiger hinbewegt, wenn das Rohr ab gedreht wird. Fig. 255 zeigt diesen in Stunden und Viertelstunden getheilten Kreis mit dem Zeiger in doppeltem Maassstabe der Fig. 254.

Die Polarisation des Nordpols des Himmels ist stets positiv, d. h. die Schwingungsebene der Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels zusendet, ist rechtwinkelig zu dem jeweiligen Stundenkreise der Sonne. Wenn also der Zeiger so an dem Rohre ab befestigt ist, dass er in die Schwingungsebene des Ocularnicros fällt, so werden die Farbenstreifen des Savart'schen Polariskops mit schwarzem Mittelstreifen möglichst brillant erscheinen, wenn das Rohr ab so gedreht ist, dass der Zeiger in die Ebene des Stundenkreises der Sonne zu liegen kommt.

Morgens um 6 Uhr muss demnach der Zeiger eine horizontale, Mittags um 12 Uhr muss er eine verticale Stellung haben. Die beiden Theilstriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, sind mit 6 bezeichnet; von demjenigen dieser beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufstellung des Instrumentes auf der Ostseite liegt, sind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum obersten Theilstrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet ist, auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum westlichen 6 sind dann die Nachmittagsstunden 1, 2, 3 etc. aufgetragen.

Da aber die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erst nach 6 Uhr Abends untergeht, und da man den Polarisationszustand des Nordpols des Himmels schon in der Morgen- und Abenddämmerung beobachten kann, ehe noch die Sonne selbst über dem Horizont steht, so beginnt die Theilung auf der Ostseite des Kreises auch schon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und ist bis auf einige Stunden nach 6 Uhr Abends fortgesetzt.

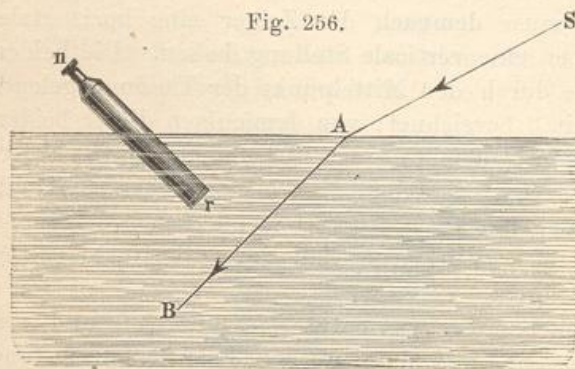
Die Neigung des Rohres ab gegen die Horizontale lässt sich beliebig ändern, und die Grösse dieser Neigung lässt sich auf dem Gradbogen lm ablesen.

Das Instrument wird nun so aufgestellt, dass die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr so geneigt, dass der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, dass das Rohr ab gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet ist. Nun wird das Rohr ab um seine Axe innerhalb der Hülse df umgedreht, bis die Streifen möglichst scharf erscheinen, und dann die entsprechende, von dem Zeiger angedeutete Zeit auf dem getheilten Kreise abgelesen.

Polarisation des blauen Wassers. Soret hat die interessante Beobachtung gemacht, dass auch das Licht des von der Sonne erleuchteten blauen Wassers der Seen polarisirt ist. Der Apparat, dessen er sich be-

diente, um diese Thatsache zu constatiren, war ein Rohr nr , Fig. 256, dessen Objectivende durch eine wasserdicht eingesetzte Platte von Spiegelglas geschlossen war, während ein Nicol'sches Prisma n das Ocularende der Röhre bildete. Taucht man nun an einer Stelle, an welcher das Wasser so tief ist, dass man den Grund nicht mehr sehen kann, das Objectivende des Rohres in das Wasser, wie Fig. 256 zeigt, so kann man die Polarisation des durch die Sonnenstrahlen erleuchteten Wassers beobachten, wenn man, in das Rohr hineinschauend, das Nicol um seine Axe dreht. Soret hat seine Versuche im Genfersee angestellt, dessen Wasser bekanntlich durch eine wunderbar schöne blaue Farbe ausgezeichnet ist.

Wenn bei ruhigem Wetter die Oberfläche des Wassers möglichst eben ist, so werden die parallel mit SA , Fig. 256, einfallenden Sonnenstrahlen parallel mit AB in das Wasser eindringen. Man beobachtet



nun ein Maximum von Polarisation, wenn das Rohr nr rechtwinkelig steht zu der Richtung AB der in das Wasser eingedrungenen Sonnenstrahlen, also am einfachsten, wenn bei entsprechender Neigung des Rohres die durch seine Axe gelegte Verticalebene mit der Verticalebene der Sonne zusammenfällt.

Die Polarisationsebene der unter diesen Umständen in das Rohr nr eindringenden Lichtstrahlen fällt mit dieser Verticalebene zusammen, die Vibrationen, welche diese Strahlen fortpflanzen, gehen also in horizontaler Richtung, rechtwinkelig zu der bezeichneten Verticalebene vor sich.

Je mehr die Oberfläche des Wassers bewegt ist, desto unvollständiger wird die Polarisation, weil nun die Sonnenstrahlen nicht mehr parallel unter sich, sondern nach den verschiedensten Richtungen in das Wasser eindringen. Wenn die Sonne nicht scheint, ist auch keine merkliche Polarisation wahrzunehmen, weil in diesem Falle das Wasser von verschiedenen Seiten her nahezu gleich stark erleuchtet ist. Auch beim hellsten Sonnenschein ist die Polarisation des Wassers doch nur eine partielle, weil die directen Sonnenstrahlen nicht die einzige Erleuchtungsquelle bilden.

Hagenbach fand durch Versuche, welche er im Luzerner See anstellte, die Beobachtungen Soret's vollkommen bestätigt. Nachdem er das Rohr in die dem Maximum der Polarisation entsprechende Lage, Fig. 256, gebracht und seine Stellung gegen den Kahn fixirt hatte, liess er den Kahn langsam eine Drehung um seine verticale Mittellinie machen.

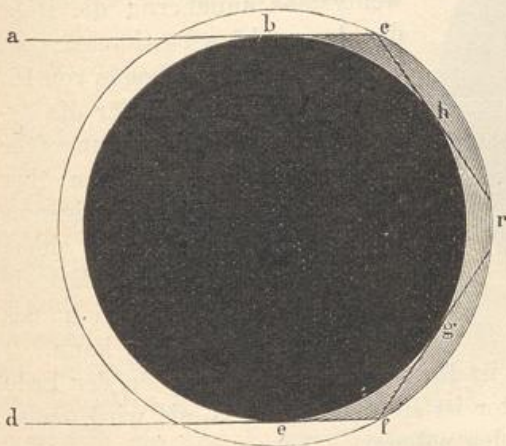
Dabei nahm die Stärke der Polarisation allmählich ab und verschwand endlich ganz, nachdem die Drehung bis auf 180° gewachsen war.

Die eben besprochene Polarisation rührt jedenfalls von einer Reflexion des Lichtes im Inneren des Wassers her, und überwiegt bedeutend die schwache, zu ihr rechtwinkelige Polarisation, welche durch die Brechung den in das Wasser eintretenden Strahlen ertheilt wird.

Soret nimmt an, dass sowohl die Farbe als auch die Polarisation des aus dem Wasser austretenden Lichtes von der Reflexion an der Oberfläche kleiner im Wasser suspendirter Partikelchen herrühre, während Hagenbach annimmt, dass sie wenigstens zum Theil durch einfache Reflexion an der Grenze ungleich erwärmter Wasserschichten bedingt sein könne. Durch Reflexion an der Grenze ungleich erwärmter Luftschichten liesse sich dann auch das blaue Licht und die Polarisation des Himmelsgewölbes erklären.

Die Dämmerung. Wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, so müsste gleich nach Sonnenuntergang eine vollständige Finsterniss eintreten; allein vor Sonnenaufgang sowohl als auch nach Sonnenuntergang wird über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffusion des Lichtes in der Atmosphäre herrührt.

Fig. 257.



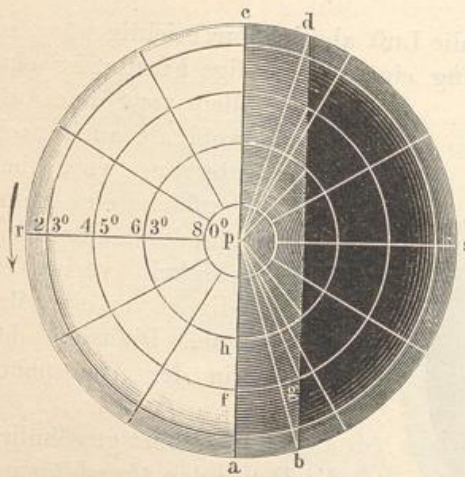
Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einstellen muss, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in einem ziemlich frei liegenden Hause die Lampen anzuzünden pflegt. Es ist dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgesunken ist. Die astronomische Dämmerung dauert aber länger, als die eben definirte bürgerliche; sie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am westlichen Himmel verschwindet, und dies ist so ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgesunken ist.

Fig. 257 stelle einen centralen Durchschnitt der Erde und ihrer Atmosphäre dar; *ac* und *df* seien Sonnenstrahlen, welche den festen Erdkern in zwei diametral einander gegenüberstehenden Punkten berühren, so ist klar, dass *berfe* derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns

von den äussersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten e und f der Atmosphäre die Tangenten ch und fg an die Erdkugel gezogen, so sind g und h diejenigen Punkte, bis zu welchen sich die astronomische Dämmerung erstreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwischen b und h sowohl, wie zwischen e und g befindet sich noch ein Theil der von den Sonnenstrahlen erleuchteten Atmosphäre über dem Horizont. In unserer Figur ist nun die Atmosphäre im Verhältniss zum Durchmesser der Erde viel zu hoch angenommen worden, und deshalb ist nun auch der Dämmerungsbogen bh in der Zeichnung viel grösser ausgefallen, als er in der Wirklichkeit ist; denn in der That beträgt, wie wir oben gesehen haben, die Grösse dieses Bogens nur ungefähr 18° .

Die Grenze zwischen dem noch durch Sonnenstrahlen direct erleuchteten und dem im Schatten befindlichen Theile der Atmosphäre ist

Fig. 258.



natürlich ebenso wenig genau bestimmbar, wie die obere Grenze der Atmosphäre überhaupt; doch lässt sich aus dem mittleren Werthe des Dämmerungsbogens wenigstens annähernd die Höhe der Atmosphäre bestimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18° ergibt sich nämlich für die Atmosphäre eine Höhe von ungefähr neun geographischen Meilen; über diese Höhe hinaus ist wenigstens die Atmosphäre schon in einem solchen Grade verdünnt, dass sie keine merkliche Reflexion des Lichtes mehr bewirken kann.

Die Dauer der Dämmerung ist für verschiedene Gegenden der Erde sehr ungleich; unter dem Aequator ist sie am kürzesten, sie wird um so länger, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Fig. 258 dient dazu, diese Verhältnisse anschaulicher zu machen; sie stellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältnissen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

Der Kreis $csar$ ist der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zusammenfällt; p ist der Nordpol der Erde; die Erdaxe ist zum Punkte verkürzt. Die in unserer Figur gezogenen concentrischen Kreise stellen die Parallelkreise von 23° , 45° , 63° und 80° nördlicher Breite dar. Der zur Linie verkürzte grösste Kreis epa ist derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluss der atmosphärischen Refraction unberücksichtigt geblieben ist). Macht man den Bogen ed gleich 18° , zieht man db parallel mit ca , so ist der zur Linie verkürzte Kreis db derjenige, bis zu welchem sich die astronomische Dämmerung erstreckt; $cdba$ ist der Dämmerungsgürtel.

Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden zweimal durch diesen Dämmerungsgürtel hindurch, und es ist leicht einzusehen, dass die Dauer des Verweilens in demselben von der geographischen Breite des Ortes abhängig ist.

Für einen Punkt des Erdäquators dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, den Bogen *ab* zu durchlaufen. Dieser Bogen beträgt aber 18° ; folglich ist die entsprechende Zeitdauer 72^m oder 1 Stunde 12 Minuten.

Für einen Ort, welcher auf dem 45. Breitengrade liegt, dauert die astronomische Dämmerung so lange als er braucht, um den Bogen *fg* zu durchlaufen, also nahezu 2 Stunden, da der Winkel *fpq* gleich 30° ist.

Auf dieselbe Weise ergibt sich, dass für den 63. Breitengrad die Dauer der astronomischen Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ein Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an die Nachtgrenze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums beträgt also für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Die Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $\frac{1}{3}$ von der astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

- auf dem Aequator etwas über $\frac{1}{3}$ Stunde,
- auf dem 45. Breitengrade ungefähr $\frac{2}{3}$ Stunde,
- auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
- auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Der Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten ist aber in der That noch grösser, als er sich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergibt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den Zustand der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die Luft, desto kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte, in der Höhe schwebende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und denselben Ort die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche sich eines tiefblauen Himmels erfreuen, werden eine verhältnissmässig kurze Dämmerung haben. In Chile dauert die Dämmerung nur $\frac{1}{4}$ Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequinoctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen lässt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas grösser.

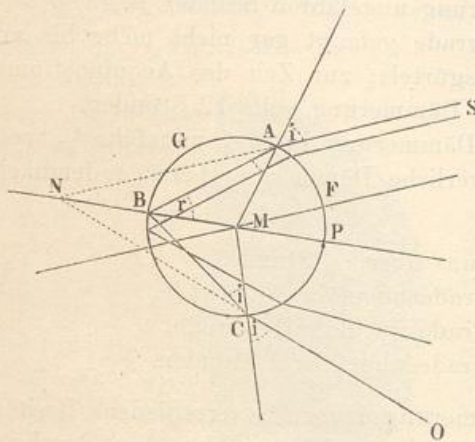
Der Regenbogen. Es ist allgemein bekannt, dass man einen 159
Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen

kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint der Regenbogen auch in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muss man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA , Fig. 259, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles AB zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i , den Brechungswinkel mit r , so ist $\sin i = 1,33 \sin r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt; der gespiegelte Strahl trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird nach der Richtung

Fig. 259.



CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC , so schneiden sie sich in N . Der Winkel ANC , den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Grösse dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B , in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallslot BN , so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2}d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Aussenwinkel des

Dreiecks MBA), und da $2r$ auch ein Aussenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

$$\frac{1}{2}d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i . Daraus folgt aber

$$d = 4r - 2i \dots \dots \dots 1)$$

Dieser Werth von d zeigt, dass der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Grösse des Einfallswinkels sich ändert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der auffallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$; wenn aber $i = 0$, so sind auch r und $d = 0$. Je mehr nun der Einfallswinkel nach A hinrückt, desto grösser wird i , und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender

Tabelle für einige Werthe von i geschehen ist. Es ist hierbei 1,33 als Brechungsexponent beim Uebergang der Lichtstrahlen aus Luft in Wasser angenommen.

i	r	d
10^0	$7^0 30'$	10^0
20	14 54	19 36'
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15

Nach dieser Tabelle ist die obere Curve der Fig. 1 auf Tab. 11 construirt, welche das Verhältniss anschaulich macht, in welchem der Einfallswinkel i zur Ablenkung d steht. Die verschiedenen Werthe von i sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man ersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 59 bis 60^0 ist. Wächst i noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, dass die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, dass durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindruckes, den sie hervorbringen, ganz ausserordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve ABC (Fig. 1, Tab. 11) diejenige Stelle, wo bei gleichmässiger Veränderung der Abscissen i die Ablenkung sich verhältnissmässig am wenigsten ändert, so finden wir, dass dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist; denn an dieser Stelle ist die Curve fast horizontal. Für alle Einfallswinkel i , welche selbst einige Minuten grösser oder kleiner sind als $59^0 30'$, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe $42^0 30'$; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verlässt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe $42^0 30'$ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus den Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Dasselbe Resultat, welches wir eben auf graphischem Wege abgeleitet haben, lässt sich aber auch in folgender Weise durch Rechnung erhalten.

Wenn der Einfallswinkel i um eine ganz kleine Grösse i' wächst oder abnimmt, so wird r um r' wachsen oder abnehmen und d die Aenderung d' erleiden. Die Gleichung 1) wird alsdann:

$$d + d' = 4r + 4r' - 2i - 2i' \dots \dots \dots 2)$$

Es handelt sich nun darum, denjenigen Werth von i zu finden, für welchen die Aenderung um die kleine Grösse i' keine Aenderung von d zur Folge hat, für welchen also $d' = 0$ wird. Aus der Combination der Gleichungen 1) und 2) folgt:

$$d' = 4r' - 2i',$$

also für den Fall, dass $d' = 0$ wird

$$i' = 2r' \dots \dots \dots 3)$$

i und r sind aber durch die Gleichung

$$\sin i = n \cdot \sin r \dots \dots \dots 4)$$

verbunden, wenn n den Brechungsexponenten aus Luft in Wasser bezeichnet, wir haben also auch:

$$\sin(i + i') = n \sin(r + r')$$

oder

$$\sin i \cos i' + \cos i \sin i' = n \cdot \sin r \cdot \cos r' + n \cos r \cdot \sin r';$$

da aber i' und r' sehr klein sind, so kann man

$$\cos i' = \cos r' = 1, \sin i' = i' \text{ und } \sin r' = r'$$

setzen und demnach wird die vorige Gleichung

$$\sin i + i' \cos i = n \cdot \sin r + nr' \cos r$$

und wenn man von dieser Gleichung die Gleichung 4) abzieht

$$i' \cos i = nr' \cos r.$$

Daraus wird, wenn man für i' seinen Werth aus Gleichung 3) setzt:

$$2r' \cos i = nr' \cos r$$

$$2 \cos i = n \cos r.$$

Wird diese Gleichung aufs Quadrat erhoben, so kommt:

$$4 \cdot \cos^2 i = n^2 \cos^2 r$$

$$4(1 - \sin^2 i) = n^2(1 - \sin^2 r)$$

und wenn man für $\sin i$ seinen Werth aus Gleichung 4) setzt:

$$4(1 - n^2 \sin^2 r) = n^2(1 - \sin^2 r)$$

oder nach einigen Umformungen:

$$\sin r = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

und

$$\sin i = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}.$$

Setzen wir für n seinen Zahlenwerth 1,33, so kommt

$$\sin i = 0,86238 \text{ also } i = 59^{\circ} 35',$$

wonach ferner

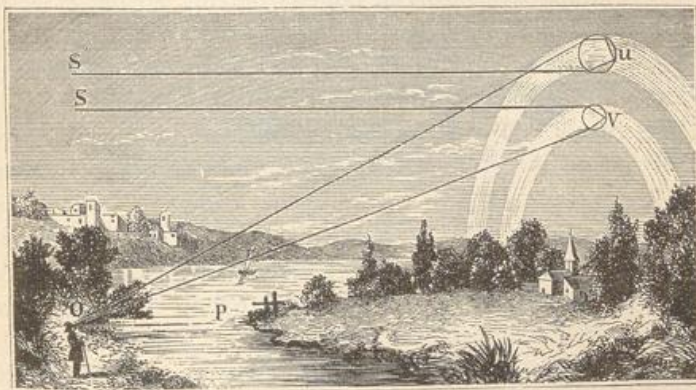
$$\sin r = \frac{0,86238}{1,33} = 0,6483 \text{ also } r = 40^{\circ} 25'$$

und endlich

$$d = 42^{\circ} 30'.$$

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP , Fig. 260, gezogen und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt. Man ziehe ferner durch O eine Linie OV , so dass der Winkel $POV = 42^{\circ} 30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame

Fig. 260.



Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^{\circ} 30'$ erscheint.

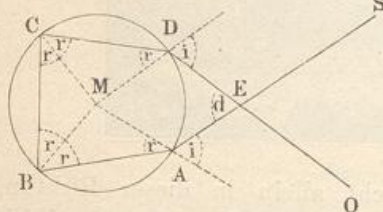
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von $30'$ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser von $30'$ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d :

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	$9^{\circ} 40'$	60	$40 28'$
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18
			29*

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve (Fig. 1, Tab. 11) construirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe $40^{\circ} 30'$; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten. Es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar sein, welcher gleichfalls eine Breite von $30'$ hat. Zwischen diesen äussersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaassen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bande ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2° , da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° grösser ist als der des violetten.

Was den Umfang des farbigen Bogens betrifft, so hängt er offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, so erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis; er

Fig. 261.



kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizont, desto kleiner ist also das dem

Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne $42^{\circ} 30'$ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der höchste Theil desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganze kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Ausser dem eben besprochenen Hauptregenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten grösseren, mit dem ersteren concentrischen, den Nebenregenbogen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äusseren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett aussen. Der Nebenregenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der Nebenregenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des Hauptregenbogens. Die Entstehung des äusseren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 261 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Grösse veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, sechs Rechte oder 540° . Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A , B , C und D abzuziehen: jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zusammen machen sie also $4r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich $r +$ dem Winkel MDE ; für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth $180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen:

$$2r + 360^\circ - 2i;$$

wir haben also:

$$d = 540^\circ - 4r - (2r + 360^\circ - 2i)$$

oder

$$d = 180^\circ + 2i - 6r.$$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht:

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel	
	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86 36'	88 0'
60	56 18	58 24
70	50 18	53 24
80	53 24	56 12
90	68 30	70 18

Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahles ist für diesen Fall gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahles bildet; die Ablenkung ist alsdann 180° . Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der

Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50° , für violette nahe $53\frac{1}{2}^\circ$. Für noch grössere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder zu.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden Curven der Fig. 2 auf Tab. 11 construirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur, dass in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, dass also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlussweise ergibt sich, dass man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50° , und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von $53\frac{1}{2}^\circ$ erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3\frac{1}{2}^\circ$.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7\frac{1}{2}^\circ$.

Der äussere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

160 Secundäre Regenbogen. Im vorigen Paragraphen wurde nur die Hauptsächlichung des Regenbogens betrachtet, welche er jedesmal ohne wesentliche Veränderung zeigt; es kommt indessen noch eine interessante Nebenerscheinung vor, die nur unter besonderen Umständen und nicht immer in ganz gleicher Weise eintritt, nämlich die sogenannten secundären oder überzähligen Regenbogen.

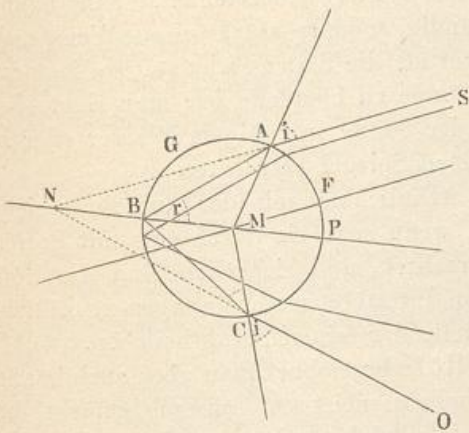
Die überzähligen Regenbogen bestehen darin, dass der Hauptregenbogen nach innen, und manchmal auch der Nebenregenbogen nach aussen nicht mit dem Violett abschliesst, sondern dass sich jenseits des Violett noch mehrere, meist abwechselnd grüne und rothe Bogen anschliessen. Die secundären Bogen erscheinen in der Regel nur am obersten Theile der primären, indem sie nach beiden Seiten hin allmählich matter werden und lange bevor sie den unteren Rand erreichen, ganz verschwinden.

Venturi suchte die überzähligen Regenbogen durch die Annahme zu erklären, dass die herabfallenden Regentropfen zum Theil wenigstens

eine abgeplattete Gestalt haben (Gilb. Ann. LII, 1816), d. h. dass sie die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides haben, dessen verticale Umdrehungsaxe kleiner ist, als sein Aequatorialdurchmesser. In der That würden solche Tropfen, welche in oder nahe der Verticalebene der Sonne liegen, einen niedrigeren Hauptregenbogen liefern als die kugelförmigen. Ausser anderen Einwendungen, die sich gegen die Hypothese machen lassen, lässt sich gegen dieselbe besonders geltend machen, dass man ausser den kugelförmigen Tropfen, welche den normalen Regenbogen liefern, für jeden secundären Bogen die Existenz von Tropfen eines bestimmten Abplattungsgrades annehmen muss, ohne dass Zwischenformen vorkommen.

Nach Young sind die überzähligen Regenbogen als ein Interferenzphänomen zu betrachten. Aus dem vorigen Paragraphen wissen wir, dass unter allen auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen nur diejenigen als wirksame Strahlen austreten, für welche nach einmaliger innerer Reflexion der Ablenkungswinkel d ein Maximum ist. In Fig. 262 sei nun SA dasjenige Bündel einfallender Sonnenstrahlen, welches in der Richtung CO als ein wirksames Strahlenbündel austritt, so werden alle zwischen A und F auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, sowie alle diejenigen, welche ihn zwischen A und G

Fig. 262.



treffen, nach einmaliger innerer Reflexion in einer Richtung austreten, welche mit der Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen einen kleineren Winkel macht als CO . Einem jeden zwischen F und A einfallenden Strahl wird aber ein anderer zwischen A und G den Tropfen treffender entsprechen, welcher mit dem ersteren nach einmaliger innerer Reflexion den Tropfen in gleicher Richtung verlässt. Diese beiden Strahlen müssen aber nothwendig interferiren, da sie innerhalb des Tropfens verschiedene Wege zurückgelegt haben. Wenn man sich den Ablenkungswinkel d von seinem Maximumwerthe aus allmählich abnehmend denkt, so wird dabei für die beiden nach gleicher Richtung austretenden und interferirenden Strahlen der Gangunterschied immer grösser, sie werden sich daher abwechselnd verstärken und schwächen müssen. Das auf solche Weise durch Interferenz erzeugte erste, zweite, dritte Maximum der Lichtstärke für eine bestimmte Strahlenart wird aber offenbar dem gleichfarbigen Ringe des primären Regenbogens um so näher liegen, je grösser die Regentropfen sind. Bei einer bestimmten Kleinheit der Tropfen wird das erste Interferenzmaximum für rothe Strahlen mit dem violetten Ringe des Hauptregenbogens zusammenfallen und so an dieser

Stelle ein purpurfarbener Ring entstehen, dem sich dann die weiteren Ringe des secundären Regenbogens anschliessen.

Airy hat diese Young'sche Erklärung der secundären Regenbogen weiter entwickelt und vollendet; wir können aber hier nicht näher darauf eingehen und verweisen zunächst auf die gelungene Darstellung dieses Gegenstandes, welche Clausius im 4. Hefte von Grunert's Beiträgen zur meteorologischen Optik, Leipzig 1850, gegeben hat, und dann auf Airy's Originalabhandlung, von welcher sich eine Uebersetzung im ersten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen (1842) befindet.

161 **Höfe.** Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolken-
schleier überzogen ist, dicht um die Sonne oder den Mond farbige
Ringe, welche man als Höfe oder Aureolen bezeichnet. Sehr häufig
erscheinen diese Höfe nicht vollständig, sondern stückweise. Wenn man
die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der
Grund darin, dass das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber
diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in
einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die grösste Aehnlichkeit mit der Aureole, welche
man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen
lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe
ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen;
die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

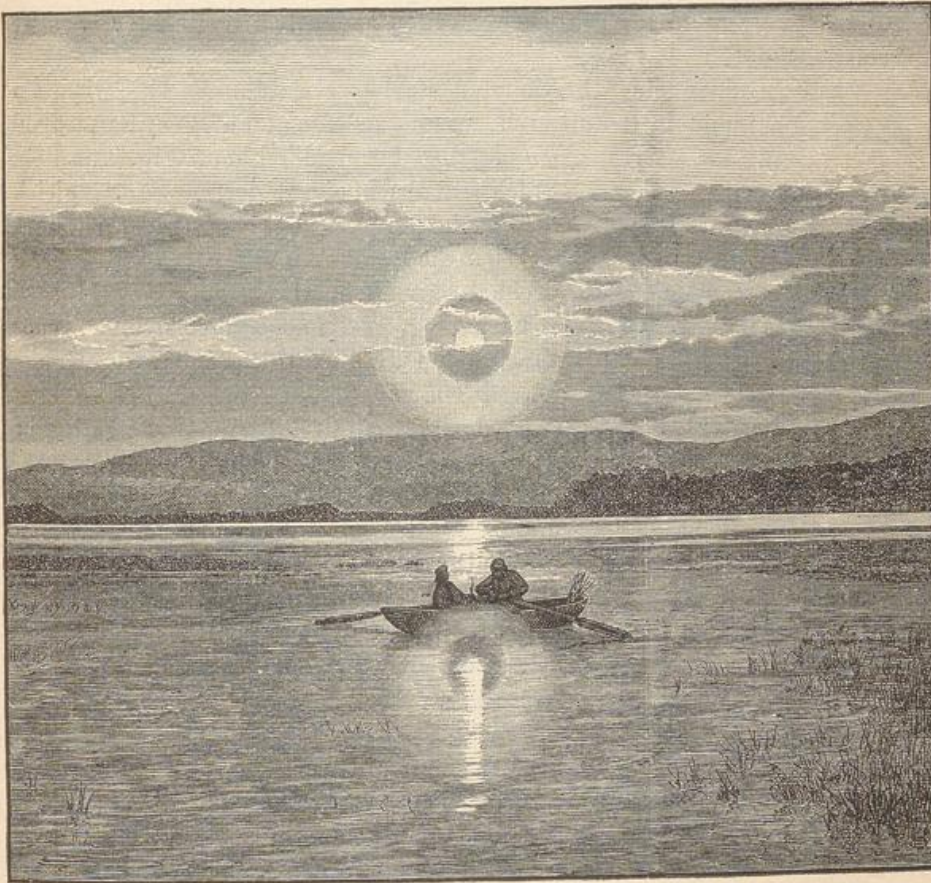
Mit dem gleichen Namen der Höfe bezeichnet man aber auch häufig
eine andere Art von Lichtringen, welche meist nur schwach gefärbt, die
Sonne oder den Mond in grösseren Winkelabständen umgeben. Fraun-
hofer nennt die ersteren Höfe kleinerer Art, die letzteren aber Höfe
grösserer Art. Es dürfte wohl am zweckmässigsten sein, den Namen
der Höfe nur für die den Mond oder die Sonne unmittelbar glorienartig
umgebenden Farbenringe, welche Kämtz auch Lichtkränze nennt, zu
gebrauchen, die Höfe grösserer Art aber, welche in grösserer Entfernung
von Sonne oder Mond erscheinen und welche im nächsten Paragraphen
näher besprochen werden sollen, einfach als Sonnen- und Mondringe
zu bezeichnen.

Ein schönes Beispiel eines Hofes zeigt Fig. 263, welche die
Copie der einen Hälfte eines englischen Momentan-Stereoskopbildes
ist. Ein schöner Hof umgiebt nicht nur die Sonne selbst, sondern auch
ihr in die Länge gezogenes Spiegelbild im Wasser ist von einem, frei-
lich weniger vollkommenen Hofe umgeben, welcher sich zum Theil wie
ein Nebel vor dem Nachen ausbreitet.

Die Farben der eigentlichen Höfe folgen ganz den Gesetzen
der Farben dünner Blättchen im durchgelassenen Lichte. Bezeichnen wir also mit ρ den Radius des innersten dunklen Ringes für
irgend eine einfache Farbe, so ist der Radius des zweiten, dritten u. s. w.

dunklen Ringes derselben Farbe 3 ϱ , 5 ϱ u. s. w., während die Halbmesser der hellen Ringe der gleichen Farbe 2 ϱ , 4 ϱ , 6 ϱ u. s. w. sind. Die Erklärung dieser Erscheinung ist auf die Beugungsfigur zurückzuführen, welche entsteht, wenn die von einer geraden Lichtlinie ausgehenden Strahlen von einem ihr parallelen dünnen undurchsichtigen Stäbchen oder die von einem Lichtpunkte ausgehenden Strahlen von einem un-

Fig. 263.



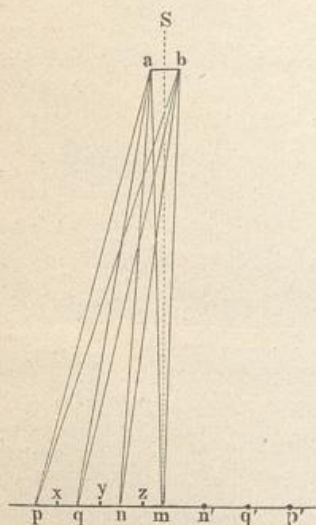
durchsichtigen Scheibchen oder einem undurchsichtigen Kügelchen aufgefangen werden.

Die durch ein dünnes Stäbchen, etwa durch einen Draht, hervorbrachte Beugungsfigur entsteht durch die Interferenz der Randstrahlen. Es sei z. B. ab , Fig. 264 (a. f. S.), der zur Richtung der einfallenden Strahlen rechtwinklige Durchmesser des Stäbchens, so werden die zunächst bei a liegenden Aethertheilchen elementare Strahlen nach allen Richtungen aussenden, ebenso wie die zunächst am Rande b liegenden. Denkt man sich nun in einiger Entfernung hinter ab einen weissen Schirm aufgestellt, so werden die von den beiden Rändern a und b aus gegen irgend einen

Punkt m , n , q u. s. w. desselben convergirenden Strahlen, je nach Umständen einander verstärken oder gegenseitig aufheben. In dem Punkte m , welcher gleich weit von a und b entfernt ist, werden sich die beiden von a und b aus zusammentreffenden Randstrahlen aufs Vollständigste unterstützen, in m , in der Mitte hinter ab , in der Mitte des Beugungsbildes, wird sich also ein heller Streifen befinden, und zwar fallen hier die Maxima der Lichtstärke für alle farbigen Strahlen zusammen, bei Anwendung von weissem Licht wird also in m ein centraler weisser Streifen entstehen, während die seitlichen Streifen sämmtlich mehr oder weniger gefärbt sind.

Für Strahlen einer bestimmten Farbe, etwa für Roth, wird ein zweites Maximum in n auftreten, wenn das von a auf den Randstrahl bn gefällte Perpendikel ac , Fig. 265, ein Stück bc abschneidet, dessen Länge gleich der Wellenlänge λ für rothes Licht ist.

Fig. 264.



Wenn die Punkte q und p , Fig. 264, zweimal, dreimal so weit von m entfernt sind als n , so werden die von a und b nach q und p convergirenden Randstrahlen in ihrem Gange um 2, 3 ... Wellenlängen verschieden sein (weil das von a auf bq und das von a auf bp gefällte Perpendikel die Länge $bc' = 2\lambda$, und $bc'' = 3\lambda$, Fig. 265, abschneidet), in q und p werden also abermals helle Streifen für Roth entstehen, während sich in den zwischenliegenden Punkten z , y und x dunkle Streifen bilden, weil der Gangunterschied der hier zusammentreffenden Strahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ Wellenlängen für rothes Licht beträgt.

Der Punkt m , Fig. 264, liegt in der Mitte der ganzen Beugungsfigur; in den Punkten n' , q' und p' , welche ebenso weit nach rechts von m liegen, wie n , p und q nach links, werden also ebenfalls helle, in den in der Mitte zwischen ihnen liegenden Punkten werden dunkle Streifen entstehen.

Tritt an die Stelle der geradlinigen Lichtquelle ein Lichtpunkt und an die Stelle des beugenden Stäbchens ein kreisrundes Scheibchen oder ein Kügelchen, so wird das Beugungsmittel aus einem hellen centralen Fleck bestehen, welcher von abwechselnd hellen und dunklen concentrischen Ringen umgeben ist. Bezeichnen wir den Radius des innersten hellen Ringes (dem Abstände mn , Fig. 264, entsprechend) einer bestimmten Farbe, etwa des Roth, mit r , so sind die Radien der folgenden hellen Ringe derselben Farbe $2r$, $3r$ u. s. w., die Radien der dunklen

Ringe dagegen sind $\frac{r}{2}$, $\frac{3r}{2}$, $\frac{5r}{2}$ u. s. w.

Bezeichnen wir mit d den Durchmesser ab des beugenden Scheibchens, so haben wir (vergl. Fig. 265):

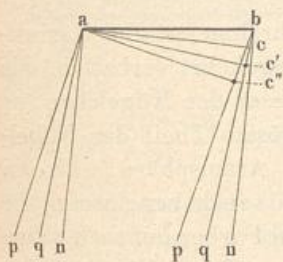
$$\left. \begin{aligned} bc &= \lambda = d \cdot \sin \alpha \\ bc' &= 2\lambda = d \cdot \sin \beta \\ bc'' &= 3\lambda = d \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1)$$

wenn wir mit α , β und γ die Winkel bezeichnen, welche die nach n , q und p convergirenden Randstrahlen mit der Richtung Sm der einfallenden Strahlen machen. Aus den Gleichungen bei 1) folgt

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{\lambda}{d} \\ \sin \beta &= \frac{2\lambda}{d} \\ \sin \gamma &= \frac{3\lambda}{d} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2)$$

die Winkelwerthe, unter welchen die Radien der hellen Ringe im Beugungsbilde eines undurchsichtigen Scheibchens oder Kugelchens von der Mitte des Scheibchens aus gesehen erscheinen, sind also dem Durchmesser des Scheibchens umgekehrt proportional.

Fig. 265.



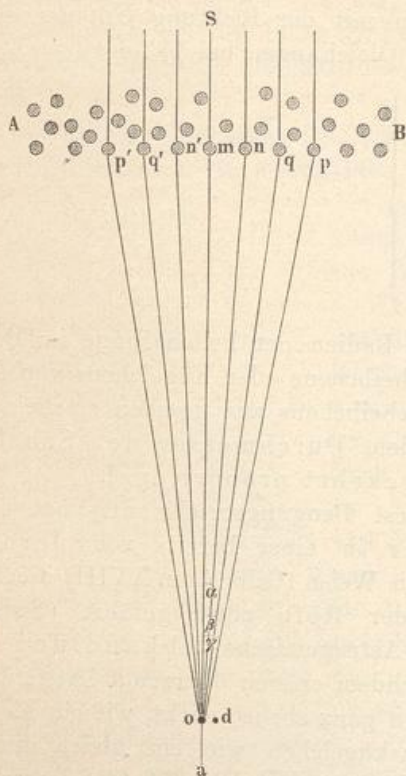
Auf diese Beugungserscheinung hat nun Fraunhofer in einer bereits von Jordan angedeuteten Weise (Gilb. Ann. XVIII) die Erscheinung der Höfe zurückgeführt (Schumacher's Astronomische Abhandlungen, 3. Heft), nachdem er sich überzeugt hatte, dass ein Glasfaden ganz ebenso wirkt, wie ein gleich

dickes Metalldrähtchen, und ein Glaskugelchen wie ein gleich dickes undurchsichtiges Kugelchen. In dem Raume AB , Fig. 266 (a. f. S.), seien Dunstkugelchen von gleicher Grösse so enthalten, dass auf den grössten Theil derselben das Licht der Sonne unmittelbar gelangen kann. Dieses parallel auffallende Licht wird an jedem Kugelchen in der angegebenen Weise gebeugt und unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Nehmen wir an, das Auge in o empfangt vom Kugelchen n das Roth der ersten Ordnung, so wird das Gleiche auch für das Kugelchen n' der Fall sein, welches auf der linken Seite ebenso weit von der vom Auge nach der Sonne gezogenen Linie oS entfernt ist, wie n auf der rechten Seite. Dasselbe wird ferner der Fall sein für alle Dunstkugelchen, welche auf dem Umfange eines rechtwinklig auf oS stehenden Kreises liegen, dessen Mittelpunkt m und dessen Radius mn ist. Dem Auge erscheint der Umfang dieses Kreises durch rothes Licht und zwar durch das Roth der ersten Ordnung erleuchtet, welches einen 30 Minuten breiten Ring bildet, weil die Sonne nicht ein leuchtender Punkt ist, sondern einen scheinbaren Durchmesser von 30' hat.

Der (mittlere) Radius dieses Ringes erscheint dem Auge unter einem Winkel α , welcher dem bereits oben mit α bezeichneten Winkel gleich ist.

Von einem Dunstkügelchen q , welches doppelt so weit von m entfernt ist als n , wird dem Auge o das Roth der zweiten Ordnung zukommen, vom Kügelchen p das Roth der dritten Ordnung u. s. w.

Fig. 266.



Das Auge erblickt also einen zweiten die Sonne umgebenden rothen Ring vom Halbmesser mq , der unter dem Winkel β , und einen dritten vom Halbmesser mp , welcher unter dem Winkel γ erscheint.

Für Strahlen anderer Farben ist der Weg dem vorigen ähnlich, wegen der kürzeren Wellenlänge wird aber der erste, zweite, dritte Ring für grünes Licht kleiner sein, als der entsprechende Ring für rothes, und die blauen Ringe haben einen kleineren Halbmesser als die grünen.

Da die Durchmesser der Farbringe sich umgekehrt verhalten, wie die Durchmesser der Kügelchen, so muss der grösste Theil der Kügelchen in der Atmosphäre nahezu gleiche Grösse haben, wenn die Höfe mit ihren Farben deutlich wahrnehmbar sein sollen. Für ungleich grosse Kügelchen werden die hellen Ringe verschiedener Farben so übereinander fallen, dass aus ihrer

Mischung ein weissliches Licht entsteht. Man sieht alsdann einen Hof ohne Farben.

Die genauere Beobachtung von Höfen hat gezeigt, dass die Durchmesser der Farbringe an verschiedenen Tagen sehr verschieden sind. So fand z. B. Jordan am 25. October 1797 mittelst eines Sextanten den mittleren Halbmesser des innersten rothen Ringes, also $\alpha = 2^{\circ} 33'$, und den des zweiten rothen Ringes $\beta = 4^{\circ} 41'$, während sich für einen am 3. October 1792 beobachteten Hof $\alpha = 45'$ und $\beta = 1^{\circ} 25'$ ergeben hatte. Die Ringe werden um so enger, je grösser die Dunstbläschen sind, welchen sie ihren Ursprung verdanken, wie ja auch der Hof, welchen man erblickt, wenn man durch eine mit Samen *lycopodii* bestreute Glasplatte nach einer Kerze schaut, grösser ist, als wenn dieselbe mit Pollenstaub von *Pinus austriaca*, und kleiner, als wenn sie mit Pollenstaub von *Taxus baccata* bestreut wäre.

Nach Gleichung 2) lässt sich leicht der Durchmesser der Nebelbläschen berechnen, wenn man den Winkel gemessen hat, unter welchem der Halbmesser eines Ringes für eine bestimmte Farbe erscheint und man die Wellenlänge λ dieser Strahlenart kennt, denn man hat

$$d = \frac{\lambda}{\sin \alpha} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \dots \dots \dots 3)$$

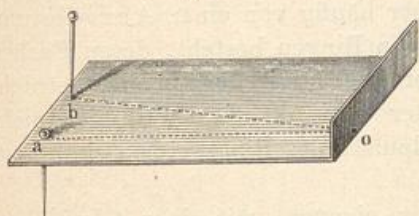
$$d = \frac{2\lambda}{\sin \beta}$$

und

Für die mittleren rothen Strahlen ist $\lambda = 0,00066$ mm, wir erhalten also für den von Jordan im Jahre 1797 gemessenen Hof:

$$d = \frac{0,00066}{0,0445} = 0,0148 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d = \frac{2 \cdot 0,00066}{0,0816} = 0,0161 \text{ mm,}$$

Fig. 267.



zwei Werthe, welche so nahe mit einander übereinstimmen, wie man es nur bei der geringen Genauigkeit erwarten darf, mit welcher die Durchmesser der Farbenringe gemessen werden können.

Für den kleineren im Jahre 1792 von Jordan beobachteten Hof ergibt sich

$$d = \frac{0,00066}{0,013} = 0,0508 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d = \frac{0,00132}{0,0247} = 0,0534 \text{ mm.}$$

Je länger gutes Wetter angehalten hat, desto kleiner werden die Nebelbläschen; vor Regenwetter vergrößern sie sich schnell. Kämtz fand die Nebelbläschen in den Wintermonaten im Durchschnitt grösser als in den Sommermonaten.

Zur Messung der Höfe, d. h. des Durchmessers der Ringe, eignet sich nach Kämtz ein einfaches Diopterinstrument besser, als ein Spiegelsextant. Hagenbach wandte für solche Messungen ein aus Kartenpapier und Stecknadeln improvisirtes Instrument an, welches im Vergleich zur Unsicherheit beim Einstellen auf eine bestimmte Farbe eine hinlängliche Genauigkeit giebt.

Die auch in manchen anderen Fällen anwendbare Vorrichtung Hagenbach's ist in Fig. 267 dargestellt. Ein rechteckig geschnittenes Stück steifen Papiers (Carton) von 8 bis 10 cm Länge wird auf der einen Seite rechtwinklig aufgebogen und bei *o* mit einem kleinen Loch versehen, dem gegenüber eine Stecknadel bei *a* eingesteckt wird. Visirt man nun von *o* über den Stecknadelknopf *a* nach irgend einem Object *A*, so kann man eine zweite Stecknadel bei *b* so einstecken, dass sie in die von *o* nach einem zweiten Object *B* gerichtete Visirlinie fällt. Zieht man alsdann auf dem Papier die Linien *oa* und *ob*, so kann man mit dem Transporteur den Winkel messen, welchen dieselben mit ein-

ander machen und welcher dem Winkel der Visirlinien oA und oB gleich ist.

Für die Erklärung der oben besprochenen Höfe ist es völlig gleichgültig, ob die Wasserkügelchen, welche den Nebel bilden, ganz massiv, d. h. ganz mit Wasser gefüllt, oder ob sie kleine, lufthaltige, mit einer äusserst dünnen Wasserhülle umgebene Bläschen sind.

Die oben beschriebenen Höfe erscheinen, wie schon bemerkt, wenn sich ein leichter Nebel zwischen dem Beobachter und der Sonne oder dem Monde befindet. Selten kann man mehr als zwei Ringe unterscheiden, ja meistens sieht man nur einen, nämlich den innersten. Manchmal aber sieht man auch Höfe unter scheinbar ganz entgegengesetzten Umständen, wenn nämlich der Beobachter die Sonne im Rücken und eine Nebelwand vor sich hat. Der Beobachter sieht zunächst seinen riesenhaft erscheinenden Schatten auf der Nebelwand, und zwar nicht allein den des Kopfes, sondern auch den Schatten der Brust und der Arme; der Schatten des Kopfes ist aber häufig von einer Aureole umgeben, welche aus drei bis vier farbigen Ringen besteht, deren Farben ganz in derselben Ordnung auf einander folgen, wie die der eben betrachteten Höfe, welche aber weit brillanter sind, offenbar weil hier nicht ein blendend heller Körper den Mittelpunkt des Ringsystems einnimmt, sondern der Schatten des Kopfes.

Jeder Beobachter sieht nur seinen eigenen, mit einer Glorie umgebenen Schatten, aber nicht den seines Begleiters.

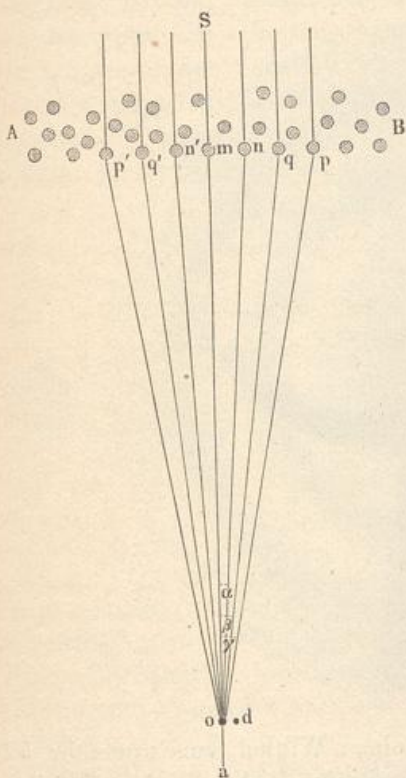
Solche Nebelbilder lassen sich nur wahrnehmen, wenn der Beobachter einen ganz freien isolirten Standpunkt einnimmt, wie dies auf dem Lande nur in Gebirgsgegenden möglich ist; am schönsten zeigen sie sich bei Sonnenaufgang, wenn der Schatten des auf einer isolirten Bergspitze oder auf einem isolirten Bergkamme stehenden Beobachters auf eine westlich von ihm befindliche Nebelwand fällt. In den Alpen sind unter anderen Pilatus, Rigi und Mythen sehr geeignete Localitäten zur Beobachtung dieser prächtigen Erscheinung, welche im Harz unter dem Namen des Brockengespenstes bekannt ist.

Das Brockengespenst ist vielfach der Gegenstand unrichtiger Beschreibungen und falscher bildlicher Darstellungen geworden. Sehr oft nämlich begegnet man Bildern, welche einen Mann darstellen, der in theatralischer Stellung auf einem Felsengipfel steht, während man im Hintergrunde den Schatten desselben in fast dreifacher Grösse sieht. In dieser Weise kann die Erscheinung nicht auftreten, denn erstens kann ein dritter nicht gleichzeitig den entfernten Mann und seinen Schatten sehen, dann aber ist der Schatten in Wirklichkeit, wie wir gleich sehen werden, nicht grösser als der schattengebende Körper selbst.

Ausgezeichnet schön beobachtete Scoresby das Phänomen in den Polargegenden von dem Mastkorbe der Schiffe aus. Flammarion sah in einem Luftballon in einer Höhe von 1400 Metern schwebend den Schatten des Ballons, der Gondel und der darin befindlichen Personen

auf einer Wolke und den Schatten der Gondel von einer prächtigen, aus mehreren farbigen Ringen bestehenden Aureole umgeben. Bouguer beobachtete die Erscheinung öfters auf den Cordilleren in Südamerika, wo sie als Zirkel Ulloa's bekannt sind. Der Durchmesser des ersten Farbenringes (ohne nähere Angabe der Farbe) war bei einer solchen Beobachtung $5^{\circ} 40'$, der des zweiten 11° und der des vierten 17° . Er beobachtete, dass auch bei diesem Phänomen die Durchmesser der gleichfarbigen Ringe zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich sind. Bei einem

Fig. 268.



auf dem Pilatus beobachteten Nebenbilde mit Glorie fand Hagenbach den Durchmesser des innersten rothen Ringes gleich $2^{\circ} 30'$, woraus sich der Durchmesser der Nebelbläschen gleich $0,0158\text{mm}$ ergibt. Die Nebelbläschen, welche die von Bouguer besprochene Glorie hervorbrachten, hatten wohl kaum einen halb so grossen Durchmesser.

Bouguer bemerkt ausdrücklich, dass der Beobachter einer solchen Glorie stets von einem ganz feinen Nebel umgeben ist, und darauf gründet Fraunhofer die Erklärung des Phänomens. Die den Kopf des Beobachters umgebenden Kügelchen müssen die bekannten Beugungsercheinungen hervorbringen. Es sei nun in d , Fig. 268, das Auge des Beobachters und diesem zunächst, also nahe am Kopfe des Beobachters, in o ein Dunstkügelchen, auf welches in der Richtung ao Sonnenstrahlen fallen. Diejenigen, welche den Rand treffen, werden so gebeugt, dass die

Strahlen, welche den ersten rothen Ring bilden, nach on und on' fahren. Die, welche den zweiten Ring bilden, gelangen nach q und q' u. s. w. Ist im Raume AB eine dichte, aus Dunstkügelchen bestehende Wolke, so wird diese das nahezu vertical auffallende Licht vorzugsweise in der Richtung zurückwerfen, in welcher es gekommen ist, das Auge in d wird die vom Kügelchen o gebeugten Strahlen ebenso zurückerhalten, wie sie auffielen und muss demnach auf der Wolke Farbringen sehen, und zwar den ersten Ring unter dem Winkel $non' = 2\alpha$, den zweiten unter dem Winkel $qoq' = 2\beta$ u. s. w. Für alle übrigen, zunächst um den Kopf des Beobachters liegenden Kügelchen gilt dasselbe.

Die Fraunhofer'sche Erklärung der Glorie stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Kügelchen, welche die Nebelwand AB bilden, einen namhaften Theil des Lichtes, welches sie trifft, in der nämlichen Richtung zurückwerfen, in welcher es auffiel. Für massive Wasserkügelchen ist dies durchaus nicht der Fall, denn wir wissen aus der Lehre vom Regenbogen, dass, wenn ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen auf einen Wassertropfen fällt, wirksame Strahlen nur in zwei Richtungen austreten, von denen die eine einen Winkel von ungefähr 42° (nach einmaliger

Fig. 269.



innerer Spiegelung), die andere aber einen Winkel von ungefähr 52° (nach zweimaliger innerer Spiegelung) mit der Richtung der einfallenden Strahlen macht.

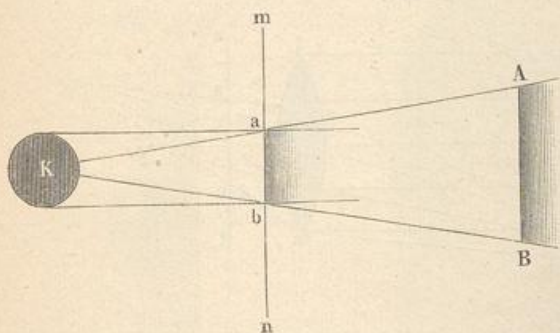
Während es also zur Erklärung der Höfe, welche wir im ersten Theil dieses Paragraphen betrachtet haben, gleichgültig ist, ob das leichte Wölkchen, welches sich zwischen der Sonne und dem Beobachter befindet, aus Wassertröpfchen oder aus Nebelbläschen besteht, ist zur Erklärung der Glorie die Annahme von Nebelbläschen durchaus nothwendig, da Clausius nachgewiesen hat, dass Nebelbläschen von einem Bündel paralleler Strahlen, welches dieselben trifft, nach einmaliger innerer Spiegelung einen namhaften Antheil des auffallenden Lichtes in der gleichen Richtung reflectirt, in welcher es gekommen war (Pogg. Ann. 88. Bd., 1853).

Fig. 269 zeigt den Nebelschatten nebst der ihn umgebenden Glorie nach einem Entwurf Hagenbach's. Offenbar hat man es hier mit zwei

ganz verschiedenen Erscheinungen zu thun, welche allerdings gleichzeitig auftreten, aber doch ganz unabhängig von einander sind. Die farbigen Ringe der Glorie sind, wie wir gesehen haben, ein Interferenzphänomen, während die Schattenfigur wirklich nichts Anderes ist als der Schatten, welchen der Körper des Beobachters auf die Nebelwand wirft, und in der That kann dieser Schatten für sich allein ohne die Ringe erscheinen, wenn die Nebelbläschen der den Schatten auffangenden Wand von sehr ungleicher Grösse sind.

In den meisten Fällen erscheint dem Beobachter sein Schatten von riesenhafter Grösse, was auf den ersten Blick höchst auffallend ist, da die Sonnenstrahlen den schattengebenden Körper in nahezu paralleler Richtung tangiren, der Schatten also keinen grösseren Durchmesser haben kann, als der schattengebende Körper selbst. Dass der Schatten riesenhaft erscheint, kann also nur auf einer optischen Täuschung beruhen, die übrigens leicht zu erklären ist. In Fig. 270 stelle *K* den Kopf des

Fig. 270.



Beobachters und *mn* die vordere Fläche der den Schatten auffangenden Nebelwand dar, so wird der Schatten *ab* keinen grösseren Durchmesser haben als *K* selbst. Die Unbestimmtheit des Schattens aber und sonstige Umstände, welche die richtige Schätzung der Entfernung des-

selben verhindern, veranlassen, dass man ihn unwillkürlich in grössere Entfernung, etwa nach *AB* versetzt. Da aber der Gesichtswinkel, unter welchem der Schatten dem Beobachter erscheint, unverändert bleibt, so wird er ihn für um so grösser halten müssen, je weiter er ihm entfernt scheint.

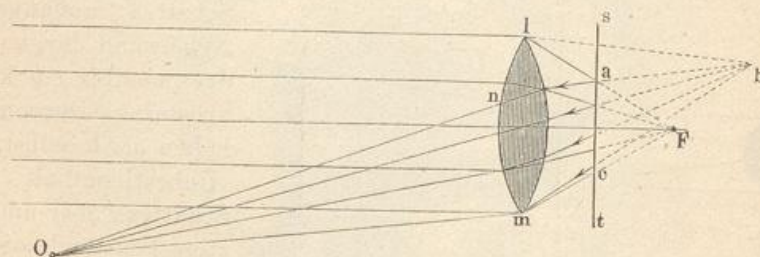
Die Glorie auf bethauten Wiesen. Wenn des Morgens früh bei hellem Sonnenschein der Schatten des Beobachters auf den stark bethauten, mit niederem Pflanzenwuchs dicht bedeckten Boden, etwa auf eine Wiese fällt, so sieht er den Schatten seines Kopfes mit einer lichten Glorie umgeben, deren Glanz mit der Entfernung vom Kopfschatten allmählich abnimmt; um den Schatten des Kopfes von Personen, die in seiner Nähe stehen, sieht er diese Glorie nicht. Diese Erscheinung hat manche Aehnlichkeit mit den im vorigen Paragraphen besprochenen Aureolen, in der Glorie aber lassen sich keinerlei Farbenringe unterscheiden; sie erscheint als ein farbloser Lichtschein, welcher dicht um den Kopfschatten seine grösste Helligkeit hat. Die Erklärung dieser Theorie lässt sich durchaus nicht auf die im vorigen Paragraphen erläuterte Theorie zurückführen, weil man es dort mit verschwindend kleinen

Nebelbläschen, hier aber mit massiven Wassertropfen von namhafter Grösse zu thun hat.

Man hat versucht, die Glorie auf die kleinen Sonnenbildchen zurückzuführen, welche sich durch Spiegelung der Sonnenstrahlen auf der Vorder- und Hinterfläche der Thautröpfchen bilden. Die Unzulänglichkeit dieser Erklärung lässt sich aber nicht nur auf theoretischem Wege darthun, sondern sie ergiebt sich auch aus dem Umstande, dass die Glorie gar nicht erscheint, wenn man es mit frei in der Luft schwebenden Wassertropfchen zu thun hat, wie es beim Staubregen der Wasserfälle, bei Wasserstaubfontainen u. s. w. der Fall ist, und man so steht, dass ausser dem überhalbkreisförmigen Regenbogen auch noch der Schatten des Kopfes auf der Wasserstaubwolke sichtbar ist.

Von Lommel ist folgende Erklärung der beschriebenen Glorie gegeben (Jubiläumband zu Pogg. Ann.). Nach ihm besteht jener helle Schein aus dem Lichte, welches durch die Tropfen gebrochen, von

Fig. 271.



deren Unterlage aufgefangen wird und nun durch die Tropfen hindurch wieder zurückkehrt. Nur so erklärt es sich, dass die einzelnen Tropfen, welche die Glorie bilden, gleichsam von innen heraus zu leuchten scheinen, wenn man die Erscheinung nahe genug hat, um die einzelnen Thauperlen unterscheiden zu können.

Nach dieser Ansicht lässt sich die Erscheinung ungefähr in folgender Weise nachahmen. In Fig. 271 sei lm eine Linse, deren Axe gerade gegen die Sonne gerichtet und deren Brennpunkt F ist. Wird nun der von der Linse gegen F convergirende Strahlenkegel durch einen Schirm st aufgefangen, so bildet sich hier ein hell erleuchteter Zerstreungskreis ac , welcher Licht nach allen Richtungen hin gegen die Linse zurückwirft.

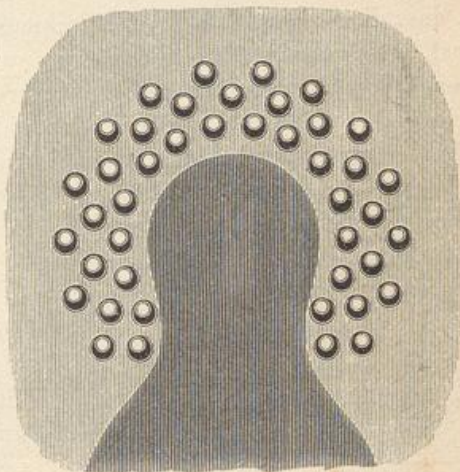
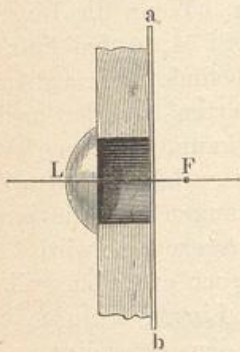
Wenn sich neben dem Strahlenbündel, welches die Sonne auf die Linse sendet, ein Auge in o befindet, dessen Linsenbild in b liegt, so ist klar, dass alle Strahlen, welche, wie die mit Pfeilspitzen bezeichneten, so von dem Erleuchtungskreise ac divergiren, als ob sie von b kämen, durch die Linse nach o gebrochen werden, dass also dem Auge in o der Theil der Linse von n bis m hell leuchtend erscheint, während der übrige Theil der Linse dunkel bleibt.

Je weiter nun das Auge o seitwärts von der Axe der auf die Linse fallenden Sonnenstrahlen entfernt ist, ein um so kleinerer Theil der Linsenfläche wird ihm erleuchtet erscheinen, desto geringer ist die Lichtmenge, welche das Auge von der Linse empfängt.

Der durch Fig. 271 schematisch angedeutete Versuch lässt sich in folgender Weise ausführen. In ein 5 bis 10 mm dickes Brett wird ein Loch von 10 bis 20 mm Durchmesser gebohrt und auf den Rand seiner Oeffnung eine planconvexe Linse L (Fig. 272) aufgekittet, deren Durchmesser 3 bis 6 mm grösser als der des Loches, und deren Brennweite ungefähr der doppelten Dicke des Brettes gleich ist. (Mit bestem Erfolge kann man sich zu diesem Versuche solcher Glaslinsen bedienen, wie sie zur Herstellung der Augen bei ausgestopften Thieren gebraucht werden.) Die hintere Fläche der Oeffnung kann man beliebig frei lassen oder mit einem

Fig. 273.

Fig. 272.

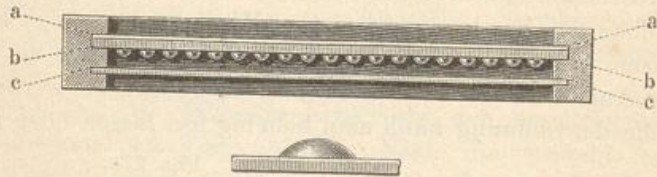


Blatt Papier ab bedecken. Das Brett wird so gestellt, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dasselbe fallen. Der Beobachter stellt sich 2 bis 4 Fuss von demselben so auf, dass die Grenze seines Kopfschattens ganz nahe bei der Linse liegt. Der grösste Theil der Linsenfläche scheint ihm dann mit hellem Glanz zu leuchten, so lange die hintere Oeffnung durch das Papierblatt verdeckt ist und dieser Glanz verschwindet bis auf ein kaum merkliches Sonnenbildchen, sobald die Oeffnung frei wird.

In einem etwas grösseren Brett bringe man statt eines einzigen Loches mehrere concentrische Löcherreihen an, deren innerste einen Durchmesser von 25 cm hat und die alle in der angegebenen Weise durch Linsen bedeckt sind, so wird man bei richtiger Aufstellung des Brettes, wenn der Kopfschatten auf den von der innersten Linsenreihe eingeschlossenen Raum fällt, wie Fig. 273 andeutet, diesen von einem Kranze herrlich leuchtender Linsen umgeben sehen, welcher verschwindet, wenn der Papierschirm auf der Rückseite des Brettes weggenommen wird.

Statt der auf einem durchlöcherten Brett angebrachten Glaslinsen hat Lommel Linsen von Canadabalsam angewandt, welche auf einer 2 mm dicken quadratischen Glastafel von 32 cm Seitenlänge angebracht sind. Um sie herzustellen, lässt man auf die horizontal gelegte Glastafel mittelst eines Glasstabes recht dickflüssigen Balsam herabfliessen, so dass er schön gewölbte Tropfen bildet (Fig. 274 unten), welche ungefähr 7 mm Durchmesser haben und 1,5 mm dick sind. Es kommt durchaus nicht darauf

Fig. 274.



an, dass diese Linsen gleichen Durchmesser haben, sie müssen aber möglichst gleichförmig über die Platte, welche deren ungefähr eine auf einem Quadratcentimeter enthält, verbreitet sein. Wenn die Linsen gehörig getrocknet sind, wird die Glastafel *bb*, Fig. 274, in den Falz eines Holzrahmens eingeschoben und dicht hinter ihr befindet sich als Auffangfläche für die Zerstreungskreise ein weisser Carton *aa*, der nach Belieben eingeschoben oder herausgezogen werden kann. In einen zweiten Falz kann eine Glastafel *cc* eingeschoben werden, welche nur den Zweck hat, die Linsen auf *bb* vor Staub und Verletzungen zu schützen und welche herausgezogen wird, wenn man den Versuch anstellen will.

Fig. 275.



Statt der Linsen kann man zur Erläuterung der Erscheinung auch Glaskugeln von 1 bis 2 cm Durchmesser anwenden, welche mit Wasser gefüllt sind; sie werden in ein zu ihrer Aufnahme mit Löchern durchbohrtes Brett eingesetzt, wie Fig. 275 zeigt, und die Stiele der Kugeln auf der Rückseite des Brettes in entsprechende Rinnen eingelassen. Die Vorderseite des Brettes ist dunkel angestrichen und auf der Rückseite ein weisser Schirm dicht an die Glaskugeln angelegt. Mit dem Wegnehmen dieses Schirmes hört das Leuchten der Kugeln auf.

Nach diesen Erörterungen erklärt sich der „Heiligenschein“ von selbst. Jeder Thautropfen erzeugt auf dem Blatte, auf welchem er, meist von zarten Härchen getragen, abgerundet schwebt, ohne dasselbe unmittelbar zu berühren, ein unvollkommenes Sonnenbildchen, welches die Strahlen als zerstreutes Licht gegen den Thautropfen zurücksendet und denselben auch einem etwas seitwärts stehenden Auge theilweise und zwar um so mehr erleuchtet erscheinen lässt, je näher die Tropfen dem Umriss des Kopfschattens liegen.

Ein Umstand, welcher sehr für die Richtigkeit der Lommel'schen Erklärung spricht, ist der, dass die Helligkeit der Glorie sehr von der Natur der Pflanzen abhängt, auf welchen die Thaperlen liegen; am lebhaftesten, dem Silberglanz sich nähernd, erscheint sie auf stark behaarten Blättern, namentlich, wenn die Haare einen weisslichen, wolligen oder filzigen Ueberzug bilden.

Ringe und Nebensonnen. Ganz anderen Ursprungs als die im vorigen Paragraphen besprochenen Höfe und Glorien sind die Licht-
ringe, welche öfters in grösserem Abstände die Sonne oder den Mond

Fig. 276.



umgeben und häufig auch mit dem Namen der Höfe bezeichnet werden; der Halbmesser des kleineren dieser engen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des grösseren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei beiden nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äussere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Tab. XXXV stellt die Erscheinung dar, wie man sie am häufigsten zu beobachten Gelegenheit hat, nämlich den Mond umgeben mit einem weisslichen Ringe von 22 bis 23° Radius. Um die Sonne wird dieser Ring seltener beobachtet; er erscheint dann meistens von einem horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne sich oft bis zu dieser selbst hin erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am Umfange des Ringes sieht, sind die

Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im höchsten Theile des Ringes; oder es erscheint hier ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 276 (a. v. S.) dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Nach Sonnenuntergang sieht man öfters noch eine verticale Lichtsäule, welche von dem Orte aufsteigt, wo die Sonne unterging. Diese meist schön roth gefärbte Lichtsäule entspricht dem verticalen, bis zur Sonne selbst sich fortsetzenden Nebensonnenstreifen.

Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstossende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaassen gleichseitige dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Grösse und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, dass die Axe der Prismen in der Weise schief steht, dass der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46° .

Den horizontalen Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen, die verticalen Lichtstreifen durch Reflexion an den horizontalen Flächen der Eisnadeln. Sie sind da am hellsten, wo sie den Ring von 23° durchschneiden, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Annal. Bd. XLIX).