UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik

Müller, Johann Heinrich Jacob

Braunschweig, 1894

Zweites Buch. Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

urn:nbn:de:hbz:466:1-96939

Visual Library

ZWEITES BUCH.

KOSMISCHE UND ATMOSPHÄRISCHE LICHTERSCHEINUNGEN.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr 124
betrachtet, wobei man aber ihres starken Glanzes wegen ein sehr dunkelfarbiges Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muss, so bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr, bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der Art, wie es Fig. 183 und Tab. XXVI des Atlas zeigt.

Fig. 183.



Die Rotation der Sonne um ihre Axe, von der bereits im dritten Capitel des ersten Bandes die Rede war, scheint zuerst von Fabricius im Jahre 1610 und bald darauf von Scheiner im Jahre 1611 bemerkt zu sein. Beide bemerkten nämlich eine Bewegung der Sonnenflecken in der Richtung von Ost nach West, woraus folgt, dass die Drehung der Sonne in derselben Richtung wie die der Erde stattfindet. Scheiner suchte aus der Bewegung der Sonnenflecken die Rotationszeit der Sonne abzuleiten, er fand indessen, dass sich dieselbe verschieden ergab, je nach der heliocentrischen Breite der Flecken, welche er zu der Bestimmung benutzte. Neuere Beobachtungen haben diese Erscheinung bestätigt, durch die es schwierig wird, die wahre Rotationszeit der Sonne zu ermitteln. Nämlich die Sonnenflecken, welche sich in der Nähe des Sonnenäquators befinden, ergeben eine Rotationszeit von 25,1 Tagen, dagegen solche in 30° Breite eine von 26,5 Tagen. Die Ermittelung wird noch dadurch sehr erschwert, dass manche Flecken eine sehr merkliche Eigenbewegung haben. Aus diesem Allen geht hervor, dass auf der Sonnenoberfläche starke Strömungen stattfinden, und wir können eigentlich nur sagen, dass die Sonne sich in einer Zeit um ihre Axe bewegt, welche zwischen 25 und 27 Tagen beträgt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Zahl der Sonnenflecken wechselt sehr bedeutend. In manchen Jahren giebt es sehr viele, in anderen äusserst wenige, und genaue Untersuchungen, welche namentlich von R. Wolf in Zürich mit grosser Ausdauer ausgeführt sind, haben gezeigt, dass eine deutliche Periodicität von ungefähr 11 Jahren stattfindet, deren Ursache allerdings noch nicht bekannt ist.

Man hat vermuthet, dass die grössere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluss auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, dass fleckenreichere Jahre kühler sein müssten; die Erfahrung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen, dagegen findet ein auffallender Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den magnetischen Variationen statt, indem sich die magnetischen Variationen am stärksten zeigen, wenn zahlreiche Sonnenflecken vorhanden sind, während das Minimum der Sonnenflecken auch mit dem Minimum der magnetischen Variationen zusammenfällt.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1610 beobachtet; Galilei entdeckte sie im Jahre 1612. Scheiner wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Apian empfohlenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzugsweise Galilei's Erblindung veranlasste.

125 **Die physische Beschaffenheit der Sonnenflecken.** Bei genauerer Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, dass der dunkle Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, welcher den Namen der Penumbra führt.

Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmässig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 184 zeigt, welche eine getreue Darstellung wirklich beoabachteter Sonnenflecken ist. Die Kerne sind übrigens keineswegs ganz dunkel, sie erscheinen nur so in Folge des Contrastes. Langley hat durch photometrische Untersuchungen gefunden, dass ein Kernfleck doch immer noch 500 mal so viel Licht ausstrahlt, als eine gleich grosse Fläche des Vollmondes.

Die Penumbra der Sonnenflecken kann man bereits mit einem kleineren Fernrohre erkennen; ferner sieht man mit einem solchen die sogenannten Sonnenfackeln, d. h. besonders hell leuchtende Flecken und Adern, welche sich vielfach in der Nähe der Sonnenflecken und besonders am Rande der Sonne befinden. Im Uebrigen erscheint die Oberfläche der Sonne von gleichförmigem Aussehen.

Richten wir aber ein kräftiges Fernrohr auf die Sonne, so finden wir, dass dieses gleichförmige Aussehen in Wirklichkeit nicht vorhanden, sondern dass die ganze Oberfläche in eigenthümlicher Weise granulirt ist. Man hat diese Granulation mit Reiskörnern verglichen, welche in einer Flüssigkeit schwimmen. Die einzelnen Knötchen oder Körner zeigen sich bei genauer Betrachtung noch wieder zusammengesetzt aus

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

vielen kleinen Lichtpunkten, deren Durchmesser etwa $^1/_3''$ beträgt, was einer räumlichen Ausdehnung im Betrage von 200 km nahezu gleichkommt. In manchen Gegenden der Sonnenoberfläche tritt diese Granulation mit grosser Schärfe, in anderen mehr verwaschen auf, auch kommen vielfache und rasche Aenderungen in der Form und Grösse vor.

In dem Hofe der Flecken macht diese Granulation den Eindruck, als wären (nach Nasmyth's Vergleich) leuchtende Weidenblätter ausgestreut, wie man dies in Fig. 185 und Fig. 186 (a. f. S.) erkennt, welche nach Secchi's Zeichnungen Sonnenflecken darstellen, welche er

Fig. 184.



sorgfältig beobachtet hat. Bisweilen ist das Innere der Flecken mit einem rosenrothen Schleier durchzogen, wie Fig. 187 und Fig. 188 (a. S. 335) zeigen. Bisweilen zeigen die grösseren Flecken in ihrem Inneren eine drehende oder wirbelnde Bewegung, wie dies z. B. bei einem am 5. Mai 1854 von Secchi beobachteten Fleck, Fig. 189 (a. S. 336), der Fall war, dessen spiralförmige Windungen nach zwei Stunden vollständig verschwanden.

Wilson hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass die Penumbra der Sonnenflecken beim Fortrücken gegen den westlichen Sonnenrand auf der Ostseite des Fleckens rascher verschwindet, dass hier der Kern schärfer begrenzt erscheint, als auf der Westseite, wie dies durch Fig. 190 (a. S. 336) erläutert wird, welche die scheinbaren Veränderungen darstellt,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 185.

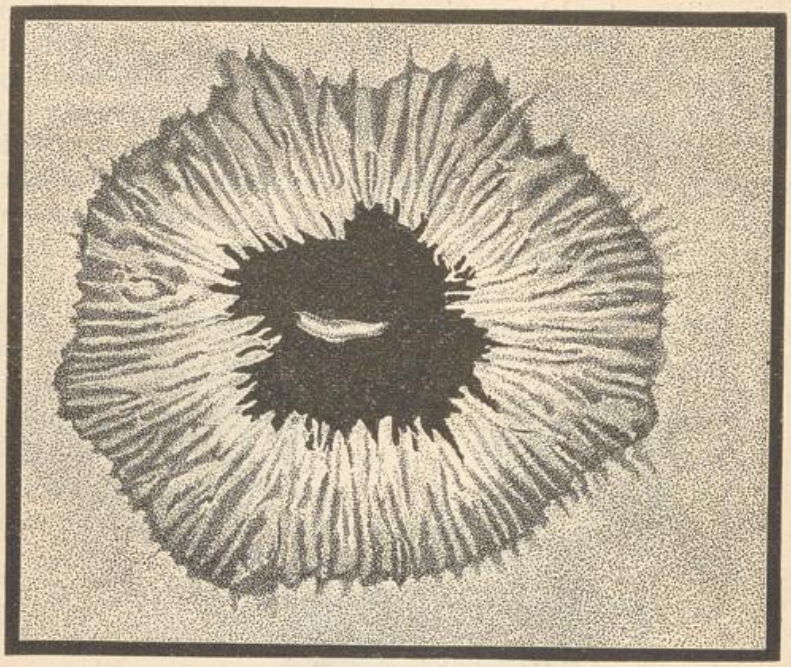
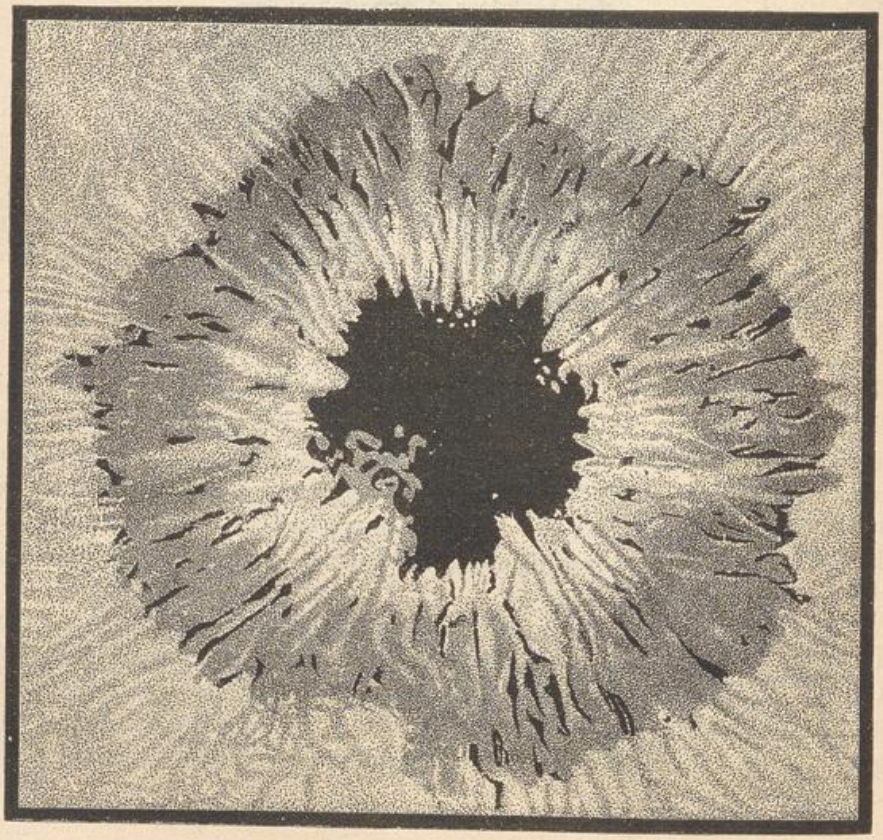


Fig. 186.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

welche ein Sonnenfleck durch sein Vorrücken gegen den Westrand der Sonne erleidet, bei 3 und 4 ist bereits der Ostrand der Penumbra, bei 5 ist der Kern des Fleckes selbst verschwunden. Auf diese Erscheinung

Fig. 187.

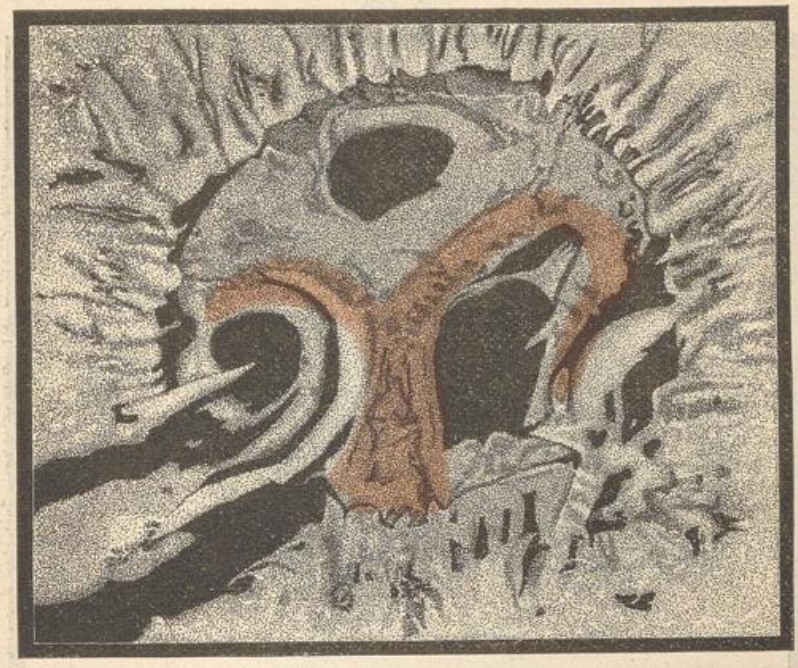


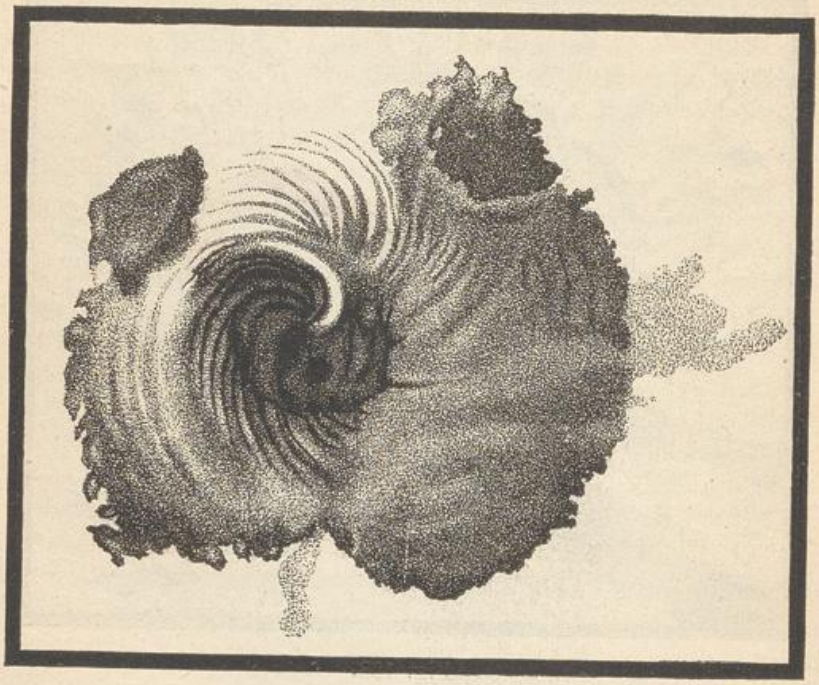
Fig. 188.



gründete Herschel die folgende, auch von Arago vertretene Hypothese über die Constitution der Sonne.

Der eigentliche Kern der Sonne sei eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmosphäre umgeben ist. In dieser Atmosphäre

Fig. 189.



schweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äussere, stark leuchtende die Photosphäre genannt wird. Die innere Wolkenschicht dagegen ist entweder nur schwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äussere erleuchtet.

Fig. 190.



Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch eine grössere Oeffnung in der Photosphäre und eine kleinere der unteren Wolkenschicht auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne steht aber im Widerspruch mit anerkannten Gesetzen der Physik und Geologie.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wenn irgend ein glühendflüssiger Körper durch Ausstrahlen erkaltet, so kann die Erkaltung nur von aussen nach innen fortschreiten; die äussere Hülle wird zuerst erkalten und erstarren, während der von ihr eingeschlossene Kern sich noch lange in feurigflüssigem Zustande befinden kann.

Es ist demnach nicht wohl möglich, dass der innere Kern der Sonne schon zu einer dunklen Masse erkaltet sein soll, während er von einer glühenden Atmosphäre umgeben ist. Ja, nehmen wir sogar an, dass ein solcher Zustand wirklich stattfände, so könnte er kein dauernder sein, weil der dunkle, kalte Kern, fortwährend Wärmestrahlen von der Photosphäre erhaltend, ohne sie nach irgend einer Seite hin frei ausstrahlen zu können, sich rasch erwärmen würde, während die Photosphäre, nach beiden Seiten Wärme ausstrahlend, bald erkalten müsste. Kurz, ein solcher Zustand könnte nur ein vorübergehender sein, während doch die Sonne schon Jahrtausende hindurch als glühender Körper ihre Strahlen in den Himmelsraum aussendet. Eine solche Beständigkeit ist nur durch die Annahme einer weissglühenden Masse von den enormen Dimensionen des gesammten Sonnenkörpers erklärlich. Eine glühende Photosphäre würde bei ihrer geringen Masse bald ihre gesammte Wärme an den ungeheuren kalten Kern abgeben müssen.

Die ohnehin schon höchst unwahrscheinliche Herschel-Arago'sche Hypothese eines dunklen Sonnenkörpers mit glühender Photosphäre ist aber durch die Spectraluntersuchungen Kirchhoff's vollkommen unhaltbar geworden.

Ein weissglühender fester oder flüssiger Körper liefert ein vollkommen continuirliches Spectrum, während ein im Gaszustande glühender Stoff, abgesehen von einer weiter unten (§. 127) zu erwähnenden Ausnahme, ein aus isolirten hellen Linien bestehendes Spectrum liefert. So besteht z. B. das Spectrum des glühenden Natriumdampfes aus zwei einzelnen gelben, das Spectrum des glühenden Strontiumdampfes aus mehreren rothen, einer orangefarbenen und einer blauen Linie u. s. w. Das in Dampfform glühende Eisen liefert ein aus über 100 hellen Linien fast aller Farben bestehendes Spectrum.

Nun hat Kirchhoff die wichtige Entdeckung gemacht, dass die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches, von einem stark weissglühenden Körper ausgehend, durch einen im Gaszustande glühenden Stoff hindurchgegangen ist, ein Spectrum liefert, welches gerade an der Stelle durch dunkle Linien unterbrochen ist, an welcher das glühende Gas für sich selbst helle Linien liefert. So liefert z. B. das Drummond'sche Kalklicht ein continuirliches Spectrum; wenn man es aber durch eine mittelst Kochsalz intensiv gefärbte (für sich selbst farblose und schwach leuchtende) Gasflamme gehen lässt, so zeigt sich eine dunkle Linie gerade da, wo die Natriumflamme für sich allein, d. h. ohne den weissglühenden Hintergrund, eine helle, gelbe Linie erzeugt hätte.

Kurz, alle hellen Spectrallinien, welche durch gasförmig glühende Stoffe erzeugt werden, werden in dunkle Linien verwandelt, wenn sich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hinter dem gasförmig glühenden Stoffe ein weissglühender Körper befindet, dessen continuirliches Spectrum dann durch jene dunklen Linien unterbrochen erscheint.

Nun aber liefert uns die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes keineswegs ein continuirliches Spectrum, sondern es erscheint uns von zahlreichen dunklen Linien durchschnitten, welche unter dem Namen der Fraunhofer'schen Linien bekannt sind. Sehr viele dieser Fraunhofer'schen Linien fallen nun aber genau mit den hellen Linien zusammen, aus denen das Spectrum verschieden gefärbter Flammen besteht.

So fällt z. B. die Fraunhofer'sche Linie *D* genau mit der hellen, gelben Linie zusammen, welche das Spectrum einer durch Kochsalz gefärbten Flamme bildet. Sämmtliche helle Linien des Eisenspectrums fallen genau mit der gleichen Anzahl dunkler Linien des Sonnenspectrums zusammen u. s. w.

Nach diesen Thatsachen liegt es nahe, die Fraunhofer'schen Linien aus einer Umkehrung der Flammenspectren zu erklären, wie dies Kirchhoff in der That gethan hat. Die Fraunhofer'schen Linien zu erklären, kann man annehmen, dass der Kern der Sonne, in festem oder flüssigem Zustande befindlich, weissglühend, dass aber dieser weissglühende Kern von einer gleichfalls glühenden Gasatmosphäre umgeben sei, in welcher verschiedene Stoffe in gasförmigem Zustande verbreitet sind. Wir müssen alle Stoffe als gasförmig in der Sonnenatmosphäre vorhanden annehmen, deren Flammenspectra aus hellen Linien bestehen, welche genau mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen, wie dies, wie wir gesehen haben, für das Natrium und für das Eisen der Fall ist. In gleicher Weise ergiebt sich, dass die Sonnenatmosphäre ausser Natrium und Eisen auch noch Magnesium, Calcium, Chrom, Nickel, Kobalt, Mangan, Titanium u. s. w. enthält, während die Existenz von Silicium, Thallium, Chlor, Brom, Jod u. s. w. in der Sonnenatmosphäre nicht nachgewiesen ist, weil die diesen Stoffen entsprechenden dunklen Linien im Sonnenspectrum nicht vorkommen. (Das Sonnenspectrum mit den wichtigsten Fraunhofer'schen Linien s. Tab. 10, Fig. 1.)

Es bleibt nun noch übrig, das Wilson'sche Phänomen, welches die Aufstellung der Hypothese vom dunklen Sonnenkern veranlasst hat, auch nach der Annahme eines glühenden Sonnenkörpers zu erklären. Schon Galilei erklärte die Sonnenflecken für Wolken, welche in der gasförmigen Atmosphäre der Sonne schweben und als dunkle Flecken auf dem glänzenden Sonnenkörper erscheinen. Er sagt: „Wenn die Erde ein selbstleuchtender Körper wäre, so würde sie, von fern gesehen, dieselben Erscheinungen darbieten wie die Sonne. Je nachdem die eine oder die andere Gegend sich hinter einer Wolke befände, würde man bald an der einen, bald an der anderen Stelle der scheinbaren Erdscheibe Flecken wahrnehmen; dabei würde die grössere oder geringere Undurchsichtigkeit der Wolken eine grössere oder geringere Schwächung des Erdlichtes

herbeiführen. Zu gewissen Zeiten würde es wenig Flecken geben, zu anderen würde eine grosse Zahl sichtbar sein; einige würden sich zusammenziehen, andere dagegen sich weiter ausdehnen u. s. w."

Galilei's Ansicht über das Wesen der Sonnenflecken bedarf nur einiger Modificationen, um das Wilson'sche Phänomen vollständiger und ungezwungener zu erklären, als es durch die Herschel-Arago'sche Hypothese vom dunklen Sonnenkörper geschieht. Kirchhoff giebt diese Erklärung in folgender Weise:

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge stattfinden, wie in der unserigen; locale Temperaturerniedrigungen müssen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unserigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet hat, so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche der glühende Körper der Sonne ihnen zusendet, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und grösser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, welche nahe über der Wolke liegen als für die höheren. Eine Folge davon muss sein, dass die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze, sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luftströme die Dämpfe ihrem Condensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist als in der Tiefe, und die, theilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat. — — —

Jene beiden Wolkenschichten spielen bei der Theorie der Sonnenflecken, die ich vertheidige, dieselbe Rolle, wie die beiden Oeffnungen der wolkigen Atmosphäre und der Photosphäre bei derjenigen, welche ich angreife. Denkt man sich die beiden Wolken von denselben Dimensionen und an denselben Orten als die beiden Oeffnungen, so erklärt sich das Wilson'sche Phänomen nach beiden Theorien in genau gleicher Weise."

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass das Wilson'sche Phänomen keineswegs bei allen Sonnenflecken auftritt.

Nach Zöllner sind die Sonnenflecken ungeheure Schlackenmassen, welche auf der feurigflüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. In den über der Schlackenmasse befindlichen Theilen der Sonnenatmosphäre müssen sich aber wegen der geringeren Strahlung an dieser Stelle wolkenartige Condensationsproducte bilden, durch welche hindurch die

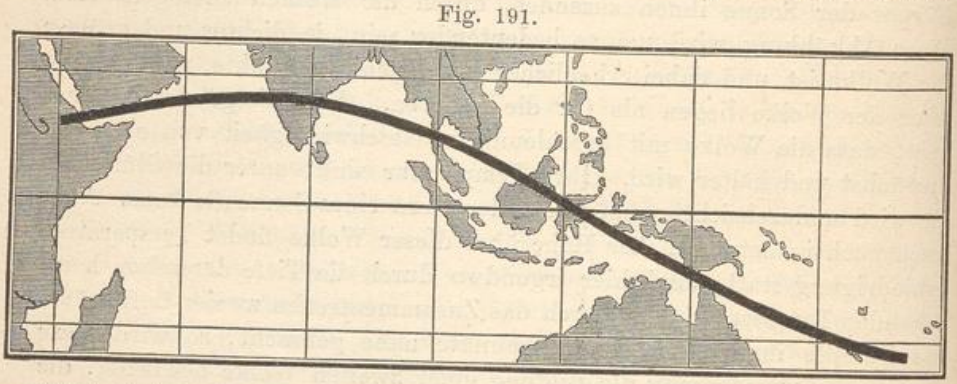
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Schlackeninsel als Kernfleck erscheint, während die Wolkenwände die Penumbra bilden.

126 **Protuberanzen und Corona.** Schon seit sehr langer Zeit hat man bemerkt, dass die Sonnenoberfläche bei totalen Sonnenfinsternissen noch ganz besondere Erscheinungen zeigt, die man aber früher wenig genau untersuchen konnte, weil die Totalität der Finsternisse immer nur wenige Minuten dauert, und es dabei von Interesse ist, auf mehr als eine Erscheinung zu achten. Zweierlei Phänomene sind dabei besonders hervortretend, nämlich 1) die Protuberanzen, und 2) die Corona.

Die Protuberanzen erscheinen als rothe flammen- oder wolkenartige Gebilde von höchst verschiedenen Formen. Sie sind namentlich seit dem Jahre 1851 mit grosser Aufmerksamkeit beobachtet, doch gelang es erst im Jahre 1868 mit Hülfe der Spectralanalyse, ihre physische Beschaffenheit festzustellen. Bis zum Jahre 1860 war man sogar im Zweifel, ob

Fig. 191.



die Protuberanzen der Sonne oder dem Monde angehörten; bei der in diesem Jahre stattfindenden Finsterniss fand man aber durch fortgesetzte Messungen ihrer Höhe, dass sie zur Sonne gehörten.

Im Jahre 1868 war das Spectroskop schon in allgemeiner Anwendung, und zur Beobachtung der in diesem Jahre am 18. August im südlichen Theile von Asien stattfindenden Sonnenfinsterniss wurden viele Beobachter, unter Anderen auch von Deutschland, ausgeschickt.

Zur Zeit dieser Finsterniss befand sich die Sonne fast in ihrer Erdferne, der Mond aber in seiner Erdnähe und in Folge dessen war die Dauer der totalen Verfinsterung ungewöhnlich gross. Während die totale Verfinsterung im Jahre 1860 nur $2^1/_2$ Minuten gedauert hatte, betrug die Dauer der totalen Verfinsterung im Jahre 1868 auf der Westküste von Vorderindien $5^m\,10^s$, an der Ostküste $5^m\,45^s$ und erreichte im Golf von Siam ihr Maximum von $6^m\,50^s$. Das Kärtchen Fig. 191 zeigt die Zone der Totalität, welche bei einer Breite von 30 geographischen Meilen eine Länge von 2000 Meilen hatte.

Eine norddeutsche Expedition beobachtete zu Mulvar an der Westküste von Vorderindien, während die norddeutsche photo-

graphische Expedition ihre Aufstellung in der Nähe von Aden an der Südspitze von Arabien genommen hatte. In der Nähe von Aden beobachteten auch die Mitglieder der österreichischen Expedition. Englische Beobachter waren an der West- und an der Ostküste von Vorderindien placirt. An der Ostküste von Vorderindien stellte auch der französische Physiker Janssen seine ergebnissreichen Beobachtungen an, während eine andere französische Expedition ihren Standpunkt auf der Halbinsel Malacca gewählt hatte.

Leider ist die Beobachtung dieser vielversprechenden Finsterniss nicht von der Witterung begünstigt gewesen. An der Westküste von Indien, wo die Finsterniss 5 Minuten dauerte, herrschte so trübes Wetter, dass die deutsche Expedition die Sonne nur 5 Secunden lang durch eine Wolkenlücke beobachten konnte, eine Zeit, welche jedoch hinreichte, um die Lage und Dimensionen einiger Protuberanzen zu bestimmen. Auf der Ostküste Vorderindiens klärte sich der Himmel auf und gestattete umfänglichere Beobachtungen. In Aden, wo die Finsterniss um $6^h\,20^m$ Morgens begann, herrschte zwar auch trübes Wetter, es wurde jedoch möglich, die Sonne durch die Wolken zu beobachten und mehrere gute Photographien zu erhalten.

Fig. 192.

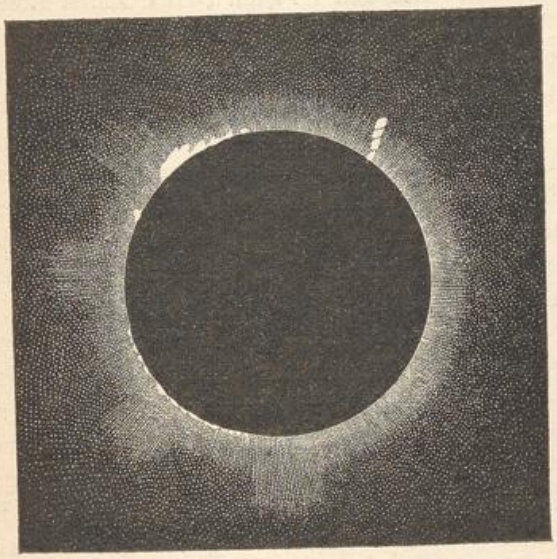


Fig. 192 stellt eine Totalansicht der Finsterniss dar; man erkennt in der Corona deutlich mehrere Protuberanzen, von denen die oben rechts besonders merkwürdig ist. Sie erscheint auf den zu Aden aufgenommenen Photographien und wurde nicht allein 32 Minuten später zu Mulvar, also ungefähr 350 Meilen von Aden entfernt, von der deutschen, sondern auch noch in Hinterindien von der französischen Expedition nahezu in derselben Lage und Gestalt beobachtet, woraus unzweifelhaft hervorging, dass diese Gebilde dem Sonnenkörper selbst angehören. Die scheinbare Höhe dieser Protuberanz ist von Engländern und Franzosen gemessen und gleich drei Minuten gefunden worden, wonach die wahre Höhe dieses Gebildes gegen 20 000 geographische Meilen betragen muss. Weiss (österr. Exped.) beobachtete diese grosse, während der Totalität der Finsterniss selbst mit blossem Auge sichtbare, in lebhaftem Carmin

glänzende Protuberanz noch eine Minute lang nach dem Hervorbrechen der Sonne, bis eine Wolke sie verdeckte.

Die Spectralanalyse der Protuberanzen, welche theils an der Ostküste von Vorderindien, theils auf der Halbinsel Malacca von Rayet, A. Herschel, Tennant, Janssen und Anderen ausgeführt wurden, lieferten den unumstösslichen Beweis, dass diese Gebilde gasförmiger Natur sind. Bei Anwendung des mit Fernrohren verbundenen, in einem der nächsten Paragraphen ausführlicher zu besprechenden geradsichtigen Spectroskops (spectroscope à vision directe) ergab sich nämlich, dass das Spectrum der Protuberanzen aus einigen isolirten hellen Linien besteht. Einige Beobachter zählten deren neun, andere fünf oder nur drei. Die den Fraunhofer'schen Linien C und F entsprechenden hellen Linien wurden von allen Beobachtern wahrgenommen und somit ist also glühendes Wasserstoffgas der wesentlichste Bestandtheil der Protuberanzen; ausser diesen beiden Hauptlinien wurden aber auch von einzelnen Beobachtern eine Linie nahe bei D (gewöhnlich mit D_3 bezeichnet), eine Linie nahe bei G und mehrere andere gesehen, die mit irdischen Stoffen nicht haben in Uebereinstimmung gebracht werden können. Die sehr auffällige Linie D_3, welche sich auch im Spectrum der Chromosphäre findet, schreibt man einem Stoffe zu, den man Helium genannt hat.

Die grosse Helligkeit der Linien des Protuberanzspectrums erregte bei Janssen die Hoffnung, dieselben auch ausser der Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss, also jederzeit mit dem Spectroskop beobachten zu können, wenn nur überhaupt die Sonne am Himmel steht. Der gleich am 19. August, dem Tage nach der totalen Finsterniss, von ihm gemachte Versuch bestätigte seine Hoffnung auf das Vollständigste. Er richtete den Spalt des an einem grossen Fernrohre angebrachten Spectroskops radial auf den Rand der Sonnenscheibe, und zwar nach Stellen, an welchen er Tags zuvor leuchtende Protuberanzen beobachtet hatte. Es zeigten sich zwei Spectra, nämlich das des Sonnenrandes mit den dunklen Linien und das aus hellen Linien bestehende Spectrum der Protuberanzregion. Um den störenden Glanz des Sonnenspectrums zu vermeiden, wurde das Instrument so gestellt, dass das Gelb, Grün und Blau ausserhalb des Gesichtsfeldes fiel und nur das Roth übrig blieb; es zeigte sich jetzt die dunkle Linie C im Spectrum des Sonnenrandes und in der Verlängerung desselben eine hellglänzende, rothe Linie. Es zeigte sich ferner ein aus nur wenigen hellen Linien gebildetes Spectrum, wenn der Spalt von dem Sonnenrande ganz entfernt wurde, so dass er nur auf die Protuberanzen gerichtet war.

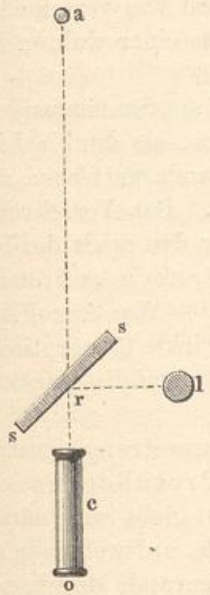
Der Grund, weshalb die Protuberanzen nicht unter den gewöhnlichen Verhältnissen bei Abblendung des intensiven Sonnenbildes sichtbar sind, liegt einfach in den das Bild der Protuberanz überdeckenden, stark beleuchteten Theilchen unserer Atmosphäre. Bei einer totalen Sonnenfinsterniss wird dieses superponirte Licht so bedeutend abge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

schwächt, dass die intensiv leuchtenden Protuberanzen sammt der Corona sichtbar werden.

Die Möglichkeit, die Protuberanzen bei vollem Tageslicht sichtbar zu machen, beruht nun darauf, dass das Licht der Protuberanzen nur aus drei homogenen Lichtarten besteht, bei prismatischer Zerlegung also drei lichtstarke, isolirte Bilder liefert, während das weisse, superponirte Licht der Atmosphäre zu einem vollständigen Spectrum von verhältnissmässig geringer Lichtstärke ausgebreitet, also an den einzelnen Stellen des Spectrums so abgeschwächt wird, dass es die hier auftretenden lichtstarken Protuberanzbilder nicht mehr unsichtbar machen kann.

Fig. 193.



Von der Anwendbarkeit dieses Princips kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen. Es sei a, Fig. 193, die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme eines Bunsen'schen Brenners, welchen man durch ein 3 bis 4 m von a aufgestelltes (in einem der folgenden Paragraphen näher zu besprechendes) geradliniges Spectroskop c betrachten kann, dessen Spalt gerade so weit geöffnet wird, dass die Flamme a ihrer ganzen Breite nach sichtbar ist. Zwischen a und c wird nun eine unbelegte Platte von geschliffenem Spiegelglas unter einem Winkel von 45° gegen ac aufgestellt, welche das Licht einer seitlich bei l aufgestellten, hell leuchtenden Argand'schen Lampe in einer Richtung ro reflectirt, welche mit ao zusammenfällt. Sieht man von o aus ohne Spectroskop nach a hin, so ist der Glanz des Spiegelbildes von l so stark, dass die Natriumflamme bei a vollkommen unsichtbar wird; sieht man aber durch das bei c aufgestellte Spectroskop, so erscheint nun die gelbe Flamme a hellglänzend auf dem lichtschwachen Spectrum, zu welchem das Bild von l ausgebreitet wird.

Durch einen solchen, nur etwas anders arrangirten Versuch hat Zöllner die Richtigkeit dieses Princips erläutert.

Schon im Jahre 1866 hatte Lockyer versucht, auf diesem Wege das Spectrum der Protuberanzen zu beobachten, es gelang ihm aber nicht, weil sein Prismenapparat nicht die hinlängliche zerstreuende Kraft hatte. Janssen wandte ein stärker zerstreuendes Prismensystem an, durch welches das Spectrum der hell erleuchteten Luft mehr ausgebreitet und abgeschwächt wurde, während die homogenen Linien des Protuberanzspectrums keine weitere Ausbreitung und Abschwächung erfuhren.

Mit dem besten Erfolge wurden nun nach Janssen's Vorgang die Spectra der Protuberanzen auch in Europa beobachtet, namentlich von Lockyer, Secchi, Tietjen u. s. w. Secchi constatirte im Spectrum

der Protuberanzen ausser den Wasserstofflinien noch das Vorkommen einer hellen Linie nahe bei B und einer solchen nahe bei D (nicht B und D selbst), einer hellen Linie zwischen den hellen Magnesiumlinien b und einiger Eisenlinien. (Die drei Hauptlinien der Protuberanzen siehe Tab. 10, Fig. 6.)

Die ferneren Beobachtungen des Sonnenrandes mittelst des Spectroskops zeigten alsbald, dass die ganze Sonne rings von einer Hülle desselben Gases umgeben ist, welches die Protuberanzen bildet, so dass also die Protuberanzen nur als locale Anhäufungen dieses Gases erscheinen. Die scheinbare Höhe dieser mit dem Namen der Chromosphäre bezeichneten glühenden Wasserstoffhülle wird von verschiedenen Beobachtern übereinstimmend zu 15″ angegeben, was einer wahren Höhe von 1660 geographischen Meilen entspricht.

Secchi hat ferner bemerkt, dass unmittelbar am Sonnenrande die Wasserstofflinien, und zwar namentlich C, aufhören, als dunkle Linien zu erscheinen, dass man sich aber erst etwas vom Rande entfernen muss, wenn man sie als helle Linien wahrnehmen will. Das Verschwinden der dunklen Linie C beobachtete Secchi auch, als er den Spalt des Spectroskops auf die in der Umgebung von Sonnenflecken auftretenden Fackeln richtete, ein Beweis, dass hier das Licht des Wasserstoffs hinlänglich intensiv war, um die durch denselben bewirkte Absorption zu compensiren. An der Stelle der Fackeln findet also ebenfalls eine mächtige Anhäufung des glühenden Wasserstoffs statt.

Die sorgfältige Beobachtung des Protuberanzspectrums gestattet aber auch annähernd wenigstens, die Gestalt der Protuberanz selbst zu ermitteln. Die Länge der hellen Spectrallinien giebt uns nämlich Auskunft über die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche gerade der Spalt gerichtet ist; zeigt sich eine von dem Sonnenrande durch einen dunklen Zwischenraum getrennte helle Linie, so kann man daraus schliessen, dass man es mit einer isolirt über der Sonne schwebenden Wasserstoffwolke zu thun habe. Man braucht nur den Spalt des Spectroskops nach und nach auf die verschiedenen Partien einer Protuberanz zu richten, überall Länge und Lage der hellen Spectrallinien zu notiren, um alsdann aus der Zusammenstellung dieser Data die Gestalt der ganzen Protuberanz zu construiren, wie dies Janssen in der That mit Erfolg gethan hat.

Die vollkommenste Methode zur Beobachtung der Protuberanzen hat aber Zöllner ausgemittelt; sie besteht einfach darin, dass man den Spalt des am Fernrohr angebrachten und auf die Protuberanz gerichteten Spectroskops weit genug öffnet, um die ganze Protuberanz übersehen zu können, so dass statt der getrennten hellen Spectrallinien ungetrennte farbige Bilder der ganzen Protuberanz im Gesichtsfelde erscheinen, und zwar beobachtete Zöllner deren drei, ein rothes (C) und ein blaues (F), und zwischen ihnen ein gelbes, welches sich aber von den beiden anderen dadurch unterscheidet, dass es nur für die unteren Partien der Protuberanz sichtbar ist. Es rührt das gelbe Bild also offenbar von

einem schweren glühenden Gase her, welches nicht bis zu der Höhe des glühenden Wasserstoffgases aufsteigt.

Tab. XXX und XXXI des Atlas stellt eine Reihe der von Zöllner beobachteten Protuberanzen dar. Bei einem Theil der hier dargestellten Protuberanzen ist die scheinbare Höhe beigeschrieben. Die 120″ hohe Protuberanz, Fig. 2, zeigte eine züngelnde Bewegung, und zwar betrug die Zeit, welche eine solche Flammenwelle brauchte, um sich von der Basis bis zur Spitze des Gebildes fortzupflanzen, 2 bis 3 Secunden. Trotz eifrigen und andauernden Suchens ist es Zöllner nicht gelungen, eine ähnliche Erscheinung wieder zu beobachten.

Von der grossen Schnelligkeit jedoch, mit welcher sich die Protuberanzen ihrer Form und Intensität nach verändern, geben die übrigen Abbildungen der Tab. XXX interessante Beispiele. Fig. 3 stellt sechs rasch auf einander folgende Phasen einer und derselben, am 1. Juli beobachteten Protuberanz dar, wie sie zu den unten beigesetzten Zeiten erschien. Tab. XXXI stellt eine von Zöllner und Tab. XXXII stellt einige von Secchi beobachtete Protuberanzen in grösserem Maassstabe dar.

Man unterscheidet zweierlei Arten von Protuberanzen, nämlich die wolkenförmigen und die eruptiven. Die ersteren haben eine grosse Aehnlichkeit mit unseren irdischen Wolken oder mit den Rauchmassen, wie sie sich über den feuerspeienden Bergen zur Zeit der Ausbrüche bilden. Sie bestehen, wie das Spectroskop zeigt, hauptsächlich aus Wasserstoffgas und dem bereits genannten Helium, und verändern ihre Form verhältnissmässig langsam. Die eruptiven Protuberanzen brechen an Stellen, die vorher nichts Auffallendes zeigten, plötzlich in Säulenform, wie der Wasserstrahl eines Springbrunnens, zu ungeheuren Höhen empor, die zum Theil die Hälfte der Entfernung des Mondes von der Erde erreichen, und mit einer Geschwindigkeit, welche bisweilen über 40 geographische Meilen in der Secunde beträgt. Hier finden sich ausser dem Wasserstoff und dem Helium noch manche andere Stoffe, wie Eisen, Magnesium, Natrium, Baryum und Titan, die wohl durch die Gewalt der Eruption aus grösseren Tiefen emporgeschleudert werden.

Weit räthselhafter als die Protuberanzen ist die sogenannte Corona, ein bei totalen Sonnenfinsternissen auftretender weisslicher Hof um die Sonne von häufig sehr unregelmässiger Form, die zum Theil einem raschen Wechsel unterworfen ist. Die Ausdehnung dieses Hofes ist zum Theil überaus gross, weit grösser als der Durchmesser der Sonne. Bei Gelegenheit mehrerer Sonnenfinsternisse, namentlich denjenigen der Jahre 1878 und 1889, welche in Nordamerika sichtbar waren, wurde die Corona genau untersucht und von vielen Stationen aus gezeichnet, doch zeigen die Zeichnungen theilweise sehr wesentliche Unterschiede. Die spectroskopische Untersuchung zeigte, dass die Corona ein schwaches continuirliches Spectrum ergiebt mit einer hellen, grünen Linie (1474 der Kirchhoff'schen Scala), die sich auch im Spectrum der Protuberanzen findet, dagegen nicht in dem Spectrum der Sonne selbst, auch hat sie mit keiner

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Linie eines irdischen Stoffes bisher identificirt werden können. Ausser dieser Linie, welche man die Coronalinie nennt, haben einige Beobachter noch andere Linien gesehen, z. B. die bereits erwähnte Linie D_3 des Helium.

Es ist nun die Vermuthung ausgesprochen worden, dass das Wasserstoffgas möglicherweise in der Sonnenatmosphäre theilweise dissociirt vorkommt, und dass es ein zusammengesetztes Gas ist, dessen einzelne Bestandtheile die Linie D_3 und die Coronalinie ergeben. Einzelne Beobachter wollen ausser diesen hellen Linien noch dunkle Linien gesehen haben, und es würde dies ein Zeichen davon sein, dass das Licht der Corona theilweise reflectirtes Sonnenlicht ist. Hierüber müssen fortgesetzte Untersuchungen Aufklärung geben. Leider kann man die Corona nur zur Zeit der totalen Sonnenfinsternisse wahrnehmen. Der Engländer Huggins war zwar eine Zeit lang der Ansicht, dass die Strahlen der Corona auch zu anderen Zeiten chemisch wirksam sind und sich auf Photographien zeigen, indessen hat sich diese Vermuthung nicht bestätigt.

Wie bei der Frequenz der Sonnenflecken, so hat man auch bezüglich der Ausdehnung und Form der Corona eine elfjährige Periode vermuthet, indessen ist hier das Beobachtungsmaterial so spärlich, dass es wohl zu früh erscheint, eine derartige Hypothese aufzustellen.

127 **Physische Constitution der Sonne.** Frankland hat die interessante Entdeckung gemacht, dass eine Wasserstoffflamme, in Sauerstoff von hohem Druck brennend, mit hellem Lichte leuchtet und ein ganz continuirliches Spectrum liefert, wie glühende feste oder flüssige Körper. Dies veranlasste Wüllner (Pogg. Ann. CXXXVII), das Licht des Inductionsfunkens spectroskopisch zu untersuchen, wenn derselbe nicht durch verdünnte, sondern durch verdichtete Gase hindurchgeht.

Wüllner hat gefunden, dass das Wasserstoffspectrum ein continuirliches wird, wenn das Gas in der Spectralröhre eine grosse Dichtigkeit hat und man dasselbe durch einen grossen Ruhmkorff'schen Apparat mit eingeschalteter Leydener Flasche ins Glühen bringt.

Geht der Funken, welchen der Apparat bei eingeschalteter Flasche liefert, durch eine Röhre, in welcher das Wasserstoffgas nur dem Druck einer Quecksilbersäule von 23 mm Höhe ausgesetzt ist, so besteht das Spectrum noch aus den bekannten drei hellen Linien H_α, H_β und H_γ, von denen die blaue und violette schon verwaschen sind. Der Hintergrund ist noch dunkel und nur zwischen D und F schwach erleuchtet.

Bei zunehmendem Druck dehnen sich H_β und H_γ immer mehr aus, so dass sie bald nur noch als Helligkeitsmaxima auf einem immer heller werdenden, continuirlich erleuchteten Grunde erscheinen; gleichzeitig wird allmählich auch H_α weniger scharf und verbreitert sich, so dass diese rothe Linie bei einem Druck von 300 mm als ein breites, rothes Band erscheint, welches von dem in Orange beginnenden continuirlichen Spectrum nicht

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mehr durch einen ganz dunklen, sondern nur durch einen mit schwächerem Lichte leuchtenden Raum getrennt ist.

Bei steigendem Druck nimmt die Helligkeit des continuirlichen Spectrums an allen Stellen zu, so dass bei einem Druck von 1000 mm das Spectrum zwischen dem etwas verbreiterten H_α bis H_γ ganz continuirlich ist, wie das Spectrum eines weissglühenden, festen Körpers, nur mit etwas anders vertheilter Helligkeit. Bei 1230 mm Druck war das ganze Spectrum wahrhaft blendend; es zeigte in Folge des bei der hohen Temperatur aus dem Glase verdampften Natriums die Natriumlinie als schöne dunkle Linien. — Zur Erzeugung Fraunhofer'scher Linien ist also das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers nicht absolut nöthig.

Demzufolge ist es nun nach Zöllner wahrscheinlich, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch diejenige Schicht der Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, für welche durch gesteigerten Druck das Spectrum continuirlich geworden ist. Die glühendflüssige Oberfläche der Sonnenkugel aber liegt unterhalb dieser hell leuchtenden Schicht von Wasserstoffgas.

Betrachtet man die Sonnenflecken als schlackenartige locale Abkühlungsproducte auf der glühendflüssigen Oberfläche und die Penumbra als Condensationswolken, welche in einer gewissen Höhe die Küsten jener Schlackeninseln umkränzen, so liegen also die Kerne der Sonnenflecken wirklich tiefer als die sichtbare Sonnenoberfläche, und das Wilson'sche Phänomen findet so seine einfache ungezwungene Erklärung.

Die Tiefe der Sonnenflecken unter der leuchtenden Oberfläche beträgt, verschiedenen Beobachtungen zufolge, ungefähr 8 Secunden. Bezeichnen wir mit R den beobachteten Sonnenhalbmesser, mit r den Radius der glühendflüssigen Sonnenkugel, so ist also

$$r = R - 8''$$

oder R in mittlerer Entfernung der Sonne zu $16'$ angenommen,

$$r = 15'\ 52''.$$

Nimmt man die mittlere Parallaxe der Sonne nach Hansen zu $8{,}915''$ an, so ergiebt sich für den mittleren Abstand der Sonne von der Erde

$$8'' = \quad 5\,722\,500 \text{ m und}$$
$$r = 680\,930\,000 \text{ m}.$$

Die bei den Ausbrüchen der sogenannten eruptiven Protuberanzen hervorbrechenden Wasserstoffmassen rühren, wie es Zöllner wahrscheinlich gemacht hat (Pogg. Ann. CXLI), von localen Ansammlungen her, welche sich in den unterhalb der flüssigen Oberfläche gelegenen Schichten bilden und ihre äussere Begrenzung durch die wachsende Spannung des eingeschlossenen Gases durchbrechen.

Zöllner hat oft derartige Protuberanzen beobachtet, welche in 10 bis 12 Minuten bis zu einer scheinbaren Höhe von 1,5 bis 3 Bogenminuten, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter aufstiegen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Es sei nun v die Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmasse m aus der in der flüssigen Oberfläche gebildeten Oeffnung hervorströmt, so ist ihre lebendige Kraft $m\frac{v^2}{2g}$, wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Oberfläche der Sonne bezeichnet. Die dieser lebendigen Kraft entsprechende Wärmemenge ist

$$W = A\frac{v^2}{2g} \cdot m,$$

wenn A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit ist.

Nehmen wir an, dass der Wasserstoff unter einem constanten Druck aus dem Inneren durch die Oeffnung ausströmt, so ist die Wärmemenge, welche beim Ausströmen der Gasmenge m verschwindet, indem sich dieselbe von der Temperatur t_i (der Temperatur im Inneren) bis zur Temperatur t_a (Temperatur an der oberen Grenze der Mündung) abkühlt,

$$W' = m \,.\, c\,(t_i - t_a),$$

wenn c die specifische Wärme des Wasserstoffs bei constantem Druck bezeichnet.

Diese Wärmemenge ist es aber, von welcher die lebendige Kraft des ausströmenden Gases herrührt, wir haben also $W = W'$ und daraus

$$A\,\frac{v^2}{2\,g} = c\,(t_i - t_a) \,.\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, 1)$$

Bezeichnet man mit H die Höhe, bis zu welcher ein mit der Anfangsgeschwindigkeit v in die Höhe geschleuderter Körper über die Sonnenoberfläche aufsteigen wird, so haben wir (wenn die Abnahme der Schwerkraft, welche der wachsenden Entfernung vom Sonnenmittelpunkte entspricht, unberücksichtigt bleibt):

$$H = \frac{v^2}{2\,g} \cdot\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, 2)$$

folglich nach Gleichung 1):

$$t_i - t_a = \frac{A\,H}{c} \,.\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, .\, 3)$$

Setzen wir in diese Gleichung für A, H und c ihre Zahlenwerthe, nämlich $A = \frac{1}{424}$, $H = 64\,000\,000$ und $c = 3{,}409$, so ergiebt sich

$$t_i - t_a = 44\,270^0,$$

d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist um 44 270° C. höher, als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne.

Setzen wir in Gleichung 2) für H seinen Werth 64 000 000 m, für g aber seinen Werth 274 m, so ergiebt sich

$$v = 187\,250 \text{ m},$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

d. h. eine Geschwindigkeit von 25 geographischen oder 123 englischen Meilen.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend, berechnete Zöllner nach Formeln, auf deren Entwickelung hier nicht eingegangen werden kann, für die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre den Werth

$$t = 27\,000^0\,\text{C.},$$

eine Temperatur, welche so hoch ist, dass das Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd in gasförmigem Zustande existiren muss.

Die Temperatur im Inneren der Sonne betrüge danach ungefähr 70 000° C.

Zöllner berechnet ferner, dass der Druck an der Stelle, an welcher das Wasserstoffspectrum continuirlich zu werden beginnt, ungefähr $^1/_4$ des irdischen Atmosphärendrucks beträgt. Danach aber ergiebt sich der Druck auf der Oberfläche der flüssigen Trennungsschicht gleich dem von

184 000 Atmosphären,

im Inneren der Räume aber, aus welchen die Protuberanzen hervorbrechen, wäre demnach der Druck

4 070 000 Atmosphären,

also ein so enormer Druck, dass selbst bei der hohen Temperatur, welche hier herrscht, die permanenten Gase, also auch der Wasserstoff, nur im glühendflüssigen Zustande existiren können.

Die Quelle der Sonnenwärme mag vorläufig noch in Frage gestellt bleiben.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Frühlings-Tag- und Nacht- 128
gleiche erscheint manchmal an sternhellen Abenden, wenn die letzte Spur der Dämmerung verschwunden ist, am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstrasse, welcher die Form einer schief auf dem Horizont stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt immer ziemlich genau mit der Ekliptik zusammen, daher der Name Zodiacallicht.

In unseren Gegenden bildet in der genannten Jahreszeit die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont.

Am östlichen Himmel erscheint das Zodiacallicht wohl auch und zwar des Morgens vor Sonnenaufgang zur Zeit des Herbstäquinoctiums, aber doch nie so lichtstark, wie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums am Abendhimmel.

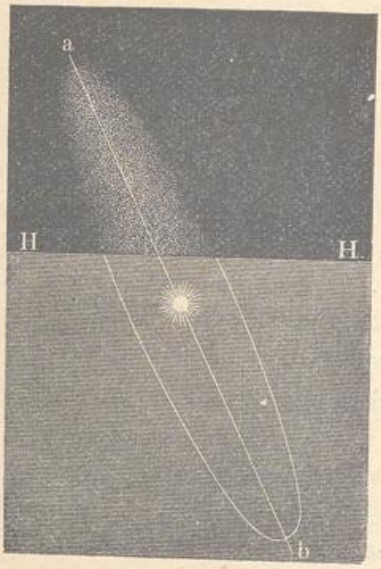
Dass das Zodiacallicht selbst im Frühjahr selten wahrgenommen wird, beruht nur darauf, dass gerade im Februar und März der Himmel

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Abends selten so rein ist, wie es zur Wahrnehmung einer so zarten Lichterscheinung nothwendig ist.

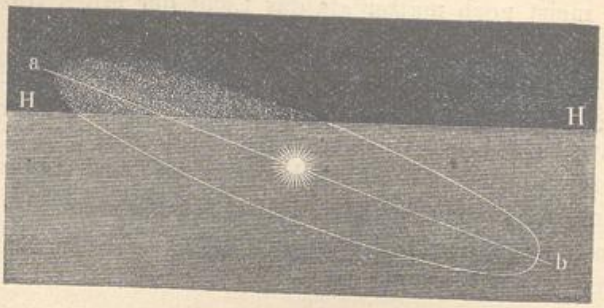
Von der beschriebenen Erscheinung, welche das Zodiacallicht darbietet, kann man sich am besten Rechenschaft geben, wenn man sich vorstellt, dass die Sonne von einer ungeheuren linsenförmig abgeplatteten Atmosphäre umgeben sei, in deren Mittelpunkt sie steht und deren grösste Ausdehnung in die Ebene der Ekliptik fällt. Eine solche Atmosphäre würde sich von der Erde aus gesehen ungefähr so darstellen, wie Fig. 194 und Fig. 195 zeigt; da sie aber nur ein äusserst schwaches Licht ausstrahlt, so kann sie nicht wahrgenommen werden, so lange die Sonne selbst noch über dem Horizont steht, sondern entweder nur vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang.

Fig. 194.



Ferner ist die Sichtbarkeit des Zodiacallichtes an die Bedingung geknüpft, dass der Punkt a der fingirten Sonnenatmosphäre möglichst spät nach der Sonne untergeht, dass also die grosse Axe ab dieser Sonnenatmosphäre einen möglichst grossen Winkel mit dem Horizont HH macht. Da nun aber diese grosse Axe nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt, so wird das Zodiacallicht vorzugsweise dann sichtbar sein, wenn in den Morgen- oder Abendstunden die Ekliptik möglichst steil aufgerichtet erscheint. Für die nördliche Erdhälfte erscheint aber die Ekliptik am steilsten aufgerichtet, wenn der Frühlingspunkt im westlichen, der Herbstpunkt im östlichen Horizont steht, der Sommersolstitialpunkt aber culminirt. In den Abendstunden ist dies nun im Frühjahr, in den Morgenstunden ist es im Herbst der Fall, und daraus erklärt sich, warum das Zodiacallicht bei uns vorzugsweise in den oben bezeichneten Zeiten gesehen wird.

Fig. 195.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Den kleinsten Winkel macht die Ekliptik mit dem Horizont, wenn der Herbstpunkt eben unter-, der Frühlingspunkt eben aufgeht und der Wintersolstitialpunkt culminirt. Im mittleren Deutschland macht alsdann die Axe des Zodiacallichtes nur einen Winkel von ungefähr 17° mit dem Horizont, wie dies Fig. 195 angedeutet ist. Diese Lage hat das Zodiacallicht in den Morgenstunden des Frühjahres und in den Abendstunden des Herbstes; es sind dies für die Sichtbarkeit des Zodiacallichtes die

Fig. 196.



ungünstigsten Zeiten, wie man nach den obigen Auseinandersetzungen leicht sieht.

Je mehr man sich auf der Erde dem Nordpol nähert, desto mehr nimmt der Winkel ab, welchen die Ekliptik mit dem Horizont macht, desto ungünstiger werden also die Verhältnisse zur Beobachtung des Zodiacallichtes. Umgekehrt werden dieselben immer günstiger, wenn man sich der Aequatorialzone nähert, einmal, weil alsdann der Winkel, welchen die Axe des Zodiacallichtes mit dem Horizont macht, immer mehr wächst, und dann auch, weil in den Tropen der Himmel ungleich reiner ist als in höherer Breite. Deshalb ist denn auch zwischen den Wendekreisen die Erscheinung des Zodiacallichtes nicht allein weit brillanter, sondern auch weit häufiger, so dass Humboldt dasselbe einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Zeit des Herbstäquinoctiums die günstigste Periode zur Beobachtung des Zodiacallichtes am Abendhimmel.

Während bei uns die Spitze des Zodiacallichtes stets nach Süden gerichtet ist, erscheint auf der südlichen Erdhälfte die Lichtpyramide des Zodiacallichtes nach Norden geneigt, so dass am Abendhimmel der Scheitel des Lichtkegels rechts von der Basis erscheint, wie man dies nach Fig. 196 (a. v. S.) sieht, welche das Zodiacallicht darstellt, wie es nach einer Zeichnung von Ludwig Becker am 11. October 1858 zu Melbourne in Australien beobachtet wurde. Ueber dem Gipfel des Zodiacallichtes erblickte man an jenem Abend in der Nähe der Mondsichel Venus und Antares, während in einiger Entfernung nach Norden hin (rechts von dem Zodiacallicht unserer Figur) der Donati'sche Komet stand, welcher am 11. October zu Melbourne zum ersten Male sichtbar war.

In sehr klaren Nächten, wenn das Zodiacallicht mit besonders grosser Deutlichkeit sichtbar ist, zeigt es eine besondere Erscheinung, welche noch nicht hat genügend erklärt werden können. Man sieht dann nämlich an der der Sonne gegenüberliegenden Stelle des Himmels ebenfalls einen blassen Schein, den sogenannten Gegenschein des Zodiacallichtes, von ähnlicher Gestalt, wie das letztere selbst, aber von weit geringerer Grösse und Lichtintensität. Bisweilen bildet sich sogar eine vollständige Verbindung zwischen beiden Lichtkegeln durch eine matte Lichtzone. Die Beobachtungen Schiaparelli's haben gezeigt, dass zu Zeiten ein förmlicher Lichtring sich über den ganzen Thierkreis erstreckt, mit einem Maximum der Intensität, welches mit dem Orte der Sonne zusammenzufallen scheint, einem zweiten Maximum, welches der Sonne gerade gegenübersteht; ferner zwei Minimis an zwei Punkten, die ungefähr 130° von der Sonne entfernt liegen.

Die plausibelste Erklärung für das Zodiacallicht ist wohl diejenige, nach welcher es durch eine sehr dünne, die Sonne in ring- oder linsenförmiger Gestalt umgebende Substanz hervorgebracht wird, welche sich noch etwas über die Erdbahn hinaus erstreckt. Sendete uns diese Materie nur reflectirtes Sonnenlicht zu, so liessen sich die beiden oben erwähnten Maxima der Lichtintensität nicht erklären, und selbst wenn wir die Hypothese zu Hülfe nehmen, dass ausser dem reflectirten noch eigenes Licht vorhanden ist, so bleibt in der Erscheinung des Zodiacallichtes Manches räthselhaft. Spectroskopische Untersuchungen des Lichtes haben ein deutliches continuirliches Spectrum erkennen lassen. Bisweilen hat sich auch eine helle, grüne Linie im Spectrum gezeigt, die mit einer Linie des Nordlichtspectrums zusammenfällt, die aber anscheinend nur zu solchen Zeiten sichtbar war, wenn wenigstens Spuren eines Nordlichtes am Himmel vorhanden waren. Durch das Polariskop erscheint das Zodiacallicht in der durch die Sonne gehenden Ebene theilweise polarisirt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Photometrische Vergleichung der Fixsterne. Die Fix- 129
sterne werden, wie bereits im ersten Capitel des ersten Buches angeführt wurde, in verschiedene Grössenclassen eingetheilt. Da nun die Fixsterne selbst bei der stärksten Vergrösserung keinen wirklichen, messbaren Durchmesser zeigen, da also von einer Grösse eigentlich bei ihnen keine Rede sein kann, so bezieht sich jene Eintheilung nicht sowohl auf die Grösse, als vielmehr auf den Glanz der Fixsterne.

Die Eintheilung in Sterne erster, zweiter, dritter u. s. w. Grösse ist übrigens ursprünglich eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr durchaus keine vergleichenden Messungen der Lichtstärke der Fixsterne zu Grunde. Der Erste, welcher eine solche Vergleichung versuchte, war der ältere Herschel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei siebenfüssige, vollkommen gleiche Teleskope, welche also denselben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden so neben einander gestellt, dass der Beobachter sich ungefähr in einer Secunde von dem Ocular des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeschoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere centrale kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Grösse der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade ebenso erschien, wie der andere durch das zweite Teleskop, dessen Oeffnung ganz frei war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des grossen Bären gerichtet, so zeigten sich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erste Fernrohr ein Schirm gesetzt war, dessen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte, als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohres, und daraus geht hervor, dass uns α Bootis viermal so viel Licht zusendet als γ Ursae majoris.

Die eben besprochene Methode, die Lichtstärke verschiedener Sterne zu vergleichen, leidet besonders an dem Uebelstande, dass man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander sieht. Diesem Uebelstande hat man auf verschiedene Weise durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen gesucht.

Seidel hat nach einer von Steinheil herrührenden Methode eine Reihe photometrischer Fixsternvergleichungen angestellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, so ist nach diesen Messungen Folgendes die Lichtstärke der bei uns hinlänglich deutlich erscheinenden Sterne erster Grösse:

Sirius	4,29	Procyon	0,70	Deneb	0,31
Wega	1,00	Atair	0,49	ε Canis majoris	0,31
Rigel	0,99	Spica	0,49	Aldebaran	0,30
Capella	0,82	Fomalhaut	0,34	Antares	0,29
Arcturus	0,79	Regulus	0,33	Pollux	0,29

α Orionis fehlt hier, weil er veränderlich ist.

Die hellsten Sterne der südlichen Halbkugel haben nach Herschel's Messungen, in demselben Maasse ausgedrückt, folgende Lichtstärke:

Canopus . . .	2,72	α Eridani . .	0,59	α Crucis . . .	0,52
α Centauri . .	1,33	β Centauri . .	0,53	β Crucis . . .	0,34

Nach Seidel's Messungen haben die verschiedenen Grössenclassen der Sterne folgende Helligkeiten (Helligkeit der Wega = 1):

Grösse:	Helligkeit:
2	0,17
3	0,05
4	0,015
5	0,0045
6	0,0013

d. h. die Helligkeit einer jeden Grössenclasse ist genähert = $^1/_3$ der Helligkeit der vorhergehenden Classe. Danach würde die Helligkeit der Sterne erster Grösse = 0,51 sein; da man aber alle Sterne, welche heller als Wega sind, bis zum Sirius mit der Helligkeit 4,29 in die erste Grössenclasse rechnet, so wird die mittlere Helligkeit der Sterne erster Grösse erheblich grösser.

Da ein Stern sechster Grösse ungefähr 770mal lichtschwächer ist als Wega, so würden also erst 3300 Sterne sechster Grösse zusammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Seidel die Lichtstärke dieser beiden Planeten zur Zeit der Opposition gleich 6,8 und 8,5.

Wollaston verglich sowohl den durch Sonnenlicht als auch den durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Kerzenlichtes, und fand so, dass die Sonne 800 000mal lichtstärker sei als der Vollmond. Später fand Bond das Verhältniss der Lichtstärken des Vollmondes und der Sonne wie 1 : 471 000, und Zöllner wie 1 : 619 000; der letztere Werth wird wohl der zuverlässigste sein. Ferner fand Zöllner das Licht der Sonne 56 000 Millionen mal heller als das des Sternes erster Grösse Capella, und da das Licht des Sirius fünfmal so hell ist wie das der Capella, so würde das Licht des Sirius sich zu dem der Sonne wie 1 : 11 000 Millionen verhalten. Nehmen wir nun die Parallaxe des Sirius zu 0,39″ an, so überträfe die absolute Lichtstärke des Sirius die der Sonne 25mal.

Wenn also unsere Sonne in derselben Entfernung von uns sich befände, wie Sirius, so würde sie 25mal lichtschwächer sein als dieser, sechsmal lichtschwächer als Wega; sie würde uns also etwa als ein Stern zweiter Grösse erscheinen.

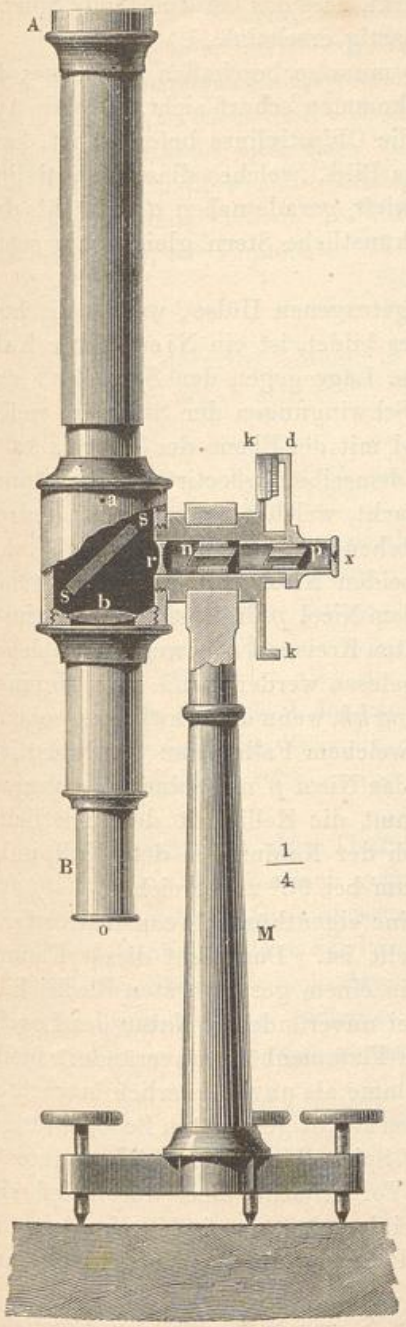
Auf der im Herbst 1858 zu Karlsruhe gehaltenen Naturforscher-Versammlung machte Schwerd Mittheilung über ein von ihm zur photometrischen Vergleichung der Sterne construirtes Instrument, welches an Genauigkeit und Sicherheit alles übertraf, was in dieser Beziehung bis dahin geleistet worden war.

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei nach allen Richtungen beweglichen Fernrohren, welche auf die zu vergleichenden Sterne

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gerichtet werden, deren Bilder aber mittelst äusserst sinnreicher, hier nicht näher zu beschreibender Vorrichtungen gleichzeitig und unmittelbar neben einander stehend gesehen werden.

Fig. 197.



Unter dem Titel „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels“ hat Zöllner im Jahre 1861 eine umfangreiche Arbeit über den genannten Gegenstand publicirt, in welchem er ein von ihm construirtes, zur Helligkeitsmessung der Gestirne dienendes Instrument beschreibt, welches vor den meisten anderen den grossen Vorzug hat, dass es mit verhältnissmässig geringen Mitteln hergestellt werden kann. Mittelst dieses Instrumentes werden die Sterne des Himmels mit einem künstlichen Sterne verglichen, dessen Helligkeit durch eine Polarisationsvorrichtung beliebig abgeschwächt werden kann, bis er an Helligkeit dem zu beobachtenden Himmelsstern gleich ist. Da hier zur Abschwächung des künstlichen Sternes eine Polarisationsvorrichtung angewendet wird, so nennt Zöllner sein Instrument Polarisations-Astrophotometer.

Fig. 197 mag dazu dienen, das Wesentlichste der Einrichtung dieses Photometers verständlich zu machen. AB stellt ein Fernrohr dar, dessen Einrichtung etwas von der gewöhnlichen abweicht. Das Ocular ist unveränderlich bei b befestigt, während das bei A befindliche Objectiv in der Richtung der Axe des Rohres verschoben werden kann. Bei s ist eine planparallele Glasplatte so befestigt, dass sie einen Winkel von 45^0 mit der Axe des Rohres macht. Diesem durchsichtigen Spiegel gegenüber ist das Rohr seitlich durchbrochen, so dass ein Auge bei o das Spiegelbild einer bei x befindlichen, durch eine constante Lichtquelle er-

leuchteten feinen Oeffnung in der Axe des Fernrohres erblickt. Damit das Spiegelbild der kleinen (2 bis 4 mm weiten) Oeffnung x nicht gar zu weit hinter den Spiegel falle, ist bei r eine Hohllinse von kurzer Zerstreuungsweite angebracht, welche zugleich bewirkt, dass das bei a liegende Spiegelbild der Oeffnung x vollkommen sternartig erscheint.

Die Brennweite der Ocularlinse b muss so beschaffen sein, dass das Auge bei o das Spiegelbild bei a vollkommen scharf sieht. Durch Ausziehen der Röhre, an deren Ende A die Objectivlinse befestigt ist, kann man es leicht dahin bringen, dass das Bild, welches diese Objectivlinse von dem zu beobachtenden Sterne entwirft, gerade neben a entsteht, dass also der Stern des Himmels und der künstliche Stern gleichzeitig scharf gesehen werden.

In der von der Messingsäule M getragenen Hülse, welche die horizontale Umdrehungsaxe des Fernrohres bildet, ist ein Nicol'sches Kalkspathprisma n so eingesetzt, dass seine Lage gegen den Spiegel ss stets ungeändert bleibt, und zwar sind die Schwingungen der Strahlen, welche durch das Nicol gegangen sind, parallel mit der Ebene des Spiegels ss, so dass sie also möglichst vollständig von demselben reflectirt werden können.

Bei p ist ein zweites Nicol angebracht, welches um seine Axe gedreht werden kann, während n unverändert stehen bleibt, so dass also der Winkel, welchen die Schwingungsebenen der beiden Nicols mit einander machen, beliebig geändert werden kann. Mit dem Nicol p dreht sich der Nonius d, welcher sich längs des in 360^0 getheilten Kreises kk bewegt, an welchem demnach die Drehung des Nicols p abgelesen werden kann. Der Nonius d zeigt auf den Nullpunkt der Kreistheilung kk, wenn die Schwingungsebenen der beiden Nicols gekreuzt sind, in welchem Falle dann der künstliche Stern ganz verschwindet. Wird nun das Nicol p mit seiner Fassung aus dieser Stellung herausgedreht, so nimmt die Helligkeit des künstlichen Sternes um so mehr zu, je weiter sich der Nonius von dem Nullpunkte der Theilung entfernt, um ihr Maximum bei 90^0 zu erreichen.

Als constante Lichtquelle dient eine eigenthümlich construirte Gaslampe, deren Flamme vor x aufgestellt ist. Das Licht dieser Flamme kann nur durch eine kleine Oeffnung in einem geschwärzten Blechschirm auf die Oeffnung x fallen. So lange bei unveränderter Natur des Leuchtgases der Gaszufluss constant und die Flammenhöhe unverändert bleibt, kann man auch die Lichtstärke der Flamme als unveränderlich betrachten. Jedenfalls ist dies für alle in der gleichen Nacht gemachten Beobachtungen der Fall. Eigentlich sieht man zwei Spiegelbilder des Lichtpunktes x, nämlich eines durch Reflexion auf der Vorderfläche, eines durch Reflexion auf der Hinterfläche des Spiegels ss. Bei der photometrischen Vergleichung der Sterne wird nur von dem durch Reflexion auf der Vorderfläche entstandenen Bilde Gebrauch gemacht.

Wenn nun die Helligkeit zweier Sterne mit einander verglichen werden soll, so wird das Fernrohr zunächst auf den einen, α, gerichtet, und dann das Nicol p sammt seiner Fassung und dem Nonius d so weit

gedreht, bis der künstliche Stern dem zu beobachtenden an Helligkeit gerade gleich ist; alsdann wird der Nonius abgelesen, wodurch man erfährt, wie gross der Winkel v ist, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition gedreht hat.

Hierauf wird dieselbe Beobachtung an einem zweiten Stern, β, gemacht. Wir wollen mit v' den Winkel bezeichnen, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition drehen musste, um den künstlichen Stern diesem zweiten Sterne β gleich zu machen. Nach diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, dass die Helligkeit der beiden Sterne α und β sich verhält wie die Quadrate der Sinus von v und v'.

Nimmt man also die Helligkeit eines der beiden Sterne, etwa die des Sternes α, zur Einheit, so ist also die Helligkeit des Sternes β gleich

$$\frac{(sin\, v')^2}{(sin\, v)^2}.$$

Bei einer derartigen Messung ergab sich z. B. für δ Coronae $v = 11{,}3^0$, für α Coronae ergab sich $v' = 30{,}9^0$; demnach ist die Helligkeit von α Coronae gleich

$$\frac{(sin\, 30{,}9)^2}{(sin\, 11{,}3)^2} = \frac{0{,}5135^2}{0{,}1959^2} = 6{,}871.$$

Bei einer zweiten Vergleichung derselben Sterne ergab sich für δ Coronae $v = 11{,}1^0$ und für α Coronae $v' = 31^0$, was für die Helligkeit von α Coronae den Werth

7,199

ergiebt. Im Mittel ist also die Helligkeit von α Coronae gleich 7,035, wenn man die Helligkeit des Sternes δ Coronae gleich 1 setzt.

Eine wesentliche Vervollkommnung hat das Zöllner'sche Photometer durch die Verbindung mit dem §. 133 erwähnten Colorimeter erhalten.

Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten. 130

Stampfer hat den Versuch gemacht, aus der Helligkeit der kleinen Planeten ihren wahren Durchmesser abzuleiten. Er benutzte hierzu photometrische Beobachtungen Steinheil's, nach welchen sich die Lichtmengen, welche die Sterne verschiedener Grössenclassen zur Erde senden, im Durchschnitt wie folgt verhalten:

Sterne	sechster	Grösse 10
„	fünfter	„ 28
„	vierter	„ 80
„	dritter	„ 227
„	zweiter	„ 642
„	erster	„ 1819,

wonach also die Lichtmenge, welche uns ein Stern irgend einer Grössenclasse zusendet, im Durchschnitt $\frac{1}{2{,}83}$mal geringer wäre als die Lichtmenge, welche von einem Stern der nächst höheren Classe zu uns gelangt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dieses Resultat, welches etwas von dem früher §. 129 erwähnten abweicht, ist aus der Beobachtung von 26 Sternen erster bis fünfter Grösse abgeleitet. Aus Gründen, die wir hier nicht erläutern können, reducirt Stampfer den obigen Factor, welchen wir kurz mit $\frac{1}{a}$ bezeichnen wollen, noch auf $\frac{1}{2{,}519}$. Bezeichnen wir also die Lichtstärke eines mittleren Sternes erster Grösse mit 1, so wäre danach die Lichtstärke der Sterne

	2ter	3ter	4ter	5ter	... $n$ter Grösse.
gleich	$\frac{1}{2{,}519}$	$\frac{1}{(2{,}519)^2}$	$\frac{1}{(2{,}519)^3}$	$\frac{1}{(2{,}519)^4}$	... $\frac{1}{(2{,}519)^{n-1}}$

Olbers schätzte im Jahre 1803 die Lichtstärke des Saturn, dessen Ring damals gerade verschwunden war, zur Zeit der Opposition gleich der von a Canis minoris, eines Sternes, welcher unter den Sternen erster Grösse nahezu die mittlere Helligkeit hat.

Sind r und ϱ die Entfernungen eines Planeten von der Sonne und von der Erde zur Zeit der Opposition, d sein wirklicher Durchmesser, so wird seine Lichtstärke oder seine Helligkeit H ausgedrückt durch

$$H = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \cdot \quad \ldots \quad 1)$$

wo A ein constanter Factor ist, welcher von der Fähigkeit des Planeten, die Sonnenstrahlen zu reflectiren, abhängt.

Aus einer Vergleichung der Lichtstärke und des scheinbaren Durchmessers der Planeten Jupiter, Saturn und Uranus hat sich ergeben, dass dieselben nahezu gleiches Vermögen besitzen, die Sonnenstrahlen zu reflectiren oder mit anderen Worten, dass der Factor A für diese drei Planeten nahezu gleichen Werth hat. Für den Mars ist der Werth von A kleiner.

Nehmen wir nun an, dass das Reflexionsvermögen der kleinen Planeten dem des Jupiter und Saturn gleich ist, dass also der Factor A für sie denselben Werth habe wie für Saturn, so haben wir für einen solchen kleinen Planeten

$$H_1 = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \cdot \quad \ldots \quad 2)$$

wenn H_1 die Helligkeit eines der kleinen Planeten, d_1 seinen Durchmesser, r_1 seinen mittleren Abstand von der Sonne und ϱ_1 seine Entfernung von der Erde zur Zeit seiner Opposition bezeichnet.

Nehmen wir die Lichtstärke des Saturn zur Zeit der Opposition zur Einheit, so geht Gleichung 1) über in

$$1 = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \cdot \quad \ldots \quad 3)$$

Wenn einer der kleinen Planeten zur Zeit der Opposition als ein Stern $n$ter Grösse erscheint, so ist für ihn

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

$$\frac{1}{a^{n-1}} = A\,\frac{d_1^2}{r_1^2\,\varrho_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ 4)$$

aus der Combination der Gleichungen 3) und 4) ergiebt sich aber

$$d_1 = \frac{d\,.\,r_1\,.\,\varrho_1}{r\,.\,\varrho\,.\,\sqrt{a^{n-1}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ 5)$$

Sind nun, wie es wirklich der Fall ist, alle übrigen Grössen dieser Gleichung bekannt, so lässt sich nach derselben d_1, d. h. der Durchmesser des kleinen Planeten, berechnen.

Für Saturn ist

$d = 16\,305$ geographische Meilen,
$r = 9{,}393$ Erdweiten,
$\varrho = 8{,}393$ „

Für die kleinen Planeten ist im Mittel

$r_1 = 2{,}54$ Erdweiten,
$\varrho_1 = 1{,}54$ „

Der Werth von a ist, wie oben erwähnt wurde, gleich 2,519. Setzt man diese Zahlenwerthe in Gleichung 5), so ergiebt sich für einen kleinen Planeten, welcher zur Zeit der Opposition als ein Stern siebenter Grösse erscheint,

$$d_1 = \frac{16\,305\,.\,2{,}54\,.\,1{,}54}{9{,}393\,.\,8{,}393\,\sqrt{2{,}519^6}} = 47{,}5 \text{ geogr. Meilen.}$$

In gleicher Weise ergeben sich für Asteroiden, welche zur Zeit der Opposition als Sterne der Grössenclasse erscheinen, welche in der ersten Verticalreihe der folgenden Tabelle eingetragen ist, die nebenbei stehenden Werthe des wahren Durchmessers

Grössenclasse	Wahrer Durchmesser	Scheinbarer Durchmesser
7	47,5 geogr. Meilen	0,308 Secunden
8	29,7 „ „	0,192 „
9	18,5 „ „	0,120 „
10	11,6 „ „	0,075 „
11	7,2 „ „	0,047 „
12	4,5 „ „	0,030 „

Bei Berechnung dieser Tabelle ist der mittlere Abstand der kleinen Planeten von der Sonne für alle als gleich angenommen, was nur für eine erste rohe Annäherung angenommen werden kann. Wenn es sich um irgend einen bestimmten handelt, so sind die ihm entsprechenden Werthe von r_1 und ϱ_1 in Rechnung zu bringen. Für Ceres, welche zur Oppositionszeit als ein Stern achter Grösse erscheint, z. B. ist $r_1 = 2{,}77$, $\varrho_1 = 1{,}77$, woraus sich ergiebt

$$\frac{16\,000\,.\,2{,}77\,.\,1{,}77}{9{,}393\,.\,8{,}393\,\sqrt{2{,}519^7}} = 39 \text{ geogr. Meilen.}$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für Pallas ergiebt sich auf diese Weise ein Durchmesser von 30 geographischen Meilen.

Victoria erscheint als ein Stern zehnter Grösse; für sie ist $r_1 = 2{,}33$, $\varrho_1 = 1{,}33$, und danach ergiebt sich für dieselbe

$$d_1 = 9{,}8 \text{ geographische Meilen.}$$

Uranus erscheint zur Zeit der Opposition als ein Stern von gut sechster Grösse, wir können für ihn also $n = 5{,}8$ setzen; ferner ist für ihn $r_1 = 19{,}18$, $\varrho_1 = 18{,}18$, wonach sich nach Gleichung 5) ergiebt

$$d_1 = 5688 \text{ geogr. Meilen,}$$

während sich aus der Messung des scheinbaren Durchmessers (4,12 Secunden) ein Durchmesser von 7396 geographischen Meilen für Uranus ergiebt.

Uebrigens ist die von Stampfer gemachte Voraussetzung über das gleiche Reflexionsvermögen der Planeten keineswegs zutreffend. Die kleinen Planeten zeigen nämlich vielfach einen deutlich ausgeprägten Lichtwechsel, welcher schon früh zu der Annahme geführt hat, dass sie entweder mit dunklen Flecken versehen sind, oder zum Theil unregelmässige Gestalten haben, die von der Kugelgestalt stark abweichen. Genaue photometrische Untersuchungen, welche G. Müller in Potsdam ausgeführt hat, haben gezeigt, dass die Helligkeitsänderungen der kleinen Planeten im Zusammenhange mit ihren Phasen stehen, dass aber der Einfluss der Phase nicht bei allen kleinen Planeten der gleiche ist, dass auch auf die Helligkeitsänderungen das Lambert'sche Phasengesetz nicht anwendbar ist. Lambert hat nämlich schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts eine Formel für die von einer theilweise erleuchteten Kugel reflectirte Lichtmenge abgeleitet, welche das von der Venus ausgestrahlte Licht gut darstellt, dagegen beim Monde, dem Mars und überhaupt wohl bei allen Körpern mit sehr rauher Oberfläche nicht zutrifft. Die kleinen Planeten verhalten sich in dieser Beziehung verschieden, woraus geschlossen werden kann, dass die Beschaffenheit ihrer Oberfläche nicht die gleiche ist.

131 **Veränderliche Sterne.** Der erste Stern, an welchem ein regelmässiger Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist o Ceti. David Fabricius hatte ihn am 12. August 1596 als einen Stern zweiter Grösse beobachtet und im October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwarda, Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinung wegen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht im Maximum den Glanz eines Sternes zweiter Grösse; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder so ab, dass er für das blosse Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohren ist er zur Zeit seines Lichtminimums schon als ein Stern elfter bis zwölfter Grösse beobachtet worden, so dass es nicht ganz ausgemacht

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht ebenfalls nicht immer dieselbe Grösse; während er manchmal, wie bereits bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse erreicht, wird er bisweilen auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Sterne fünfter Grösse gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage. Im Mittel dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Grösse bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Grösse 69 Tage, so dass der Stern ungefähr vier Monate mit blossen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf fünf Monate gesteigert, während sie zu anderen Zeiten nur drei Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes grossen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des Sternes β Persei (Algol am Medusenhaupte), der unter den veränderlichen Sternen eine der kürzesten Perioden zeigt; denn diese beträgt nur 2 Tage 20 Stunden 49 Minuten, also nahezu 69 Stunden. 62 Stunden dieser Periode ist er Stern zweiter Grösse, etwa $3^1/_2$ Stunden braucht er, um zur vierten Grösse abzunehmen und ungefähr ebenso viel Zeit, um seinen gewöhnlichen Glanz wieder zu erlangen.

Diese eigenthümliche Art des Lichtwechsels lässt kaum eine andere Erklärung zu, als dass durch irgend eine undurchsichtige Masse das Licht theilweise verdeckt wird, seien es nun dunkle Flecken auf dem Sterne, die bei der Rotation desselben um seine Axe uns periodisch zugekehrt werden, sei es ein dunkler Körper, der um den Stern rotirt. Von dem Amerikaner Pickering ist diese letzte Ansicht vertreten worden, und er hat auch einen Versuch gemacht, die Elemente des Satelliten zu ermitteln.

Wenn nämlich ein kugelförmiger, dunkler Körper vor einen hellen tritt, so sind, wie bei den Sonnenfinsternissen, drei Arten der Bedeckungen möglich. Erstens kann die Bedeckung, entsprechend einer totalen Finsterniss, derartig sein, dass das Licht des hellen Körpers, wenigstens für kurze Zeit, ganz verschwindet. Dies ist nun thatsächlich bei Algol nicht der Fall. Zweitens kann die Finsterniss eine ringförmige sein, dann wird die Helligkeit bis zu einem gewissen Minimum abnehmen, darauf eine Zeit lang constant sein und schliesslich wieder zunehmen. Drittens kann aber die Bedeckung eine partiale sein; in diesem Falle wird das Licht verdunkelt bis zu einem Minimum, und dann sofort heller werden. Aus den sehr vielen Beobachtungen des Algol geht nun hervor, dass der dritte Fall hier zutrifft. Pickering hat nun versucht, das Verhältniss der Durchmesser der beiden Körper zu ermitteln. Es ist ziemlich festgestellt, dass bei der grössten Dunkelheit die Lichtstärke des Algol 0,416 der normalen Helligkeit ist; es muss also der Begleiter 0,584 der Helligkeit auffangen. Wir können nun leicht bestimmen, wie

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gross mindestens der Durchmesser des Begleiters im Verhältniss zu dem des Hauptsternes ist. Wenn nämlich eine innere Berührung der Ränder stattfindet (Fig. 198), und gleichzeitig der dunkle Stern 0,584 der Helligkeit des Hauptsternes auffängt, dann verhalten sich die Durchmesser der beiden Sterne wie $1 : \sqrt{0{,}584} = 1 : 0{,}764$. Kleiner als 0,764 kann demnach der Durchmesser des Satelliten nicht sein, wohl aber könnte er erheblich grösser sein (Fig. 199). Nun wird aber die Schnelligkeit der Ab- und Zunahme des Lichtes von der relativen Grösse der Durchmesser abhängen, und mit Berücksichtigung hiervon fand Pickering, dass

Fig. 198.



Fig. 199.

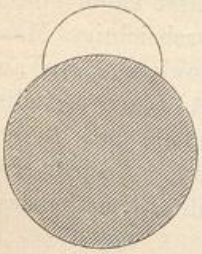
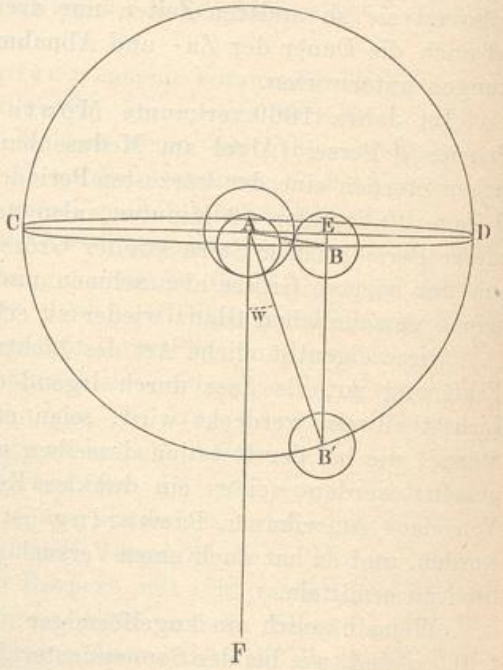


Fig. 200.



nahezu eine innere Berührung, wie sie in Fig. 198 angedeutet ist, stattfinden müsse.

Ist das Verhältniss der Durchmesser aber bekannt, so lassen sich auch andere Elemente finden. Zunächst ergiebt sich die Umlaufszeit direct aus der Periode; dieselbe scheint allerdings nicht ganz gleichmässig zu sein, ist aber im Mittel nahezu 2 Tage 20 Stunden 48,9 Minuten.

Es sei nun A (Fig. 200) der Mittelpunkt des Hauptsternes, B der des Begleiters in dem Moment, wo die Verdunkelung des Lichtes beginnt, CDB die Bahn des Begleiters, wie sie für einen Beobachter auf der Erde sich an der Himmelskugel projicirt. Die wahre Bahn wollen wir der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen. Wir denken uns von B aus auf die grosse Axe CD der scheinbaren Bahn ein Loth BE gefällt, und setzen $AE = x$, $EB = y$. Jetzt wollen wir uns die wahre

Bahn soweit um die Linie CD gedreht denken, dass sie mit der Ebene des Papiers zusammenfällt und durch den Kreis CDB' dargestellt wird; dann wird B nach B' kommen, so dass EB' senkrecht auf CD steht.

Es werde nun die Richtung von dem Hauptstern nach dem Begleiter in der wahren Bahn mit w bezeichnet, und von derjenigen Richtung aus gerechnet, in welcher sich der Begleiter zu der Zeit befindet, wenn das Minimum des Lichtes stattfindet. Diese letztere Richtung würde in unserer Figur der Richtung der Linie AF entsprechen, wo $AF \perp CD$ ist, und es ist demnach der Winkel $FAB' = w$; ferner wollen wir die halbe grosse Axe AD der scheinbaren Bahn mit a und ihre halbe kleine Axe mit b bezeichnen. Wir haben dann

$$AE = x = AB' \cos (90^0 - w)$$
$$= a \sin w.$$

Ferner ist

$$EB' = AB' \sin (90^0 - w)$$
$$= a \cos w.$$

Nach einem bekannten Satze verhält sich aber EB' zu EB wie a zu b, also ist

$$a \cos w : y = a : b,$$

und

$$y = b \cos w.$$

Wir verbinden nun A mit B und setzen $AB = D$, dann ist $D^2 = x^2 + y^2$. Es ist aber auch D gleich der Summe der Halbmesser der beiden Gestirne, und setzen wir den Halbmesser des Hauptsternes $= 1$, so ist, wie oben gezeigt, der Halbmesser des Begleiters $= 0{,}764$, folglich wird

$$(1{,}764)^2 = x^2 + y^2$$
$$= a^2 \sin w^2 + b^2 \cos w^2 \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

w ist aber der Bogen, den der Begleiter in seiner Bahn während der Zeit beschreibt, welche zwischen der ersten Abnahme des Lichtes und der grössten Verdunkelung verfliesst; diese Zeit hat sich aus den Beobachtungen zu 4 Stunden und 35 Minuten ergeben. Die Zeit eines ganzen Umlaufes ist durch die Periode des Lichtwechsels gegeben, und diese beträgt, wie oben erwähnt, 2 Tage 20 Stunden 48,9 Minuten. Wir haben also das Verhältniss:

$$360^0 : w = 2^t\,20^h\,48{,}9^m : 4^h\,35^m,$$

oder:

$$w = \frac{360 \times 4^h\,35^m}{68^h\,48{,}9^m}$$
$$= 24{,}0^0.$$

Danach geht die Gleichung (1) in folgende über:

$$(1{,}764)^2 = 3{,}112 = 0{,}165\,a^2 + 0{,}835\,b^2.$$

Die Grösse b, oder die halbe kleine Axe der scheinbaren Bahn können wir aber leicht bestimmen; sie ist nämlich gleich der Entfernung

der Mittelpunkte der beiden Gestirne zur Zeit ihrer scheinbaren inneren Berührung, oder

$$= 1 - 0{,}764$$
$$= 0{,}236.$$

Also erhalten wir die Gleichung:

$$3{,}112 = 0{,}165\,a^2 + 0{,}835\,(0{,}236)^2$$
$$= 0{,}165\,a^2 + 0{,}047$$
$$a^2 = \frac{3{,}065}{0{,}165}$$
$$a = 4{,}310,$$

während wir fanden:

$$b = 0{,}236.$$

Die Einheit ist hier also der Halbmesser des Hauptsternes. Als weiteres Element lässt sich noch die Neigung der Bahnebene gegen eine auf der Gesichtslinie senkrechte Ebene ermitteln. Denn denken wir uns die wahre Bahn CDB' (Fig. 194) wieder um die Axe CD und zwar um einen Winkel J gedreht, so wird in der auf die ursprüngliche Ebene projicirten Bahn CDB der Abstand eines jeden Punktes von der Axe CD im Verhältniss des Cosinus des Winkels J verkürzt erscheinen. So ist z. B. $EB = EB' \cos J$ und also auch die halbe kleine Axe $b = a \cdot \cos J$. Daher erhalten wir:

$$\cos J = \frac{b}{a},$$

und da b und a gegeben sind, so lässt sich hieraus J finden. Wir erhalten in unserem Beispiele also:

$$\cos J = \frac{0{,}236}{4{,}310},$$

und daraus:

$$J = 86^0\,52'.$$

Gegen die Annahme einer kreisförmigen Bahn scheint der Umstand zu sprechen, dass die Dauer der Zunahme des Lichtes der Dauer der Abnahme nicht völlig gleich ist, woraus man auf eine ungleichförmige Bewegung des Satelliten in seiner Bahn schliessen könnte, indessen haben Versuche von Pickering, eine elliptische Bahn zu ermitteln, die den Beobachtungen besser genügt, zu keinem besonders günstigen Resultate geführt. In der That lässt sich die beobachtete Ungleichförmigkeit auch auf andere Weise erklären, z. B. durch die Annahme, dass der Satellit keine kugelförmige, sondern eine unregelmässige Gestalt hat.

Wir dürfen nun nicht annehmen, dass der Hauptstern im Raume unbeweglich ist und der Begleiter um ihn eine Bahn beschreibt, sondern beide Gestirne müssen Bahnen um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben. In der obigen Rechnung konnten wir allerdings alle Be-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wegungen des Sternsystemes auf den Hauptstern beziehen, den wir dabei als unbeweglich annahmen; wir erhielten dadurch die relative Bewegung des Begleiters gegen den Hauptstern und eine Bahn, welche der wahren Bahn eines jeden der Componenten ähnlich und nur an Grösse von ihr verschieden ist. So wird also auch der sichtbare Hauptstern in $2^t\ 20^h\ 49^m$ eine Kreisbahn um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben, und man könnte fragen, ob diese Bewegung nicht durch genaue Messinstrumente nachzuweisen ist?

Versuche, welche in dieser Richtung gemacht sind, haben zu keinem Ziele geführt, und es lässt sich auch zeigen, dass wahrscheinlich die scheinbare Bewegung des Sternes zu klein ist, als dass sie gemessen werden könnte. Nehmen wir an, dass der scheinbare Durchmesser Algols zu klein ist, um im Fernrohr wahrnehmbar zu sein, dass Algol dieselbe Leuchtkraft habe, wie ein Theil der Sonne von der gleichen scheinbaren Oberfläche, so finden wir, dass der Durchmesser Algols nur 0,006″ beträgt, woraus sich die halbe grosse Axe der scheinbaren Bahn zu 0,026″ ergiebt. Nehmen wir nun ferner an, dass der Hauptstern und der Begleiter die gleiche Dichtigkeit haben, so werden sich ihre Massen verhalten wie die Volumina oder wie die Cuben der Halbmesser. Letztere verhalten sich aber wie 1 : 0,764, also verhalten sich die Massen wie $1 : (0{,}764)^3$ oder wie 1 : 0,446. Daraus ergiebt sich die Entfernung des Hauptsternes vom Schwerpunkte zu 0,008″, und die des Begleiters zu 0,018″. Der sichtbare Stern beschreibt demnach eine Kreisbahn von 0,008″ Radius, und eine so geringe Bewegung, die innerhalb weniger Stunden eintritt, lässt sich nicht mit Sicherheit nachweisen. Von einer anderen Methode, die Bewegung des Sternes zu messen, welche mehr Sicherheit bietet, wird weiter unten die Rede sein.

Sterne von der Art des Lichtwechsels von Algol sind bis jetzt folgende neun bekannt:

Stern	Rectasc. 1900,0	Decl. 1900,0	Periode	Grösse Max.	Grösse Min.
U Ophiuchis	$17^h\ 11{,}5^m$	$+\ 1^0\ 19'$	$0^t\ 20^h\ 7^m\ 42^s$	6,0	6,7
R Can. maj.	7 14,9	— 16 12	1 3 15 55	5,9	6,7
Y Cygni	20 48,0	+ 34 17	1 11 56 48	7,1	7,9
δ Librae	14 55,6	— 8 7	2 7 51 23	5,0	6,2
U Cephei	0 53,4	+ 81 20	2 11 49 45	7,1	9,2
β Persei	3 1,6	+ 40 34	2 20 48 55	2,3	3,5
U Coronae	15 14,1	+ 32 1	3 10 51 9	7,5	8,9
λ Tauri	3 55,1	+ 12 12	3 22 52 12	3,4	4,2
S Cancri	8 38,2	+ 19 24	9 11 37 45	8,2	9,8

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Von anderen Veränderlichen mögen folgende erwähnt werden:

χ Cygni, zuerst im Jahre 1686 von Kirch als veränderlich erkannt, mit einer Periode von im Mittel 406 Tagen, die aber starken Schwankungen unterworfen ist. Die Helligkeit schwankt zwischen der vierten und dreizehnten Grösse; die Farbe des Sternes ist sehr intensiv roth, und sein Lichtwechsel wird am einfachsten durch dunkle Flecken, etwa Schlackenbildungen, von unregelmässiger und wechselnder Gestalt erklärt, verbunden mit einer Rotation des Sternes um seine Axe.

R Hydrae, von Hevel 1662 wahrscheinlich als sechster Grösse, von Montanari 1670 als vierter Grösse beobachtet, und 1704 von Maraldi als veränderlich erkannt. Die Helligkeit beträgt im Maximum $4^1/_2$ bis $5^1/_2$ Grösse, im Minimum etwa zehnte Grösse. Seine Periode ist ziemlich unregelmässig und nimmt deutlich ab. Sie betrug:

1708	. . . . .	500 Tage,
1785	. . . . .	487 „
1825	. . . . .	461 „
1870	. . . . .	437 „

Unter den anderen im vorigen Jahrhundert als veränderlich erkannten Sternen ist einer der merkwürdigsten β Lyrae. Dieser Stern hat in seiner Periode von 12 Tagen und 22 Stunden zwei deutliche Maxima und zwei Minima. In dem einen Minimum hat er die Helligkeit 4,5, dann folgt ein Maximum von 3,4. Grösse nach 3 Tagen 2 Stunden, dann folgt wieder ein Minimum von der 3,9. Grösse nach 3 Tagen 8 Stunden, und diesem wieder ein Maximum der 3,4. Grösse nach 3 Tagen 3 Stunden. Die Perioden sind übrigens etwas veränderlich.

Einer der merkwürdigsten Veränderlichen ist der auf der südlichen Halbkugel befindliche Stern η Argus. Halley hatte diesen Stern im Jahre 1677 vierter Grösse geschätzt. Lacaille schätzte ihn 1751 zweiter Grösse, und Burchell 1811 bis 1815 wieder vierter Grösse. In den Jahren 1822 bis 1826 wurde er von Fallows und Brisbane (Astronomen am Cap) wieder zweiter Grösse geschätzt, und im Februar 1827 von Burchell erster Grösse, gleich dem Sterne α im südlichen Kreuz. Ein Jahr später, im Februar 1828, war er zweiter Grösse und blieb so etwa bis 1833. Zwischen 1834 und 1837 wurde er von Herschel zwischen der zweiten und ersten Grösse taxirt. Am 16. December 1837 sah Herschel den Stern plötzlich sehr viel heller, und an Helligkeit alle Sterne erster Grösse, ausser Sirius und Canopus, übertreffend; sehr nahe dem Sterne α Centauri. Er nahm noch etwas an Helligkeit zu, bis er am 2. Januar 1838 das Maximum erreichte; dann nahm er fünf Jahre lang sehr langsam an Helligkeit ab, blieb aber immer erster Grösse. Im April 1843 wurde er wieder viel heller, übertraf den Canopus und wurde dem Sirius nahezu gleich. In dieser Helligkeit blieb er sieben Jahre hindurch; dann nahm die Helligkeit beträchtlich ab, 1863 war er fünfter Grösse, jetzt ist er siebenter Grösse.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Man hat in neuerer Zeit die veränderlichen Sterne in fünf Classen eingetheilt, und zwar:

1. Sterne vom Typus des Algol.

2. Sterne wie *o* Ceti, η Argus u. a., mit Perioden zwischen sechs Monaten bis zu mehreren Jahren, deren Helligkeit in den verschiedenen Perioden häufig sehr ungleich ist, und bei denen zu Zeiten die Helligkeit einige hundertmal grösser ist als zu anderen.

3. Sterne von schwachem Lichtwechsel ohne erkennbare Periode. Zu diesen gehören α Orionis und α Cassiopejae, ausserdem sehr viele, vielleicht die meisten Sterne.

4. Sterne von raschem Lichtwechsel, welche mehr als ein Maximum und Minimum haben (β Lyrae).

5. Temporäre Sterne, von denen das folgende Capitel handeln wird.

Temporäre Sterne. Manchmal erscheinen plötzlich neue Sterne 132
am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verschwinden.

So berichtet Plinius, dass Hipparch das Aufleuchten eines hellen Sternes beobachtet habe und hierdurch veranlasst worden sei, einen Sternkatalog anzufertigen, damit ähnliche Erscheinungen in Zukunft leichter bemerkt würden. Nach den Chinesischen Annalen sind in früheren Zeiten öfter Sterne aufgeleuchtet, so einer im Jahre 134 v. Chr. (vielleicht mit dem Hipparch'schen identisch) im Sternbilde des Skorpion, ein anderer im Jahre 123 n. Chr. zwischen α Herculis und α Ophiuchi, ferner 173 n. Chr. im Centauren, 369 und 386 im Schützen, 393 und 1203 im Skorpion, 1230 zwischen dem Ophiuchus und der Schlange.

Ferner haben wir folgende Nachrichten über neu erschienene Sterne:

Im Jahre 389 erschien nach dem Zeugniss des Cuspinianus ein neuer Stern nahe bei α Aquilae, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen spurlos verschwand.

Einer der merkwürdigsten unter den temporären Sternen ist der vom Jahre 1572, welchen Tycho Brahe sorgfältig beobachtet hat. Er erschien im November im Sternbilde der Cassiopeja, und erreichte in der ersten Zeit die Helligkeit der Venus in ihrem grössten Glanze, so dass er selbst um Mittag bei klarer Luft gesehen werden konnte. Im December 1572 begann sein Glanz abzunehmen und er verschwand endlich im März 1574, 16 Monate nach seinem ersten Erscheinen. Anfangs blendend weiss, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiss.

Ein böhmischer Astronom, Cyprianus Leovitius, versichert, in einer handschriftlichen Chronik die Nachricht gefunden zu haben, dass im Jahre 945 sowohl als auch im Jahre 1264 zwischen den Constellationen des Cepheus und der Cassiopeja ganz nahe der Milchstrasse ein glänzender Stern erschienen sei; darauf gründete sich nun die Ansicht einiger Astronomen, dass der schöne Stern ein periodischer sei und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dass seine Periode 313 Jahre betrage. Wäre diese Ansicht richtig gewesen, so hätte der Stern etwa im Jahre 1886 wieder erscheinen müssen. Aber abgesehen von der geringen Zuverlässigkeit der Nachricht des Leovitius ist es sehr unwahrscheinlich, dass ein Stern eine so grosse und dabei regelmässige Periode seines Lichtwechsels hat.

Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher den Jupiter an Helligkeit übertraf, aber dem Sterne von 1572 nicht ganz gleich kam und auch nicht bei Tage gesehen werden konnte. Dieser Stern wurde besonders von Kepler beobachtet. Er erschien im September oder October 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Antares, aber weniger hell als Arcturus; im März dieses Jahres war er nur noch dritter Grösse. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verschwand er spurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern sechster Grösse gleichfalls im Ophiuchus. Im Jahre 1850 war er nur noch 11. Grösse und wahrscheinlich dem Verschwinden nahe; jetzt hat er nur noch die 13. Grösse.

Im Mai 1866 erschien im Sternbilde der nördlichen Krone plötzlich ein Stern zweiter Grösse, dessen Helligkeit sehr rasch abnahm, so dass er bereits nach acht Tagen nicht mehr mit freiem Auge wahrgenommen werden konnte. Er ist identisch mit einem bereits früher beobachteten Sterne der $9^1/_2$. Grösse, und seine Helligkeit ist allmählich wieder auf diesen Betrag zurückgegangen.

Eine ähnliche Erscheinung fand im November 1876 im Sternbilde des Schwans statt. Dort wurde plötzlich ein Stern dritter Grösse bemerkt an einer Stelle, wo früher kein Stern heller als von der neunten Grösse gewesen war. Auch dieser Stern wurde rasch schwächer und hat jetzt nur noch die $13^1/_2$. Grösse.

Ausser den erwähnten haben noch einige weniger glänzende Erscheinungen neuer Sterne stattgefunden, die aber alle einen ähnlichen Charakter, rasches Aufleuchten und allmähliche Abnahme des Lichtes, zeigen. Im Ganzen gehört aber das Aufleuchten der temporären Sterne zu den selteneren Ereignissen, und in den letzten 2000 Jahren können deren kaum mehr als 30 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

133 **Farbige Sterne.** Ptolemäus führt in seinem Fixsternkatalog sechs röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Beteigeuze und Sirius. Von diesen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiss ist.

Entschieden weiss sind, ausser Sirius, unter den helleren Sternen gegenwärtig Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarstern und besonders β Ursae minoris.

Unter den teleskopischen Sternen finden sich viele rothe. Von ihnen ist besonders zu erwähnen der veränderliche Herschel'sche

Garnet star (Granatstern), μ Cephei (Rect. $11^h\,40{,}4^m$, Decl. $+\,58^0\,19'$), ferner der ebenfalls veränderliche Crimson star (Carmoisinstern) Hind's, R. Leporis (Rect. $4^h\,55{,}0^m$, Decl. $-\,14^0\,57'$), sowie ein Stern des südlichen Himmels nahe bei β Crucis, den Herschel mit einem Blutstropfen verglich. Ueberhaupt herrscht unter den veränderlichen Sternen die rothe Farbe sehr vor, woraus man schliessen kann, dass in sehr vielen Fällen die Veränderlichkeit durch fortgeschrittene Abkühlung der Oberfläche des Sternes und damit im Zusammenhange stehende Schlackenbildung bewirkt wird. Schjellerup veröffentlichte zuerst ein Verzeichniss rother Sterne, welches allmählich vervollständigt ist; ein sehr vollständiger Katalog rother Sterne ist von Birmingham zusammengestellt.

Auch unter den Doppelsternen findet man viele farbige, und zwar sind bald die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben sie verschiedene Farben.

So sind z. B. die beiden Sterne von γ Virginis (3^m und 3^m) gelblich, von ϱ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ξ Ursae majoris (2^m und 4^m) mattgrün u. s. w.

Bei vielen anderen Doppelsternen zeigt sich dagegen eine merkliche Verschiedenheit der Farbe. So ist z. B. bei α Ursae minoris der Hauptstern gelb, der Begleiter weiss; bei α Piscium der grössere (3^m) grünlich, der kleinere (4^m) blau; bei ξ Orionis der Hauptstern (2^m) gelb, der Nebenstern (6^m) rothgelb; bei γ Leonis ist der Hauptstern (2^m) goldgelb, der kleinere ($3{,}5^m$) röthlich; bei ε Bootis ist der Hauptstern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. s. w.

Ein schöner dreifacher Stern ist γ Andromedae; der Hauptstern (3^m) ist goldgelb, die beiden kaum $^1/_2$ Secunde von einander entfernten Begleiter sind bläulichviolett.

In vielen Fällen zeigen sich die Componenten der Doppelsterne in complementären Farben, und mag dies wohl häufig nur eine subjective Erscheinung sein, die auf einer Contrastwirkung beruht.

Zöllner hat an seinem bereits auf S. 355 besprochenen Astrophotometer noch eine weitere Vorrichtung angebracht, welche dazu dient, den künstlichen Stern beliebig gefärbt erscheinen zu lassen, so dass er auch in Beziehung seiner Farbe dem zu beobachtenden natürlichen Sterne vollkommen gleich gemacht werden kann. Diese Vorrichtung, welche Zöllner Colorimeter nennt, ist in unserer Figur ganz weggelassen, wie denn überhaupt die ganze Partie zwischen r und x, der Kleinheit des Maassstabes wegen nur schematisch dargestellt, keineswegs die Constructions- und Verbindungsweise der einzelnen Theile so wiedergiebt, wie sie an dem Zöllner'schen Instrumente ausgeführt sind.

Das Colorimeter wird durch die Combination des Nicols p mit einer senkrecht zur Axe geschnittenen Bergkrystallplatte und einem dritten Nicol gebildet. Die senkrecht zur Axe geschnittene, 5 mm dicke Quarzplatte ist zunächst rechts von p angebracht und zwar so, dass ihre

Stellung gegen p unverändert bleibt; rechts von dieser Quarzplatte befindet sich dann das dritte Nicol. (Natürlich muss der Abstand von p bis x grösser sein als in unserer Figur, damit die Quarzplatte und das dritte Nicol zwischen p und x noch Platz finden.)

Wenn das dritte Nicol um seine Axe gedreht wird, während p seine Stellung beibehält, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte, welche man durch entsprechende Drehung der des natürlichen Sternes gleichmachen kann. Die Drehung des dritten Nicols gegen das Nicol p kann an einem besonderen Theilkreise abgelesen werden. Wir müssen uns hier begnügen, Zweck und Construction des Colorimeters nur anzudeuten.

134 **Ansehen der Sterne mit blossem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet.** Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, so erscheinen sie nicht als einfache helle Punkte, sondern mit divergirenden Strahlen versehen, wodurch das Bild des Sternes eine ziemliche Ausdehnung erhält. Diese Strahlen sind es, welche verhindern, dass man neben Jupiter dessen vier hellere Trabanten noch unterscheiden kann, welche gross und hell genug sind, um als isolirt stehende Sterne ohne Fernrohre sichtbar zu sein.

Dieser Umstand, dass das Bild der Sterne mit blossem Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrössert erscheint, hat ohne Zweifel seine Quelle im Auge des Beobachters; sphärische Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Ausbreitung des Lichteindruckes auf der Netzhaut von dem unmittelbar gereizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Dass dieselbe subjectiver Natur ist, geht daraus hervor, dass sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieben Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von 4′ und 2′ 20″ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, aber immer bleibt ihnen, selbst bei den besten Instrumenten, ein falscher und zwar zu grosser Durchmesser. Dass dieser Durchmesser nicht der wahre Winkeldurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, dass er bei wachsender Vergrösserung nicht zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Doppelstern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne um so weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrösserung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrösserung eher kleiner werden.

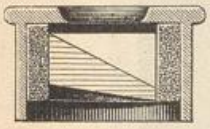
Dass durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche man mit blossem Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrösserung, als vielmehr des Umstandes, dass bei grosser Oeffnung des Objectivs eine weit grössere Menge von Lichtstrahlen von dem Sterne ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung eingedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der

Fernrohre, vermöge deren man gewissermaassen weiter in die Himmelsräume vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar bleiben, ist also vorzugsweise durch die Grösse der Objectivöffnung bedingt.

Mit einem Fernrohre kann man hellere Fixsterne auch bei Tage sehen; es kommt dies daher, weil durch die Vergrösserung der Himmelshintergrund weniger hell wird, während die Sterne als Punkte nicht vergrössert und also auch nicht lichtschwächer werden. Daher kommt es wesentlich darauf an, um Sterne bei Tage zu sehen, nicht zu schwache Vergrösserungen anzuwenden. Man sieht mit einem kleinen Fernrohre und starker Vergrösserung am Tage die Sterne leichter, als mit einem grossen und lichtstarken Fernrohre, aber schwacher Vergrösserung.

Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne. 135 Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 erschienenen Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisirtes Kalkspathprisma, Fig. 201, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, dass das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Schaut man dagegen durch das Prisma nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so findet man, das Prisma um seine Axe drehend, bald eine Stellung, bei welcher das eine Bild hell, das andere dunkel ist.

Fig. 201.



Später verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, dass er mit dem doppeltbrechenden Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Primas so befestigt wird, dass die Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45° mit den Schwingungsebenen des Prismas machen. Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so erblickt man die beiden Bilder bei gehöriger Stellung des Prismas complementär gefärbt, also je nach der Dicke des Blättchens roth und grün oder blau und gelb u. s. w.

Das so verbesserte Instrument nannte Arago Polariskop.

Nach Arago's Beobachtungen mit dem Polariskop war das Licht des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 schwach polarisirt.

Auch das Licht des Donati'schen Kometen (Herbst 1858) soll nach der Behauptung mehrerer Beobachter polarisirt gewesen sein; andere Beobachter haben indessen keine Polarisation bemerken können.

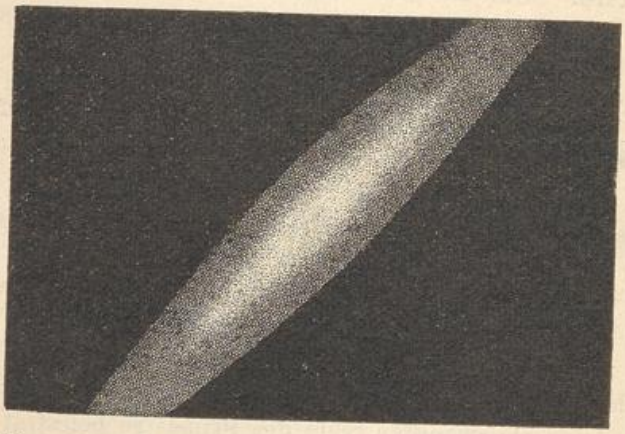
Savart hat das Polariskop dadurch noch verbessert und empfindlicher gemacht, dass er zwei unter einem Winkel von 45° gegen die Axe geschliffene und gekreuzte Quarzplatten an die Stelle des Gypsblättchens setzte. Durch diese Vorrichtung nach irgend einer Lichtquelle hinschauend, beobachtet man für den Fall, dass das Licht polarisirt ist,

eine Reihe geradliniger Farbenstreifen, welche um so brillanter erscheinen, je vollständiger die einfallenden Strahlen polarisirt sind; je unvollständiger dagegen die Polarisation ist, desto matter und schwächer erscheinen die fraglichen Streifen.

Wenn man den Vollmond mit dem Polariskop untersucht, so findet man keine Polarisation des Lichtes, was bei der Richtung, in welcher für diesen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde reflectirt wird, nicht anders zu erwarten ist; dagegen soll sich das Mondlicht, zur Zeit des ersten oder des letzten Viertels mit dem Polariskop untersucht, als polarisirt erweisen. Jedenfalls ist diese Polarisation eine äusserst geringe.

136 **Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen.** Wenn man bei vollkommen durchsichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den Himmel betrachtet, so erblickt man auf dem schwarzblauen, mit Sternen

Fig. 202.



übersäeten Hintergrunde einen zarten, weissen Nebelstreifen, welcher bei unregelmässiger Begrenzung mit wechselnder Breite durch eine ganze Reihe von Sternbildern hindurchzieht. Man kann seinen Lauf auf den Sternkarten Tab. III und Tab. IV verfolgen. Er zieht östlich vom Sirius vorüber, geht zwischen dem kleinen Hunde und Orion hindurch nach den Sternbildern des Schwans, des Adlers, des Ophiuchus und des Scorpions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, an welcher wir ihn zuerst betrachtet haben.

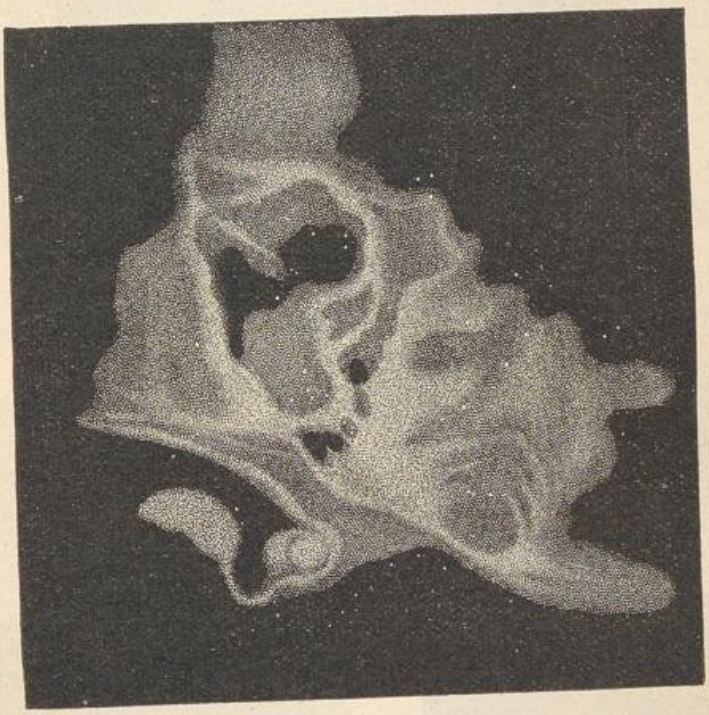
Dieser neblige Streifen, welcher den Namen der Milchstrasse führt, bildet also einen zusammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile scheidet. Vom Schwan bis über den Schwanz des Scorpions hinaus theilt sich die Milchstrasse in zwei neben einander herlaufende Streifen, welche einen dunklen, nebelfreien Raum inselartig einschliessen.

Ausser dieser in günstigen Nächten leicht aufzufindenden und zu verfolgenden Milchstrasse zeigt sich aber am Himmelsgewölbe noch eine grosse Anzahl kleiner, nebliger Flecken, von denen aber nur wenige, wie

z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch sehr gute Augen ohne Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb sie denn auch im Alterthume der Beobachtung ganz entgingen.

Simon Marius entdeckte im Jahre 1612 einen Nebelfleck, nämlich den nahe bei dem Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher Fig. 202 und Tab. XXV des Atlas abgebildet ist und dessen Länge ungefähr $^1/_2$ Grad beträgt; derselbe ist übrigens schon in dem Sternverzeichnisse des im 10. Jahrhundert lebenden Persers Al-Sufi erwähnt. Cysat entdeckte im Jahre 1619 den sehr unregelmässig gestalteten Nebel, Fig. 203 und Tab. XXIV des Atlas, in der Nähe des Sternes ϑ

Fig. 203.



im Wehrgehänge des Orion, welchen ein gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. Halley kannte im Jahre 1716 in Allem nur sechs Nebelflecken; durch die Arbeiten von Lacaille und Messier wurden gegen 120 bekannt, während W. Herschel allein mit Hülfe seiner mächtigen Teleskope deren 2500 entdeckte.

Viele dieser Nebel haben eine durchaus unregelmässige Gestalt, andere dagegen zeigen eine regelmässige Anordnung, wie z. B. der von Messier entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 204 (a. f. S.). Ein anderer ringförmiger Nebel, welcher Fig. 205 (a. f. S.) abgebildet ist, befindet sich zwischen den Sternen β und γ der Leier.

Eine grosse Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind rund oder oval und zeigen, Fig. 206 (a. f. S.), bei fast gleichförmiger

Helligkeit eine ziemlich scharfe Begrenzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem Ansehen der durch starke Fernrohre betrachteten Planeten wurden sie von ihren Entdeckern planetarische Nebel genannt.

Fig. 204.

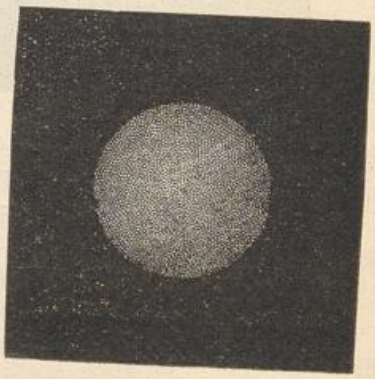


Andere Nebel von gleicher äusserer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte hin eine grössere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des Lichtes der Art, dass in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, einem

Fig. 205.



Fig. 206.



verschleierten blassen oder selbst einem helleren Sterne ähnlich, erscheint, wie Fig. 207, weshalb sie Nebelsterne genannt werden.

Manche Nebel enthalten zwei oder drei solcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 208 und 209, von denen sich der erstere im

Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 210 stellt einen Doppelnebel dar, welcher sich ungefähr auf der Grenze zwischen dem grossen Bären und dem Haar der Berenice befindet.

Die Plejaden (Fig. 211, a. f. S.) erscheinen einem nicht ganz guten Auge nur als ein Nebel, während ein scharfes Auge hier sechs oder

Fig. 207.

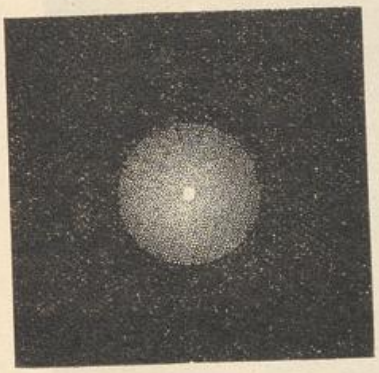


Fig. 208.



sieben einzelne Sterne unterscheidet und man mit einem Fernrohre ihrer 50 bis 60 zählen kann. Ebenso sieht man oft durch stärkere Teleskope

Fig. 209.



Fig. 210.



dicht zusammengedrängte Sternhaufen, wo man durch schwächere Fernrohre nur einen Nebel wahrnehmen kann.

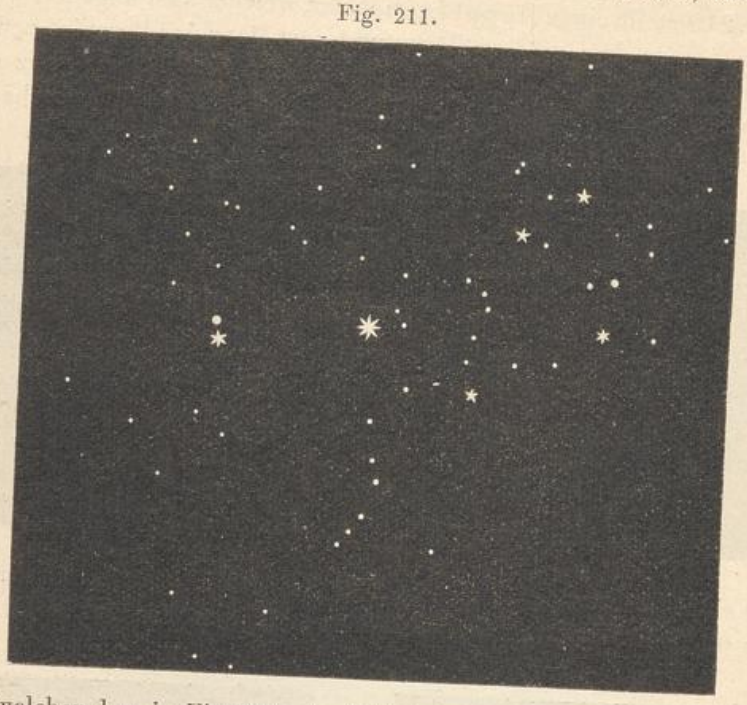
Die Vergrösserung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel in einzelne Sterne nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel lassen sich schon durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrösserungen und die besten Instrumente auflösen. Fig. 212 (a. f. S.) und Tab. XXV des Atlas stellt einen auflöslichen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre gesehen wird.

Die Milchstrasse gehört zu den auflöslichen Nebeln; denn sie erscheint, durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen, dichtgedrängten Sternchen zusammengesetzt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Art, wie uns die Milchstrasse erscheint, lässt sich durch die Annahme erklären, dass die Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring

Fig. 211.



bilden, welcher dem in Fig. 204 abgebildeten ähnlich ist, und dass sich die Sonne sammt ihren Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinde.

Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so war doch nicht anzunehmen, dass alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es schien wahrscheinlicher, dass viele der unauflöslichen Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so dass diese Nebel von ähnlicher Natur sind wie die Kometen.

Fig. 212.



Für diese Ansicht, welche, wie wir später noch sehen werden, durch die Spectralanalyse auf das Vollständigste bestätigt wird, spricht namentlich der Umstand, dass es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und den Nebelsternen bilden, d. h. Nebel, welche der Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, wodurch Herschel auf die Idee geführt wurde, dass der diffuse Stoff, aus welchem diese Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und dass in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Indem Laplace die Ideen Herschel's über die progressive Verdichtung der Nebel und ihre Umwandlung in Sterne adoptirte, und dieselben auf unser Planetensystem anwandte, gelang es ihm, die Bildung desselben auf eine sehr befriedigende Weise zu erklären.

Laplace nimmt an, dass ursprünglich die Sonne und alle Körper, welche gegenwärtig um dieselbe rotiren, eine einzige, sich noch über die Bahn des äussersten Planeten hinaus erstreckende Nebelmasse bildete. In Folge der fortschreitenden Erkaltung sind nun aber nach und nach immer wachsende Quantitäten dieser Nebelmasse in ihrem Centrum condensirt worden, so dass sich ein Kern bildete, dessen Masse allmählich wuchs.

War nun aber etwa ursprünglich die Winkelgeschwindigkeit für alle um dieselbe Axe rotirenden Nebelpartien die gleiche, so musste die absolute Geschwindigkeit für die entfernteren Nebelmassen grösser sein, als für die der Axe näher liegenden; wenn also eine von der Axe entferntere Nebelmasse in Folge der Abkühlung und Zusammenziehung des ganzen Systems sich dem bereits gebildeten Centralkörper nähert, so bringt sie ihre grössere absolute Geschwindigkeit mit und bewirkt auf diese Weise, dass der Centralkörper nach und nach rascher rotirt, als die übrige Nebelmasse. Die gegenseitige Reibung der einzelnen Partien der Nebelmasse wird nun aber die Bewegung derjenigen beschleunigen, welche weniger schnell rotiren, dagegen eine Verzögerung der schneller rotirenden bewirken, nach einer gewissen Zeit wird aber die Winkelgeschwindigkeit der gesammten Masse jedenfalls grösser sein müssen, als sie ursprünglich war.

In Folge der mit zunehmender Condensation immer zunehmenden Rotationsgeschwindigkeit kann aber endlich ein Moment eintreten, in welchem die Centrifugalkraft der Nebeltheilchen, welche sich in der Nähe des Aequators der rotirenden Nebelmasse befinden, grösser wird als die Kraft, mit welcher sie gegen den Mittelpunkt der Nebelmasse gravitiren, sie werden sich von der übrigen Nebelmasse trennen, und einen abgesonderten Nebelring bilden, welcher nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit um den Mittelpunkt rotirt, welche er im Moment der Abtrennung hatte.

So lösen sich denn nach und nach mehrere Nebelringe von der Centralmasse ab, welche, im Mittelpunkte des ganzen Systems condensirt, die Sonne bildet, während aus der Condensation der Nebelringe die Planeten hervorgehen.

Aus der Laplace'schen Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems erklärt sich nun auch, dass alle Planeten in der gleichen Richtung um die Sonne laufen. Ein in und mit unserem Planetensystem gebildeter Körper kann unmöglich eine rückläufige Bewegung haben. Da nun aber viele Kometen sowohl wie auch Meteorite rückläufig sind, so ist klar, dass dieselben ursprünglich unserem Planetensysteme fremd, von aussen her in dasselbe eingedrungen sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Schiaparelli spricht sich über die Art, wie er sich die Bildung meteorischer Wolken denkt, welche in das Sonnensystem eingedrungen und mit der Erde zusammentreffend als Sternschnuppen erscheinen, ungefähr in folgender Weise aus: „Eine glühende Gasmasse von sehr bedeutenden Dimensionen und sphärisch abgerundeter Gestalt wird, wie wir eben gesehen haben, bei ihrer allmählichen Abkühlung und Condensation einen Fixstern bilden, welcher etwa, wie unsere Sonne, noch von einem Planetensysteme umgeben sein kann. Eine solche Gasmasse aber, von geringeren Dimensionen und unregelmässig verzweigter Form, wird an ihren hervorragenden und vom Mittelpunkte entfernten Partien eine raschere Abkühlung erfahren, wobei sich dann viele, ja unzählige isolirte kleine Concentrationskerne bilden. Tritt eine solche Concentration auf der Oberfläche ein, während der Centralkörper sich noch in Gasform befindet, so wird ein solches System, von der Sonne angezogen, einen Kometen liefern, welcher von einem Meteorstrome begleitet ist; erfolgt aber die Condensation in gleicher Weise durch die ganze Masse hindurch, so bildet sich eine kosmische Wolke, welche einen Sternschnuppenstrom ohne Kometen erzeugt.

Wenn nun eine solche, aus unzählig vielen kleinen Körperchen bestehende kosmische Wolke in die Anziehungssphäre der Sonne gelangt, so wird sie in eine parabolische Strömung verwandelt, die Jahre, Jahrhunderte, Jahrtausende brauchen kann, um, einen Strom von verhältnissmässig geringer Breite bildend, Stück für Stück durch das Perihel zu gehen. Von den zahlreichen Meteorschwärmen, welche auf diese Weise in unser Sonnensystem gelangen, werden uns nur diejenigen sichtbar, welche auf ihrer Bahn mit der Erde zusammenstossen.

Die in parabolischer Bahn sich bewegenden Meteorite kehren nach ihrem Durchgange durch das Perihel in den Weltraum zurück. Unter Umständen kann aber ein Theil eines in parabolischer Bahn laufenden Meteoritenstromes durch den störenden Einfluss eines Planeten von bedeutender Masse in eine elliptische Bahn geworfen werden, wie dies nach Leverrier's Ansicht für den Novemberschwarm durch den Uranus geschah, dessen Bahn dem Aphel und dem aufsteigenden Knoten der Leonidenbahn sehr nahe liegt (vergl. Fig. 161, S. 269).

137 **Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken.** Fraunhofer, der Entdecker der dunklen Linien im Sonnenspectrum, hat auch bereits die Spectra einiger Planeten und Fixsterne untersucht. Bei dem ersten der hierher gehörigen Versuche (Gilb. Ann. LVI, 308) fiel das vom Spiegel des Heliostats reflectirte Sternlicht auf das vor dem Theodolit-Fernrohr aufgestellte Prisma, ohne erst durch eine enge Oeffnung gegangen zu sein. Um dem Sternspectrum einige Breite zu geben, wie sie zur Beobachtung der dunklen Linien nöthig ist, setzte Fraunhofer vor das Objectiv des Fernrohrs (13‴ Durchmesser) noch

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

eine Cylinderlinse von grosser Brennweite, deren Axe rechtwinkelig zur brechenden Kante des Prismas gestellt war.

Mit dieser Vorrichtung erkannte Fraunhofer im Spectrum der Venus die Linien D, E, b und F. Im Spectrum des Sirius beobachtete er drei dunkle Streifen im Grün und Blau, welche mit denen des Sonnenlichtes keine Aehnlichkeit zu haben schienen.

Später (Gilb. Ann. LXXIV, 375) wandte Fraunhofer zur Beobachtung der Sternspectra ein grösseres Fernrohr an, dessen Objectiv vier Zoll Oeffnung hatte. Vor diesem Objectiv wurde ein Flintglasprisma angebracht, dessen Flächen noch grösser waren, als die Oberfläche des Objectivs. Der brechende Winkel dieses Prismas betrug $37^0\ 40'$ und es brachte als Minimum eine Ablenkung von ungefähr 26^0 hervor. Es wurde nun ein zweites kleines Fernrohr mit dem grossen in der Weise fest verbunden, dass die Axen beider Fernrohre einen Winkel von 26^0 mit einander machten, und dass, wenn das kleine Fernrohr direct auf einen zu beobachtenden Stern gerichtet war, im grossen Fernrohr das durch das Prisma erzeugte Spectrum desselben beobachtet werden konnte. Mit dieser Vorrichtung wurden im Wesentlichen die schon früher gemachten Beobachtungen bestätigt.

Durch Kirchhoff's Entdeckung in Betreff des Ursprungs der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum haben nun auch die Spectra der Fixsterne ein erhöhtes Interesse gewonnen, und in Folge dessen sind sie der Gegenstand neuerer und eingehender Untersuchungen geworden. Bei den neueren Apparaten, welche zur Beobachtung der Fixsternspectra angewandt wurden, sind die analysirenden Prismen in der Regel nicht vor dem Objectiv des Fernrohres, sondern am Ocularende desselben angebracht.

Das von Huggins bei seinen ersten Untersuchungen benutzte Spectroskop war an einem Fernrohre von acht Zoll Objectivöffnung angebracht, welches parallaktisch aufgestellt und mit einem Uhrwerk versehen war. An das Ocularende desselben ist ein Rohr C, Fig. 213 (a. f. S.), angeschraubt, in welchem das einerseits durch die Cylinderlinse a geschlossene Rohr B etwas hin- und hergeschoben werden kann. Die Cylinderlinse a hat 14 Zoll Brennweite und ihre Axe steht rechtwinklig zu den brechenden Kanten der analysirenden Prismen.

Etwas hinter a befindet sich das Rohr D. Sein vorderes, gegen zwei Zoll von a entferntes Ende ist bis auf einen engen, mit der brechenden Kante der Prismen parallelen Spalt geschlossen, welcher sich im Brennpunkte der das andere Ende des Rohres D schliessenden Collimatorlinse g (4,7″ Brennweite) befindet.

Die vom Spalt aus divergirenden, durch die Linse g parallel gemachten Strahlen werden endlich, nachdem sie noch die Flintglasprismen s und s' (60^0 brechender Winkel) durchlaufen haben, durch das kleine Fernrohr F (von 5,7 facher Vergrösserung) beobachtet.

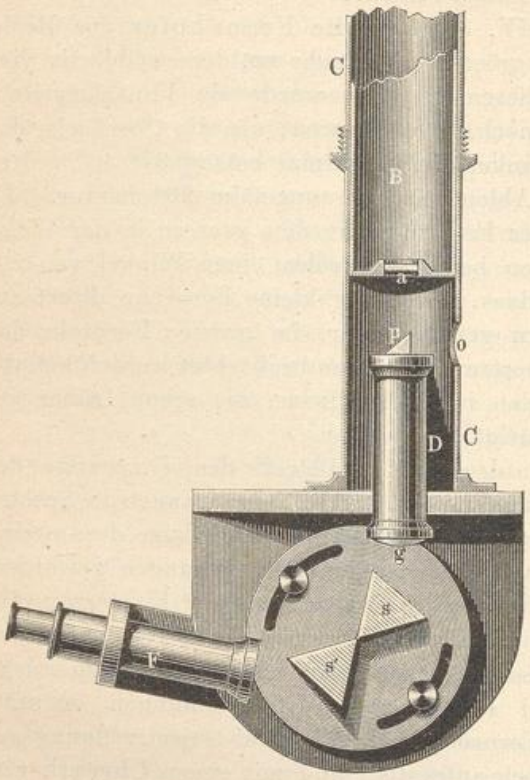
Das Fernrohr F ist übrigens nicht fest, wie es der Einfachheit halber in Fig. 213 gezeichnet ist, sondern es kann in einer zur brechen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den Kante der Prismen rechtwinkeligen Ebene mittelst einer Mikrometerschraube gedreht werden.

Um das Spectrum der Gestirne mit dem farbiger Flammen oder elektrischer Funken vergleichen zu können, ist die Hälfte des Spaltes am vorderen Ende des Rohres D durch ein rechtwinkeliges Prisma p geschlossen, welches mittelst totaler Reflexion die durch die Oeffnung o von der fraglichen Lichtquelle einfallenden Strahlen in die gleiche Richtung wie die vom Sterne kommenden Strahlen bringt, so dass man das Spectrum des Sterns unmittelbar über dem jener Lichtquelle erhält.

Fig. 213.



Für die Beobachtung lichtschwacher Objecte, wie z. B. der Nebelflecke, wurde nur ein analysirendes Prisma in Anwendung gebracht.

Die Cylinderlinse a wird nur bei der Beobachtung von Sternen gebraucht. Ohne Anwendung einer solchen Linse würde das Spectrum eines Sternes nur aus einer farbigen Linie bestehen, in der die Fraunhofer'schen Linien nicht bemerkbar sein würden; durch die Cylinderlinse wird aber die Linie zu einem Bande verbreitert, wodurch die Fraunhofer'schen Linien eine grössere Ausdehnung erhalten.

Solche Objecte, welche im Fernrohre merkliche Dimensionen haben, wie der Mond, die Planeten und Nebelflecke, werden ohne die Cylinderlinse a beobachtet. Wenn es sich dagegen um die Beobachtung der Fixsternspectra und nicht um die Vergleichung derselben mit dem Spectrum irdischer Lichtquellen handelt, kann man das Rohr D mit dem Spalt weglassen.

Die mit diesem und ähnlichen Apparaten erzielten Resultate sind im Wesentlichen folgende.

Da Mond und Planeten nur mit reflectirtem Sonnenlicht leuchten, so können sie auch nur ein durch ihre Atmosphäre modificirtes Sonnenspectrum zeigen. Im Spectrum des Mondes hat man kein Anzeichen

einer Mondatmosphäre wahrnehmen können. Das Jupiter-Spectrum zeigt Absorptionsstreifen, welche zum Theil mit denen der Erdatmosphäre zusammenfallen, zum Theil aber auch der Erdatmosphäre ganz fremd sind, welche also anzeigen, dass in der Atmosphäre des Jupiter Gase und Dämpfe vorkommen, welche in der Erdatmosphäre fehlen. Das schwache Spectrum des Saturn ist dem des Jupiter ähnlich.

In dem Spectrum des Uranus waren bis vor kurzer Zeit die Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums nicht wahrgenommen, sondern nur abwechselnd hellere und dunklere Streifen von grosser Breite. Lockyer hat daher die Vermuthung aufgestellt, dass das Licht des Uranus im Wesentlichen selbstleuchtend, also völlig verschieden von dem der innerhalb seiner Bahn befindlichen Planeten sei, indessen haben neuere Untersuchungen von Keeler und Huggins diese Ansicht nicht bestätigt. Es haben sich im Gegentheil die hauptsächlichsten Linien des Sonnenspectrums im Spectrum des Uranus nachweisen lassen, nur sind sie zum Theil stark verbreitert, was auf eine sehr dichte Atmosphäre des Uranus schliessen lässt. Das Spectrum des Neptun ist dem des Uranus sehr ähnlich.

In dem Spectrum des Mars finden sich zahlreiche Linien des Sonnenspectrums, ausserdem sind aber in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums Streifen vorhanden, die mit dem Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre ziemlich übereinstimmen, und aus denen Vogel gefolgert hat, dass Mars von einer wasserdampfreichen Atmosphäre umgeben ist, die in ihrer Zusammensetzung derjenigen der Erde ähnlich ist. In dem Spectrum der Venus und des Mercur sind mit Sicherheit keine Linien ausser den Fraunhofer'schen des Sonnenspectrums und denjenigen unserer irdischen Atmosphäre nachgewiesen. Da Mercur nur in geringer Höhe beobachtet werden kann, so müssen sich in seinem Spectrum Absorptionslinien zeigen, welche unserer Atmosphäre angehören, doch ist Vogel der Ansicht, dass dieselben etwas stärker hervortreten, als nach der Höhe des Gestirns über dem Horizonte zu erwarten ist, woraus zu schliessen wäre, dass Mercur eine Atmosphäre besitzt, die von der unserigen nicht wesentlich verschieden ist. Auch in dem Spectrum der Venus zeigt sich eine Verstärkung der atmosphärischen Linien, jedoch nur in so geringem Maasse, dass man annehmen muss, die Atmosphäre der Venus sei entweder sehr dünn, oder sie sei mit Wolken angefüllt, welche schon in den oberen Theilen der Atmosphäre das Sonnenlicht stark reflectiren.

Die Fixsterne geben uns, obgleich sie entfernter und von geringerem Glanze sind, als der Mond und die Planeten, doch vollständigere Anzeichen ihrer innersten Natur, weil sie selbstleuchtende Körper sind. Die Vergleichung der Fixsternspectra mit den Spectren verschiedener metallischer Elemente macht es nun möglich, zu ermitteln, welche Stoffe in dampfförmigem Zustande in ihrer Atmosphäre enthalten sind.

Secchi in Rom wandte zur Untersuchung der Sternspectra Geradschau-Spectroskope an, welche in §. 139 näher besprochen werden sollen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Er hat seine Beobachtungen auf mehrere hundert Fixsterne, und zwar bis zu solchen siebenter Grösse ausgedehnt. Die beobachteten Spectra mit einander vergleichend, fand er, dass sie sich in vier Hauptgruppen oder mit anderen Worten, dass sie sich in vier Haupttypen zurückführen lassen, und dass man häufig in derselben Gegend des Himmels auch Sterne desselben Typus findet.

Zu dem ersten Typus rechnet man gewöhnlich die meisten der weissen Sterne, wie Sirius, Wega, Atair, Regulus, Spica und andere. In dem Spectrum tritt der blaue und violette Theil stark hervor, es finden sich darin meist viele feine, ausserdem aber einige auffallend breite Linien, welche letztere darauf hinzudeuten scheinen, dass die Sterne von einer sehr hohen und dichten Atmosphäre umgeben sind (s. Tab. 10, Fig. 4, Spectrum des Sirius). In dem Spectrum der Wega coincidiren einige Linien genau mit solchen des Wasserstoffes, ferner ist es sehr wahrscheinlich, dass die Atmosphäre des Sternes Natrium, Magnesium, Eisen und Wasserstoff enthält. Das Spectrum des Sirius ist mit dem der Wega beinahe identisch, doch fehlen einige Linien, die wahrscheinlich zum Wasserstoff gehören. Seine Atmosphäre enthält jedenfalls auch Wasserstoff, Eisen, Magnesium und Natrium. Sehr ähnlich diesen Spectren sind die der Sterne η Ursae majoris, Spica, Atair, α Cygni und vieler anderen Sterne.

Zum zweiten Typus gehören die gelblichen Sterne, unter ihnen die Sonne, ferner Aldebaran, Arcturus, Capella, Pollux, Procyon u. a. Bei der Sonne ist die Zahl der Linien überaus gross, und es sind durchaus noch nicht alle mit den Spectren bekannter chemischer Elemente in Uebereinstimmung gebracht (s. Tab. 10, Fig. 1, Spectrum der Sonne). Das Spectrum der Sterne des zweiten Typus fällt durch seine Aehnlichkeit mit dem Sonnenspectrum sofort auf, nur sind natürlich, entsprechend der geringeren Helligkeit, viele der schwachen Linien nicht zu sehen. Die grösste Menge von dunklen und breiten Linien befindet sich im Blau und Violett, dagegen sehr wenige im Gelb, und daher ist es erklärlich, dass bei diesen Gestirnen die gelbliche Farbe vorherrscht. In dem Spectrum des Aldebaran sind zahlreiche auf der Erde vorkommende Elemente gefunden, z. B. Wasserstoff, Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen, Wismuth, Tellur, Antimon und Quecksilber, im Arctur Wasserstoff, Natrium, Calcium, Magnesium, Eisen und Chrom, vermuthet sind Baryum, Mangan und Silber.

Zu dem dritten Typus rechnen wir die Sterne mit röthlichem Lichte und viele veränderliche Sterne, z. B. α Orionis, α Herculis, o Ceti, β Pegasi, Antares u. a. Das Spectrum dieser Sterne hat eine besondere Eigenthümlichkeit, auf welche zuerst Secchi aufmerksam gemacht hat. Es erscheint nämlich wie eine Reihe von der Seite beleuchteter Säulen, vermuthlich in Folge grosser Zusammenhäufungen feiner Linien an einzelnen Stellen, die dann den Anschein von Schattirungen erwecken. Zu diesen Sternen gehört α Orionis (s. dessen Spectrum auf Tab. 10) und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

α Herculis. In dem ersteren Stern hat Huggins wiederum Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen und Wismuth gefunden; Vogel fand ausserdem noch mit einiger Wahrscheinlichkeit Silber, Mangan, Thallium und Zinn; zweifelhaft sind Wasserstoff, Cadmium, Antimon und Quecksilber. Bei α Herculis fand Vogel Magnesium, Natrium und Eisen, mit einiger Wahrscheinlichkeit auch Calcium und Zinn.

Manche der Linien in dem Spectrum der Sterne sind sehr ausgebreitet, wie z. B. die Natriumlinie in dem Spectrum von α Herculis. Etwas Aehnliches findet sich bei den Linien im Sonnenspectrum, welche durch unsere Atmosphäre verursacht werden, und die sich bei sehr tiefem Stande der Sonne zeigen. Es scheint dies darauf hinzudeuten, dass auch diese rothen Sterne von dichten Atmosphären umgeben sind.

Der Anblick des Spectrums des dritten Typus hat das Charakteristische, dass die dunklen Bänder auf einer Seite ziemlich scharf begrenzt sind, und nach der anderen Seite allmählich verlaufen. Die scharf begrenzten Partien finden sich bei fast allen Sternen dieses Typus an derselben Stelle, und manche fallen mit den Linien bekannter irdischer Stoffe zusammen, wie z. B. Magnesium, Natrium und Eisen. Bei diesen Sternen tritt zwar der Wasserstoff nicht deutlich hervor, doch wird er wahrscheinlich nicht ganz fehlen, sondern vielfach ein helles Spectrum bilden, welches auf dem ebenfalls hellen Hintergrunde nicht deutlich hervortritt. Etwas Aehnliches haben wir bei dem Spectrum der Sonnenflecken, auch bei diesen ist das Spectrum des Wasserstoffes hell; überhaupt hat das Spectrum der Sterne des dritten Typus viel Aehnlichkeit mit dem der Sonnenflecken, und es liegt daher die Vermuthung nahe, dass sich auf ihnen Flecken von grosser Ausdehnung befinden. Hiermit stimmt die Thatsache überein, dass eine grosse Anzahl der röthlichen Sterne veränderliches Licht hat, und dass überhaupt fast alle veränderlichen Sterne von röthlicher Farbe sind.

Während zu dem ersten Typus beiläufig die Hälfte aller Sterne gehört, gehört $^1/_3$ zu dem zweiten Typus; zu dem dritten Typus gehören etwa 100 der helleren Sterne.

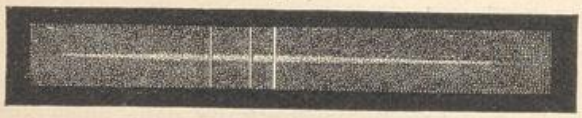
Zu dem vierten Typus, den übrigens Vogel nur als eine Unterabtheilung des dritten Typus anzusehen wünscht, gehören nur schwächere Sterne; die hellsten unter ihnen sind sechster Grösse. Das Spectrum scheint aus hellen Bändern zu bestehen, zuweilen durchzogen von deutlichen hellen Linien. Es unterscheidet sich in charakteristischer Weise von dem Spectrum der Sterne des dritten Typus, indem bei diesem die hellsten Theile der Bänder in der Richtung nach dem violetten, bei den Sternen des vierten Typus dagegen nach dem rothen Ende liegen.

Einige wenige Sterne hat man zu einem fünften Typus zusammengefasst. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie das directe, d. h. aus hellen Linien bestehende Spectrum des Wasserstoffes geben. Sie haben mehrere helle Linien, welche mit den Linien dieses Gases zusammenfallen, und ausserdem noch eine Linie, welche dieselbe Lage wie die Linie D_3

der Sonnenprotuberanzen hat, von welcher in §. 126 die Rede war. Zu diesen Sternen gehört γ Cassiopeiae, β Lyrae, der Stern η Argus der südlichen Halbkugel und einige andere.

Die sogenannten temporären Sterne sind ebenfalls in einigen Fällen bezüglich ihres Spectrums untersucht. Das Spectrum des im Jahre 1866 in dem Sternbilde der nördlichen Krone erschienenen Sternes zeigte sich anscheinend als aus zwei Spectren zusammengesetzt. Das eine derselben war dem Sonnenspectrum ähnlich; es war ein continuirliches Spectrum, durchzogen von dunklen Linien. Ausserdem aber fanden sich noch vier sehr helle Linien. Das erste Spectrum deutet darauf hin, dass der Stern einen glühenden festen oder flüssigen Kern hatte, und von einer Atmosphäre umgeben war, in welcher die Stoffe, welche die dunklen Linien hervorbringen, sich in dampfförmigem Zustande befanden. Das zweite, aus hellen Linien bestehende Spectrum beweist aber, dass noch eine zweite Lichtquelle vorhanden war, und zwar ein leuchtendes Gas. Wir können ausserdem aus der Lage der vier hellen Linien ersehen, dass dieses Gas wenigstens theilweise aus Wasserstoff bestand. Bedenkt man nun die Plötzlichkeit des Aufleuchtens des Gestirns, so liegt die Vermuthung nahe, dass ein Ausbruch glühender Gase aus dem Inneren des Sternes stattgefunden hat, in weit grösserem Maasse, als je bei der Sonne beobachtet ist. Hatten sich nun vorher in Folge der fortgeschrittenen Abkühlung der Oberfläche auf derselben chemische Verbindungen gebildet, so konnten diese durch den Ausbruch des glühenden Inneren wieder zersetzt werden; es konnte dabei ein Verbrennungsprocess stattfinden, der mit einer starken Lichtentwickelung verbunden war. Dass auch das continuirliche Spectrum sehr hell geworden war, spricht dafür, dass durch die starke Gasverbrennung auch der bereits feste Theil des Sternes in lebhaftes Glühen gekommen war. Die rasche Abnahme des Lichtes würde sich dadurch erklären lassen, dass das Gas rasch verbrannte, und darauf das Glühen allmählich abnahm.

Fig. 214.



Das Spectrum des im November 1876 im Sternbilde des Schwanes plötzlich erschienenen Sternes war dem des Jahres 1866 sehr ähnlich. Auch bei ihm fand man ein continuirliches Spectrum mit zahlreichen dunklen Linien, daneben aber auch mehrere helle, unter ihnen einige Linien des Wasserstoffes.

Ein höchst überraschendes Resultat ergab sich, als Huggins im August 1864 das Spectrum eines kleinen, aber verhältnissmässig glänzenden Nebelfleckes (37 H IV im Drachen) beobachtete. Er fand es nicht etwa dem Spectrum der Fixsterne, sondern dem glühenden Gase ähnlich aus drei hellen Linien bestehend, Fig. 214, von denen die hellste (in unserer Figur die Linie rechts) mit der intensivsten aus der Gruppe der für Stickstoff charakteristischen Linien, die schwächste aber (die Linie

links) mit der Linie F des Wasserstoffspectrums zusammenfällt. Die mittlere der drei hellen Linien, welche das Spectrum dieses Nebelfleckes bilden, hat keine entsprechende unter den hellen Linien der 30 irdischen Elemente, welche damit verglichen wurden.

Diese Beobachtung beweist, dass der genannte Nebelfleck nicht etwa ein Haufen gesonderter Sterne, sondern dass er ein wirklicher Nebel ist. Ein derartiges Spectrum kann nicht von einem glühenden festen oder flüssigen, sondern nur von einem in gasförmigem Zustande glühenden Körper herrühren.

Ausser diesen hellen Linien sah man noch ein ausserordentlich schwaches continuirliches Spectrum, welches keine merkliche Ausdehnung in die Breite hatte, und welches auf die Existenz eines kleinen leuchtenden, aber nicht gasförmigen Kernes hinweist.

Es ist klar, dass die Beobachtung solcher Objecte mit dem Prisma wegen ihrer Lichtschwäche äusserst schwierig ist. Sie ist nur bei ganz klarem Himmel und bei Abwesenheit des Mondes möglich.

In den Jahren 1865 und 1866 hat Huggins 60 Nebelflecke und Sternhaufen untersucht; ungefähr $^1/_3$ derselben gaben ein dem oben besprochenen ähnliches Spectrum, mit einer oder mit zwei oder mit drei hellen Linien. Zu den letzteren gehört auch der Nebel im Schwertgriff des Orion. Das Spectrum eines Nebelfleckes (18 H IV) zeigt vier helle Linien.

Alle wirklichen Sternhaufen, welche durch das Teleskop in getrennte glänzende Punkte aufgelöst werden, geben ein Spectrum von continuirlichem Ansehen, und man ist berechtigt, anzunehmen, dass alle bis jetzt noch nicht aufgelösten Nebel, welche gleichfalls ein continuirliches Spectrum zeigen, wie z. B. der grosse Nebel der Andromeda, gleichfalls Sternhaufen sind.

Das Spectrum der Kometen. Zum ersten Male wurde die 138
Spectralanalyse auf die Untersuchung von Kometen im Jahre 1864 von Donati angewandt, der bemerkte, dass das Licht eines Kometen dieses Jahres ein continuirliches, von drei hellen Streifen durchzogenes Spectrum ergab. Später hat sich gezeigt, dass alle spectralanalytisch untersuchten Kometen ein ähnliches Spectrum zeigten, und dass dasselbe eine grosse Aehnlichkeit mit demjenigen des Kohlenwasserstoffes hat. Nach einer Zusammenstellung von Scheiner[1]) waren die Wellenlängen dieser drei Streifen bei acht Kometen der Jahre 1874 bis 1884 folgende:

[1]) Die Spectralanalyse der Gestirne. Leipzig 1890.

Komet	Bänder im Kometenspectrum			Beobachter
	I	II	III	
1874 III	563,1 $\mu\mu$	516,6 $\mu\mu$	471,2 $\mu\mu$	Bredichin
1874 III	562,6	515,2	471,7	Vogel
1877 II	—	516,8	472,3	Sternwarte Dunecht
1880 d	—	517,0	473,8	Young
1881 b	563,1	516,4	473,5	Maunder
1881 b	563,0	517,4	469,9	Vogel
1881 c	563,0	516,5	—	Maunder
1881 c	563,4	516,5	471,0	Vogel
1882 II	—	517,6	—	Hasselberg
1883 b	—	516,1	—	Maunder
1884 I	—	516,5	—	Hasselberg
Mittel:	563,0	516,6	471,9	

Dagegen sind die Wellenlängen für drei Streifen des Kohlenwasserstoffspectrums resp. 563,5, 516,5 und 473,8 $\mu\mu$, also fast genau identisch mit den obigen. Die Bezeichnung $\mu\mu$ bezeichnet milliontel Millimeter.

Das Spectrum der Kohlenwasserstoffe unterscheidet sich nun allerdings von dem Spectrum der Kometen darin, dass in dem ersteren sich ausser den genannten noch drei dicht gedrängte Gruppen von Linien, eine im rothen und die andere im violetten Theile des Spectrums befinden, welche sich in dem Kometenspectrum nicht finden. Indessen erklärt sich dieser Umstand ohne Schwierigkeit durch die geringe Helligkeit des Kometenspectrums, sowie dadurch, dass die beiden genannten Gruppen von Linien in dem Spectrum des Kohlenwasserstoffes besonders schwach erscheinen. Auch hat Vogel bei dem Kometen Wells des Jahres 1882 (I) einen Streifen im rothen Theile des Spectrums beobachtet, welcher wahrscheinlich mit der rothen Gruppe des Kohlenwasserstoffes zusammenfällt.

Das Spectrum dieses Kometen zeigte überdies noch andere besondere Eigenthümlichkeiten. Gleich anfangs fiel es dadurch auf, dass der continuirliche Theil ungewöhnlich hell erschien, während die Streifen des Kohlenwasserstoffes nur in unmittelbarer Nähe des Kometenkernes sichtbar wurden. Die Helligkeit des continuirlichen Spectrums nahm überdies mit der grösseren Annäherung des Kometen an die Sonne fortwährend zu. Als aber der Komet sich der Sonne so weit näherte, dass seine Entfernung von ihr nur noch 0,4 der Entfernung der Erde von der Sonne betrug, zeigte sich plötzlich in seinem Spectrum die gelbe Linie des Natriums, und nahm an Helligkeit fortwährend zu, bis der Komet seine grösste Annäherung (0,06 der Erdentfernung) an die Sonne erreichte.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auch der grosse Septemberkomet des Jahres 1882 (II) zeigte die Natriumlinie in seinem Spectrum, so lange er sich in der Nähe der Sonne befand, und bei beiden Kometen wurden die Bänder des Kohlenwasserstoffes um so schwächer, je heller sich die Linie des Natriums zeigte. Ueberdies erschienen in dem Spectrum des Kometen II 1882 während seiner grössten Annäherung an die Sonnenoberfläche, die kurze Zeit nur wenige Tausend Meilen betrug, einige Linien, die mit den helleren Linien des Eisens identisch waren. In dem Spectrum des Kometen II 1881 fand Huggins Linien, welche mit solchen des Cyangases in Uebereinstimmung waren.

Dass die Kometen in ihrem Spectrum helle Bänder und Linien zeigen, beweist, dass sie wenigstens theilweise eigenes Licht ausstrahlen, und zwar ist es in hohem Grade wahrscheinlich, dass dieses Licht elektrischer Natur ist, wie denn auch die Koma- und Schweifbildung auf starke elektrische Vorgänge innerhalb der Kometen schliessen lässt.

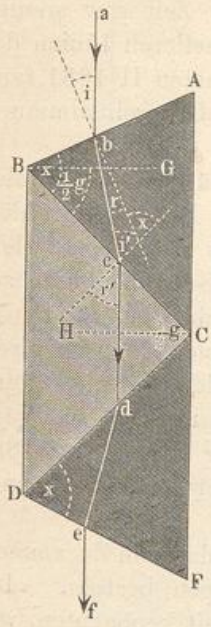
Dass die Kometen aber auch theilweise das Sonnenlicht reflectiren, geht daraus hervor, dass das Licht einiger Kometen sich schwach polarisirt zeigte, und überdies hat Huggins auf photographischem Wege gefunden, dass in dem continuirlichen Spectrum der Kometen II 1881 und I 1882 Fraunhofer'sche Linien des Sonnenspectrums zu erkennen waren.

Es ist schon früher (§. 102) darauf hingewiesen, dass ein Zusammenhang zwischen den Kometen und den Sternschnuppen besteht. Das Spectrum der letzteren lässt sich nicht mit Genauigkeit beobachten, weil die Zeit ihres Leuchtens zu kurz ist, doch scheinen sich in demselben bisweilen die Linien des Magnesiums und Natriums zu finden. Von grossem Interesse sind aber spectralanalytische Untersuchungen gewesen, welche Vogel an kleinen, künstlich stark erhitzten Bruchstücken von Meteorsteinen ausgeführt hat. Die denselben entströmenden Gase zeigten beim Durchgange elektrischer Inductionsfunken das Spectrum des Kohlenoxydes mit Bändern des Kohlenwasserstoffes, und dasselbe hatte grosse Aehnlichkeit mit dem Spectrum der Kometen.

Spectralapparate ohne Ablenkung. Der Umstand, dass in 139
den gewöhnlichen Spectralapparaten die Lichtstrahlen durch die Prismen von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, erschwert in manchen Fällen allerdings die Einstellung, weshalb man darauf dachte, Prismenapparate zu construiren, welche die prismatische Farbenzerstreuung ohne Ablenkung der mittleren (etwa der gelben) Strahlen hervorbringen. Die hier zu lösende Aufgabe ist also die umgekehrte des Achromatismus, welche bekanntlich darin besteht, durch Combination zweier Prismen von verschiedenem Zerstreuungsvermögen die Farbenzerstreuung aufzuheben, während eine Ablenkung übrig bleibt. Der Erste, welcher diese Idee auszuführen suchte, ist Amici, welcher bereits 1860 einen solchen Apparat, ein spectroscope à vision directe,

wie es die Franzosen nennen, construirte. An ein gleichschenkliges Flintglasprisma BCD, Fig. 215, dessen brechender Winkel bei C mit g bezeichnet werden mag (bei dem Amici'schen Apparat war $g = 90^0$), sind auf beiden Seiten zwei einander gleiche Crownglasprismen ABC und CDF aufgekittet, deren brechender Winkel x so zu bestimmen ist, dass für Licht von mittlerer Brechbarkeit der eintretende Strahl ab ebenso wie der austretende ef dem das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufenden Strahl cd parallel sind.

Fig. 215.



Zur Berechnung von x haben wir zunächst folgende Gleichungen:

$$\sin i = n . \sin r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

und

$$n . \sin i' = m . \sin r'$$

oder

$$n . \sin i' = m . \sin \frac{g}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

da r' offenbar gleich $\frac{g}{2}$ ist. In diesen Gleichungen bezeichnet n den Brechungsexponenten des Crownglases, m den des Flintglases für die fragliche Strahlenart. Da ab mit cd parallel sein und der letztere Strahl das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufen soll, so stehen ab und cd rechtwinklig auf der Linie HC, welche den brechenden Winkel bei C halbirt und rechtwinklig auf der mit ihr parallelen BG; daraus folgt aber

$$i = x - \frac{1}{2} g;$$

ferner ist aber auch

$$i' = x - r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Setzt man in Gleichung 2) für $\frac{g}{2}$ seinen Zahlenwerth, so kann man den entsprechenden Zahlenwerth von i' berechnen. Da die Winkel i und r jedenfalls klein genug sind, so kann man ohne merklichen Fehler statt der Gleichung 1) setzen

$$i = nr$$

und wenn man für i seinen obigen Werth setzt

$$x - \frac{g}{2} = nr \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

combinirt man endlich die Gleichungen 3) und 4), so kommt

$$x = \frac{2ni' - g}{n - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Für $g = 90^0$, $m = 1{,}63$ und $n = 1{,}53$ (Brechungsexponenten für die Linie D) ergiebt sich aus Gleichung 2)

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

$$\sin i' = 0{,}75317,$$

also

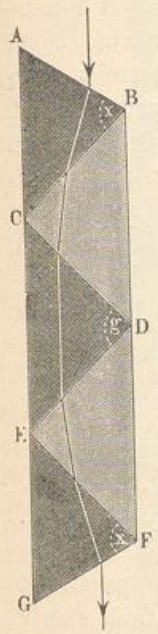
$$i' = 48^0\ 52' = 48{,}866^0$$

und endlich, wenn man diesen Werth von i' mit $g = 90^0$ und $n = 1{,}53$ in Gleichung 5) setzt,

$$x = 55{,}9^0 = 55^0\ 54'.$$

Die nach diesen Daten ausgeführte Prismencombination wird also die gelben Strahlen ohne Ablenkung durchlassen, während die rothen nach der einen, die blauen nach der anderen Seite der gelben hin abgelenkt werden, kurz, der Apparat giebt ein Spectrum ohne Ablenkung der gelben Strahlen.

Fig. 216.



Es versteht sich von selbst, dass bei gleichem Werthe von g der Winkel x doch ein anderer werden muss, wenn man andere Glassorten anwendet, als diejenigen, auf welche sich die obige Berechnung bezieht.

Um ein breiteres Spectrum zu erzielen, combinirte Janssen zwei Flintglasprismen mit drei Crownglasprismen in der durch Fig. 216 erläuterten Weise, so dass ein Crownglasprisma CDE in die Mitte des ganzen Systems zu stehen kam. Während die brechenden Winkel bei C, D und E gleich 90^0 waren, betrug jeder der Winkel x (natürlich für bestimmte Glassorten) 81^0. Secchi bediente sich bei seinen Untersuchungen über das Licht der Gestirne einer solchen Combination, für welche die Winkeldistanz der Frannhofer'schen Linien B und H $6^0\ 51'$, also fast doppelt so viel betrug, als für ein gewöhnliches Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 60^0 beträgt.

Um Sternspectra mittelst solchen Prismensystems zu untersuchen, werden dieselben entweder einfach zwischen dem Objectiv o des Fernrohres und dem Collectivglas c desselben eingesetzt, wie Fig. 217 (a. f. S.) erläutert (a ist die Ocularlinse des Fernrohres); es kann hier das Collectivglas c durch eine Cylinderlinse ersetzt werden, deren Axe rechtwinklig auf der Kante der Prismen steht, oder man bedient sich des zusammengesetzteren Arrangements, bei welchem die von dem Fernrohrobjectiv o, Fig. 218 (a. f. S.), kommenden Strahlen zunächst auf die Cylinderlinse c fallen, welche den Brennpunkt f des Objectivs in eine der Kante der Prismen paralle Brennlinie verwandelt. Die von f aus divergirenden Strahlen werden durch die Collimatorlinse d parallel gemacht, und nach ihrem Durchgang durch das Prismensystem p durch ein kleines Fernrohr beobachtet, dessen Objectiv h und dessen Ocular a ist.

Simmler hat die Farbenzerstreuung ohne Ablenkung dadurch hervorgebracht, dass er die aus dem zerstreuenden Flintglasprisma austretenden Strahlen durch Reflexion wieder in die Einfallsrichtung zurückführt, und zwar wendet er zu diesem Zweck die totale Reflexion auf der Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Glasprismas an (Pogg.

Ann. CXX, 1863). Nach diesem Princip construiren Herrmann und Pfister in Bern Spectroskope ohne Ablenkung mit zwei zerstreuenden Flintglas- und zwei reflectirenden Crownglasprismen.

Fig. 219 stellt in $^1/_3$ der natürlichen Grösse die spectroskopische Vorrichtung dar, deren sich Zöllner zu der in §. 126 besprochenen Beobachtung der Sonnen-Protuberanzen bediente, und welche mittelst des Schraubengewindes bb an den Refractor angeschraubt wird. s ist der Spalt, welcher durch eine in der Figur weggelassene, von aussen her in die Röhre AA hineingehende Schraube enger und weiter gestellt werden kann. Das Rohr, an dessen Ende der Spalt s angebracht ist, kann durch eine gleichfalls in der Zeichnung weggelassene Schraube in der Richtung seiner Axe vor- und rückwärts geschoben werden, um es genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse L (12 cm Brennweite) zu bringen. Die parallel aus der Collimatorlinse austretenden Strahlen werden, nachdem sie das Prismensystem durchlaufen haben, durch die Ocularröhre F beobachtet, deren vordere Linse L' gleichfalls 12 cm Brennweite hat. Um verschiedene Partien des Spectrums einstellen zu können, ist das Ocularrohr F um den Zapfen z drehbar, so dass die Richtung seiner Axe mittelst der Schraube h fein verstellt werden kann.

Fig. 217.

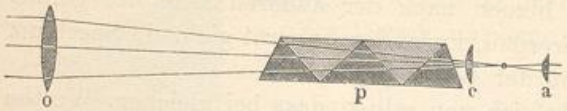
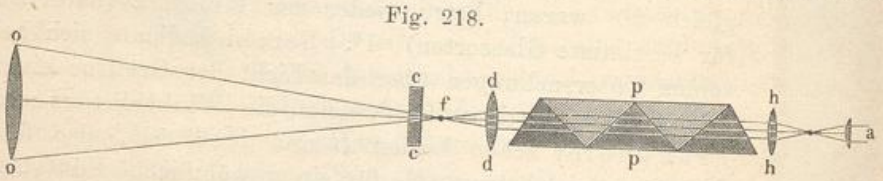


Fig. 218.



Das ganze Spectroskop lässt sich um seine Axe drehen, während die mit dem Gewinde bb verbundenen Theile in unveränderter Lage zum Refractor bleiben.

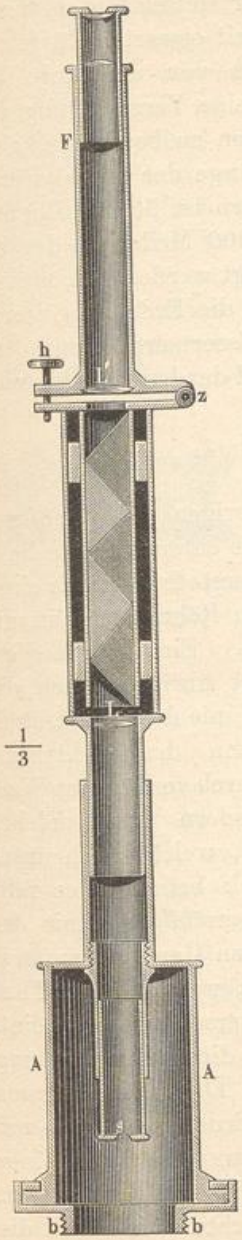
140 **Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum.** Wenn man sich irgend einer Tonquelle sehr rasch nähert, so wird das Ohr von den Schallwellen, welche der tönende Körper aussendet, in rascherer Aufeinanderfolge getroffen werden, als wenn die Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter unverändert bliebe, der Ton muss also durch die rasche Annäherung für unser Ohr erhöht werden. Umgekehrt muss der Ton erniedrigt werden, wenn die Entfernung zwischen Beobachter und Tonquelle rasch zunimmt.

Diese von Doppler entwickelte Consequenz ist durch Versuche auf Eisenbahnen, und zwar zuerst von Buys-Ballot auf das Vollständigste bestätigt worden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das eben angedeutete Princip ist aber für Lichtwellen ebenso richtig, wie für Schallwellen, der Versuch Doppler's aber, daraus die Farben mancher Sterne zu erklären, beruht auf einer irrigen Voraussetzung. Doppler meinte nämlich, dass ein an und für sich weisser Stern bei rascher Annäherung gegen die Erde bläulich, bei rascher Entfernung dagegen röthlich erscheinen müsste.

Fig. 219.



Aber selbst wenn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung zwischen einem Fixstern und der Erde von hinlänglicher Geschwindigkeit wäre, so liesse sich dadurch wohl eine Farbenveränderung monochromatischer, aber durchaus nicht eine Farbenveränderung weisser Lichtquellen erklären. Nehmen wir z. B. an, die Geschwindigkeit eines Sternes, welcher weisses Licht aussendet, sei gross genug, um sein Roth für uns in Orange, sein Orange in Gelb u. s. w., sein Violett in das unserem Gesichtssinne nicht wahrnehmbare Ultraviolett zu verwandeln, so würde das verschwundene Roth durch die Bewegung aus dem Ultraroth wieder hergestellt werden, das verwandelte Spectrum würde also wieder aus denselben Farben bestehen, wie das ursprüngliche, wir würden also ohne Prisma nach wie vor den Anblick eines weissen Sternes haben.

Wenn überhaupt eine relative Bewegung der Erde und der Fixsterne irgend einen Einfluss auf die Lichterscheinung der letzteren hat, so kann darüber nur die Spectralanalyse Aufschluss geben. Wenn bei hinreichend rascher Annäherung etwa das Gelb bei der Linie *D* in Grün verwandelt würde, so würde nun die Doppellinie *D* im Grün statt im Gelb zum Vorschein kommen, es müssten also alle dunklen Linien des Spectrums gegen das violette Ende hin verschoben werden. Die ursprüngliche Lage dieser Linien, wie sie der Geschwindigkeit Null entspricht, wird aber durch ein gleichzeitig beobachtetes irdisches Spectrum, z. B. durch das einer Natronflamme, gegeben.

Huggins hat nun mit einem weit stärkeren als dem oben beschriebenen Apparate eine praktische Ausführung dieser Idee versucht, und allerdings Andeutungen einer solchen Verschiebung, wenn auch noch keineswegs ein vollkommen sicheres Resultat erhalten. Es kann dies nicht auffallen, wenn man bedenkt,

dass die Geschwindigkeit der Annäherung oder Entfernung zwischen der Erde und einem Fixstern 43 geographische Meilen in der Secunde betragen muss (die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn beträgt nicht ganz fünf Meilen), um die Fraunhofer'schen Linien nur um den Abstand der beiden D-Linien zu verschieben. Bei der Mehrzahl der Sterne wird man aber höchstens $^1/_{10}$ dieser Geschwindigkeit erwarten dürfen.

Dass wirklich die Entfernung eines Sternes von der Erde um 43 Meilen in der Secunde zunehmen müsste, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken, geht aus folgender Betrachtung hervor. — Die Wellenlänge der brechbareren D-Linie ist nach Angström 5889, die der anderen ist 5895 milliontel Millimeter. Die Geschwindigkeit des Lichtes, 42 000 Meilen in der Secunde, wie in einem der nächsten Paragraphen gezeigt werden soll, müsste nun durch die Geschwindigkeit x, mit welcher sich die Erde vom Sterne entfernt, im Verhältniss von 5889 zu 5895 vergrössert erscheinen, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken; wir haben also

$$5889 : 5895 = 42\,000 : 42\,000 + x,$$

woraus sich $x = 43$ ergiebt.

Das von Huggins erhaltene Resultat bestand übrigens in Folgendem: Die F-Linie des Siriusspectrums erscheint gegen die entsprechende helle Linie des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre stark in die Breite gezogen. Eine solche Verbreiterung zeigt übrigens auch die fragliche helle Linie des Wasserstoffspectrums, wenn der elektrische Funken nicht durch verdünntes Wasserstoffgas, sondern durch solches hindurchschlägt, welches sich unter stärkerem Druck befindet; es fällt aber die scharfe helle Linie des verdünnten Wasserstoffgases mit der Mitte des hellen Streifens im Spectrum des dichteren Gases zusammen. Nicht so bei der breiteren F-Linie des Siriusspectrums, welche in der That etwas gegen das rothe Ende des Spectrums hin verschoben erscheint, wie man in Fig. 220 sieht. Huggins schätzte diese Verschiebung höchstens auf $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Abstandes der beiden D-Linien, woraus zu schliessen wäre, dass die Entfernung zwischen Erde und Sirius um ungefähr 10 geographische Meilen in der Secunde zunehme, was einer Verlängerung der Wellenlänge um 0,15 milliontel Millimeter entspricht. Da aber zur Zeit, in welcher Huggins seine Beobachtung machte, die Erde in ihrer Bahn sich um drei Meilen in der Secunde vom Sirius weg bewegte, so bleibt noch eine Geschwindigkeit von ungefähr sieben Meilen in der Secunde übrig, mit welcher sich Sirius von unserem Sonnensystem entfernt.

Fig. 220.

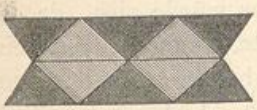


UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein Apparat von grösserer Vollkommenheit, als der von Huggins benutzte, ist von Zöllner vorgeschlagen worden, und mit dem Namen des Reversionsspectroskopes bezeichnet.

Bei diesem Instrumente sind zwei Amici'sche Prismensysteme so zusammengestellt, wie Fig. 221 andeutet, dass also die Farben im Spectrum des einen in entgegengesetzter Richtung auf einander folgen, wie im Spectrum des anderen. Durch eine hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung kann nun bewirkt werden, dass das Spectrum, welches das eine Prismensystem von einer entfernten Lichtquelle entwirft, gerade über dem durch das andere System erzeugten Spectrum derselben Lichtquelle steht. Findet nun durch die oben besprochene kosmische Bewegung eine Verschiebung der Spectrallinien statt, so müsste dieselbe in dem einen Spectrum die entgegengesetzte Richtung haben wie im anderen und deshalb leichter bemerkbar und messbar sein. Hätte man z. B. das Instrument so gestellt, dass die F-Linie des Sonnenspectrums in einem Spectrum genau in die Verlängerung des anderen fällt, so müssten bei Beobachtung eines Sternspectrums in Folge der kosmischen Bewegung die beiden F-Linien auseinander treten (Pogg. Ann. CXXXVIII).

Fig. 221.



Benutzt man aber zur vorherigen Einstellung der F-Linien das Sonnenspectrum selbst, so muss man den Apparat auf die Mitte der Sonne richten, da bei den Rändern schon Verschiebungen der Linien in Folge der Rotation der Sonne um ihre Axe eintreten können.

Bei Weitem die genaueste Methode zur Bestimmung der kosmischen Bewegung der Gestirne bietet die Anwendung der Photographie dar. Wenn nämlich das Spectrum von Gestirnen mit sehr vollkommenen Apparaten photographirt wird, so treten in dem Bilde bei genügend langer Expositionszeit sehr viele feine Linien hervor, deren Lage mit grosser Schärfe ermittelt werden kann, und welche bei directer Beobachtung nicht wahrgenommen werden können. So hat Scheiner z. B. im Spectrum des Sirius allein 43 Linien ihrer Lage nach genau messen können, welche sämmtlich dem Eisenspectrum angehören, und in dem Spectrum der Capella sind zwischen 412,4 und 463,8 milliontel Millimeter Wellenlänge 255 Linien mit Linien des Sonnenspectrums identificirt. Von Vogel und Scheiner sind auf diese Weise die Spectren sehr vieler Fixsterne untersucht, und die Geschwindigkeit ihrer Bewegung im Visionsradius abgeleitet. Die Methode hat das Eigenthümliche, dass sie ganz unabhängig ist von der grösseren oder geringeren Entfernung des beobachteten Gestirnes von der Erde, und demnach bei den entferntesten Gestirnen ebenso zuverlässige Resultate erzielt, wie bei näher befindlichen. Ein besonderes Interesse aber hat die Anwendung der Methode auf physische Doppelsterne, die sich um ein gemeinsames Gravitationscentrum bewegen, ja, es haben auf diesem Wege Sterne als Doppelsterne nachgewiesen werden können, die bei directer Beobachtung nur einfach er-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

scheinen. Wenn nämlich ein Stern einen dunklen Begleiter hat, so werden diese beiden Sterne um ihren gemeinsamen Schwerpunkt eine Bahn beschreiben, und, falls nicht die Bahnebene gerade senkrecht gegen unsere Gesichtslinie liegt, sich abwechselnd von uns entfernen und sich uns nähern. In dem Spectrum des sichtbaren Sternes wird daher eine Verschiebung der dunklen Linien bald nach der einen und bald nach der anderen Seite erfolgen, und eine genaue Beobachtung dieser Verschiebungen wird die Umlaufszeit des Sternes in seiner Bahn ergeben. So hat sich aus photographischen Aufnahmen des Spectrums des veränderlichen Sternes Algol, die auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam gemacht sind, ergeben, dass die von Pickering aufgestellte, in §. 131 erwähnte Ursache des Lichtwechsels dieses Sternes in der That der Wirklichkeit entspricht; die Beobachtungen von Vogel und Scheiner haben ergeben, dass Algol sich vor seiner Verfinsterung von uns entfernt, sich dagegen nach der Verfinsterung uns wieder nähert. Für den dunklen Begleiter findet natürlich die entgegengesetzte Bewegung statt. Die grösste Geschwindigkeit Algols in der Richtung des Visionsradius beträgt 5,7 geographische Meilen in der Secunde, und dies würde also, da die Ebene der Bahn gegen die Gesichtslinie nur äusserst wenig geneigt sein kann, durchweg seine Geschwindigkeit in der Bahnbewegung sein, wenn wir annehmen könnten, dass die Bahn ein Kreis ist. Unter dieser Voraussetzung können wir aber auch die Dimensionen der Bahn des Algol berechnen. Denn seine Umlaufszeit ist gleich der Periode des Lichtwechsels oder gleich 2 Tagen 20 Stunden 48,9 Minuten oder gleich 247 734 Secunden. Da aber der Stern in einer Secunde 5,7 Meilen durchläuft, so ist der Umfang seiner Bahn gleich $5{,}7 \times 247\,734$ Meilen $= 1\,412\,083{,}8$ Meilen, woraus sich der Radius der Bahn zu 225 000 Meilen ergiebt. Wir hatten ferner gefunden, dass der Radius des Begleiters $= 0{,}764$ des Radius des Algol betrüge; danach ergiebt sich, beide Körper als kugelförmig vorausgesetzt, das Volumen des Begleiters ungefähr gleich der Hälfte des Volumens des Hauptsternes; und nehmen wir die Dichtigkeit beider Gestirne als gleich an, so würde dies auch das Verhältniss beider Massen sein. Dann muss aber der Begleiter doppelt so weit vom Schwerpunkte entfernt liegen als der Hauptstern, und wir bekommen die gegenseitige Entfernung beider Sterne zu 675 000 Meilen, oder ungefähr 5 Millionen Kilometern, während die Entfernung des der Sonne am nächsten befindlichen Planeten Mercur von der Sonne 58 Millionen Kilometer beträgt.

Ausserdem sind wir aber auch im Stande, die Summe der Massen der beiden Gestirne mit Hülfe der Gleichung (A), §. 105 zu berechnen.

Es sei die Masse des Algol $= M$, die seines Begleiters $= m$, die der Sonne $= M'$ und die der Erde $= m'$; ferner die Umlaufszeit des Algol $= T$, die der Erde $= T'$, die Entfernung des Algol von seinem Begleiter $= R$ und die halbe grosse Axe der Erdbahn $= R'$, so haben wir in der Gleichung (A) zu setzen:

$T = 2{,}8673$ Tagen,
$T' = 365{,}256$ „
$R = 5$ Millionen Kilometer,
$R' = 149$ „ „

und erhalten

$$\frac{M + m}{M' + m'} = \frac{T'^2 R^3}{T^2 R'^3} = 0{,}613.$$

Da die Masse m' der Erde verschwindend klein gegen die der Sonne ist, so finden wir, dass die Summe der Massen der beiden Algol-Sterne etwa 0,6 der Sonnenmasse beträgt, und da die Masse des hellen Sternes von uns doppelt so gross angenommen wurde, wie die des dunklen Begleiters, so ergeben sich die Massen der beiden Sterne resp. zu 0,4 und 0,2 der Sonnenmasse.

Als Vogel im April 1889 zwei photographische Aufnahmen des Spectrums von α Virginis (Spica) machte, fand er eine ungewöhnlich starke Verschiebung der Wasserstofflinien in der Richtung nach dem Violett. Eine dritte Aufnahme, welche zwei Tage später gemacht wurde, zeigte dagegen eine Verschiebung derselben Linien nach Roth. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass auch dieser Stern einen unsichtbaren Begleiter hat, und dass beide eine Bahn um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Die Periode ergab sich hier zu 4 Tagen und 0,3 Stunden, und die grösste Geschwindigkeit im Visionsradius zu 12 geographischen Meilen. Unter der Voraussetzung, dass die Bahn kreisförmig und ihre Ebene nicht stark gegen die Gesichtslinie geneigt ist, ergiebt sich auf ähnliche Weise, wie wir bei Algol gefunden haben, der Abstand des sichtbaren Sternes vom gemeinsamen Schwerpunkte zu 662 000 geographischen Meilen. Macht man die weitere Voraussetzung, dass der Begleiter die gleiche Masse wie der sichtbare Stern hat, so findet sich die Masse eines jeden der beiden Körper zu etwas mehr als der Sonnenmasse. Auch bei dem Sterne β Orionis haben sich periodische Bewegungserscheinungen ergeben, der Betrag derselben hat sich aber nicht mit Sicherheit ableiten lassen.

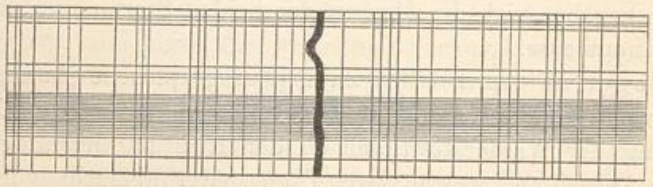
Die Duplicität dieser letztgenannten Sterne ist also aus den periodischen Verschiebungen der Spectrallinien erkannt worden, ohne dass die Sterne mit dem Fernrohr als doppelt gesehen werden können, weil die Begleiter eine zu geringe Lichtstärke haben. Es giebt aber bekanntlich viele Doppelsterne, die deutlich als solche erkannt werden können, und bei welchen jeder der Componenten ein deutlich wahrnehmbares Spectrum zeigte. Im Allgemeinen werden diese Spectren, wenn die Componenten sehr nahe zusammenstehen, nicht von einander zu trennen sein; wenn sie sich aber um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, so wird, falls die Bahnebene nicht gerade senkrecht zu der Gesichtslinie steht, abwechselnd der eine der Sterne sich der Erde nähern, während der andere sich von ihr entfernt. Es werden also die Spectrallinien der beiden

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Spectra Verschiebungen, aber nach verschiedenen Richtungen erfahren, und dies wird sich dadurch kenntlich machen, dass die Linien des gemeinsamen Spectrums sich zu Zeiten verdoppeln. Solche Verdoppelungen der Spectrallinien werden auch eintreten, wenn beide Componenten so nahe zusammenstehen, dass sie sich im Fernrohr nicht mehr trennen lassen, wenn nur jeder derselben so hell ist, dass er ein wahrnehmbares Spectrum ergiebt. In der That haben sich manche Sterne nur durch die zeitweilige Verdoppelung ihrer Spectrallinien als Doppelsterne erwiesen, während ihre Duplicität auf anderem Wege nicht erkannt werden konnte.

Die Spectra der sogenannten planetarischen Nebel bestehen aus einzelnen hellen Linien. Diese Spectra, sowie überhaupt diejenigen der

Fig. 222.



Gasnebel sind im Verhältniss zu der grossen Lichtschwäche dieser Nebel leicht zu sehen, weil sich das gesammte Licht hier auf wenige helle Linien concentrirt. So ist denn auch von Keeler bei mehreren planetarischen Nebeln eine Bewegung in der Gesichtslinie nachgewiesen worden.

Durch die Verschiebung der Fraunhofer'schen Linien hat Lockyer nun auch die Bewegung von Gasmassen in der Sonnenatmosphäre constatirt. Wurde nämlich das Telespectroskop auf Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe gerichtet, so zeigte die Wasserstofflinie F grosse Unregelmässigkeiten. An einigen Stellen erschien sie dunkel auf hellem, an anderen Stellen dagegen hell auf dunklem Grunde. In den hellen Partien sowohl wie in den dunklen zeigte sie sich theilweise nicht nur breiter, sondern auch entweder nach der rothen oder nach der violetten Seite des Spectrums hin gebogen, wie dies Fig. 222 anschaulich machen soll. — Aehnliche Biegungen zeigte auch die rothe Wasserstofflinie C, an welcher dagegen die Veränderungen in der Breite kaum wahrzunehmen sind.

Aus der Grösse der Ausbiegung, wie sie in verschiedenen Fällen beobachtet wurde, ergab sich eine Geschwindigkeit von 8 bis 25 Meilen für den aufsteigenden oder niederstürzenden Gasstrom, ein Resultat, welches mit dem in §. 127 besprochenen Resultate der Zöllner'schen Rechnung sehr gut harmonirt.

Während in der Mitte der Sonnenscheibe nur die vertical rasch aufsteigenden oder niederstürzenden Gasströme eine Verschiebung von Fraunhofer'schen Linien bewirken können, geschieht dies am Sonnenrande nur durch Strömungen, welche parallel der Sonnenoberfläche von der Erde weg oder gegen die Erde hin gerichtet sind. Solche Bewegungen in der Sonnenatmosphäre werden durch das Spectroskop dadurch merk-

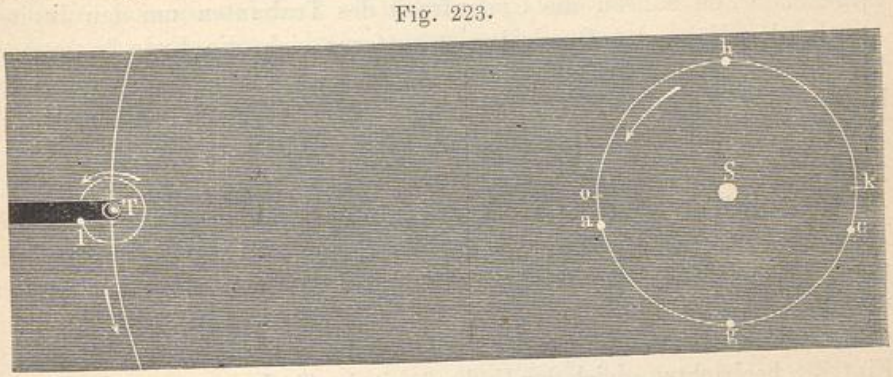
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

lich gemacht, dass die hellen Linien der Chromosphäre nicht die geradlinigen Fortsetzungen der entsprechenden dunklen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenrandes sind, sondern dass sie etwas nach der einen oder anderen Seite hin abgebogen erscheinen. Lockyer hat solche Verschiebungen beobachtet, welche einer Geschwindigkeit des Gasstromes von acht bis neun Meilen in der Secunde entsprechen.

Während das Spectroskop für eine bestimmte Stelle des Sonnenrandes einen sich der Erde nähernden Gasstrom anzeigte, ergab sich, dass an einer 340 Meilen davon entfernten Stelle des Sonnenrandes ein sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Erde entfernender Gasstrom herrschte, man hatte es also hier offenbar mit einem gewaltigen Wirbelsturm (Cyklon) von 340 Meilen Durchmesser zu thun.

Geschwindigkeit des Lichtes. Vergeblich hatten die Mit- 141
glieder der florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen

Fig. 223.



Astronomen Römer gelang es durch seine fleissigen Beobachtungen der Jupitertrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

In §. 84 sind bereits die Verfinsterungen der Jupitertrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergiebt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austrittes der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 223 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar. Während sich die Erde von o bis k bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir die Eintritte des Trabanten in den Jupiterschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, so findet man sie in verschiedenen Perioden nicht gleich. Während der Oppositionsperiode, also wenn die Erde in der Nähe von o steht, oder während der Conjunctionsperiode, wenn also die Erde in der Nähe von k steht, ergiebt sich die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten oder zwei auf einander folgenden Eintritten vergeht, kürzer, als zur Zeit der ersten Quadratur, wenn die Erde bei g, und länger, als zur Zeit der zweiten Quadratur, wenn die Erde in der Nähe von h steht.

Dies ist nun eine Folge davon, dass sich das Licht nicht momentan fortpflanzt, sondern dass es zur Durchlaufung grösserer Räume eine messbare Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder Conjunction bewegt sich die Erde in Beziehung auf den Jupiter in einer Weise, dass sie sich demselben weder merklich nähert, noch sich von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- und Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur g entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges gebraucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in h befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter, und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten vergeht, in welchen man während dieser Periode zwei auf einander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten, minus der Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welchen sich während dieses Umlaufes die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt des ersten Trabanten beobachtet am 11. April $15^h\ 6^m\ 36{,}3^s$; der nächste am 13. April $9^h\ 35^m\ 3{,}0^s$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab, so ergiebt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden $28^m\ 26{,}7^s$.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet am 14. Juli $10^h\ 21^m\ 50{,}3^s$ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli $8^h\ 39^m\ 42^s$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit

42 Stunden $28^m\ 39^s$.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergiebt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der

Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42^1/_2$ Stunden, der Umlaufszeit des ersten Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612 000 Meilen, und diesen Raum durchläuft das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49 700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt in der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer genau durch die Mitte des Jupiterschatten gehen und deshalb die Aus- und Eintritte bald etwas früher, bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupiterschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit des Trabanten kann nur aus einer grösseren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist für den ersten Trabanten 42 Stunden 28^m 35^s.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man ferner den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich etwa die Erde in a befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müsste, vorausgesetzt, dass sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also auch die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde ungefähr bis c fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, dass derselbe später, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, da sie sich in c befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch in a war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch die beobachtete Verspätung dividirt. Es ergiebt sich auf diese Weise, dass das Licht in einer Secunde ungefähr einen Weg von 42 000 Meilen zurücklegt, und dass es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8^m 13^s bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten eintreten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits in §. 121 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergiebt sich für

α Centauri	4 Jahre	η Herculis	8 Jahre
Lal. 21185	6,5 „	Sirius	8 „
61 Cygni	8 „		

Diejenige Entfernung, welche das Licht in einem Jahre durchläuft, pflegt man ein Lichtjahr zu nennen. Die Entfernung des Sirius von der Sonne beträgt also nach dieser Bezeichnung acht Lichtjahre.

Wenn also plötzlich das Licht des Sirius verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 8 Jahre nach diesem Ereigniss am Himmel glänzen sehen.

142 **Aberration des Lichtes.** In der Absicht, eine Parallaxe der Fixsterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Fixsternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Kopfe des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit grosser Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, dass weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am grössten, im December dagegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der grössten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, der Stern beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren grosse Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die grosse Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hatte stets die gleiche Grösse von 40,5 Secunden; für die Sterne, die in der Nähe des Poles der Ekliptik liegen, ist die Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axe der Ellipse um so kleiner wird, je näher die Sterne der Ekliptik stehen; sie wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen; diese haben also bloss eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von $40{,}5^s$.

Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung, die er mit dem Namen der Aberration bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichtes und der Erde. Um die Sache anschaulich zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleiche Länge mit γ Draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den Punkt a, Fig. 224.

In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der grössere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein sollte. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration um 20^s in der Richtung nach b hin, im December wird er ebenso weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

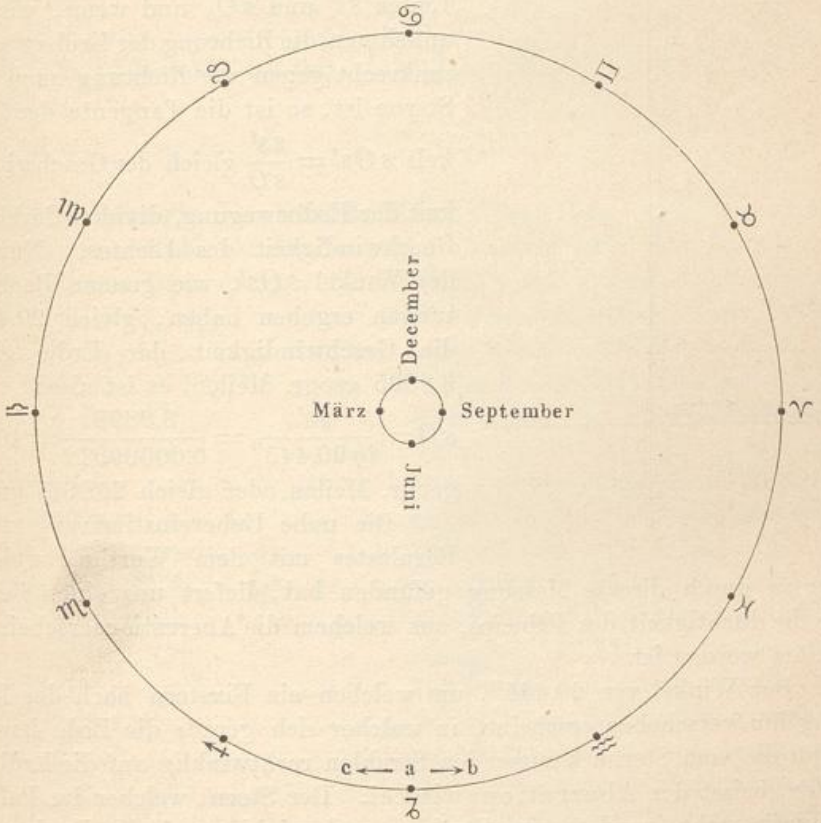
Daraus geht nun zunächst hervor, dass man es hier nicht mit einer Wirkung der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wenn eine solche merklich wäre, müsste unser Stern im März seine grösste, im September seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere Länge haben.

Gehen wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März bewegt sich die Erde gerade gegen den Punkt a hin, im September entfernt sie sich in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man also den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December dagegen macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von a zu ihr kommenden Lichtstrahlen.

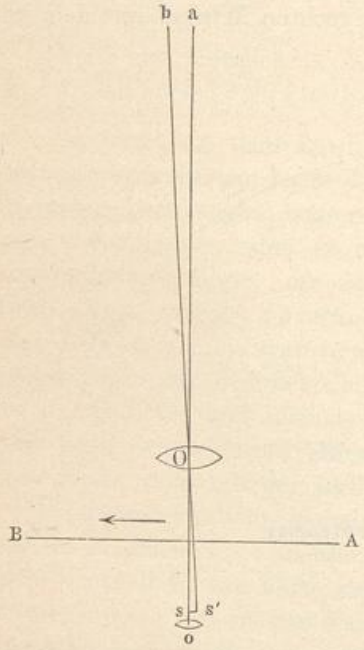
Fig. 224.



Es bezeichne AB, Fig. 225 (a. f. S.), die Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn, O sei das Objectiv, o das Ocular, s der Mittelpunkt des Fadenkreuzes eines Fernrohres, welches auf einen in der Richtung Oa sichtbaren Stern eingestellt ist. Wir wollen uns zunächst vorstellen, dass die Erde in ihrer Bahn stillstände, und das Bild des Sternes genau in s erschiene. Wenn sich nun die Erde in ihrer Bahn fortbewegt, so wird in der Zeit, welche das Licht gebraucht, um von dem Objectiv O nach dem Fadenkreuz s zu gelangen, die Erde sich weiter bewegen, und der Lichtstrahl wird also das Fadenkreuz nicht in s, sondern etwas seitwärts, etwa in s' treffen. Der Beobachter wird also gezwungen sein,

wenn er das Bild des Sternes auf die Mitte des Fadenkreuzes stellen will, das Fernrohr um den Winkel sOs' zu drehen, d. h. der Stern erscheint ihm nicht in der Richtung sa, in welcher er sich wirklich befindet, sondern in der Richtung $s'b$, oder in einer Richtung verschoben, welche der Richtung der Bewegung der Erde entspricht. Der Winkel, um den die Richtung verändert erscheint, hängt offenbar ab von der Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn und der Geschwindigkeit des Lichtes. Diese Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Linien ss' und sO, und wenn, wie wir annehmen, die Richtung der Erdbewegung senkrecht gegen die Richtung nach dem Sterne ist, so ist die Tangente des Winkels $sOs' = \frac{ss'}{sO}$ gleich der Geschwindigkeit der Erdbewegung, dividirt durch die Geschwindigkeit des Lichtes. Nun ist der Winkel sOs', wie genaue Beobachtungen ergeben haben, gleich 20,445″, die Geschwindigkeit der Erde gleich 3,9895 geogr. Meilen, es ist also:

Fig. 225.



$$sO = \frac{ss'}{tg\,20{,}445''} = \frac{3{,}9895}{0{,}00009912} = 40249$$

geogr. Meilen oder gleich 298667 km.

Die nahe Uebereinstimmung dieses Resultates mit dem Werthe, welchen Cornu durch directe Messung gefunden hat, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Princips, aus welchem die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

Der Winkel von 20,445″, um welchen ein Fixstern nach der Richtung hin verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die vom Sterne kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, heisst der Aberrationswinkel. Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, er wird also von seinem wahren Orte stets um 20,445″ verrückt erscheinen, und zwar immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt; dieser Stern muss also am Himmel im Laufe eines Jahres einen kleinen Kreis von 20,445″ Halbmesser um seinen wahren Ort beschreiben. Dagegen ist leicht zu sehen, dass alle Fixsterne, welche nicht im Pole der Ekliptik stehen, scheinbar elliptische Bahnen beschreiben müssen, welche alle eine gleich grosse Axe haben, deren kleine Axe aber im Verhältniss des Cosinus der Breite des Sterns steht, und also in der Ekliptik selbst gleich Null wird.

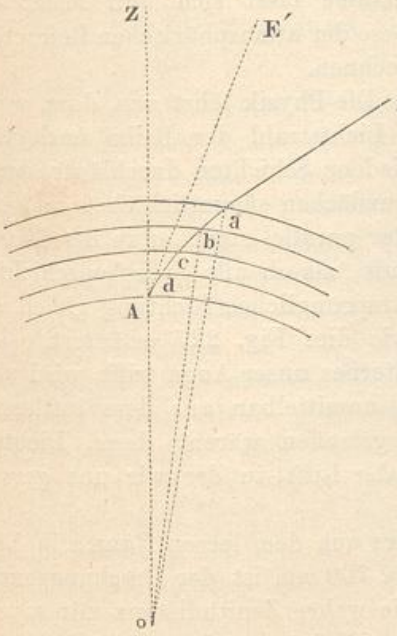
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

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

Fig. 226.



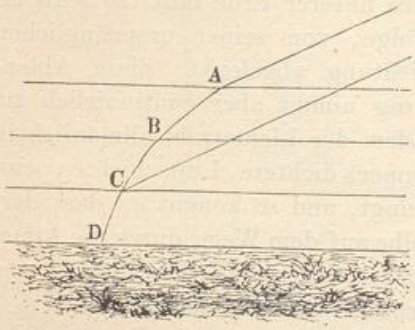
Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist, als die nächst höhere und 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 Einfallsloth 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 15^0 über dem 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.

Fig. 227.



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 0^0 und einem Barometerstande von 760 mm ist der Brechungsexponent 1,000 294; 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 10^0 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 87^0 und 89^0 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,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 Bergrücken 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.



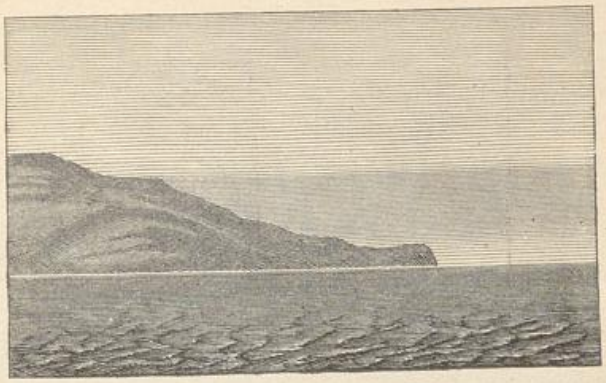
Schloss bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

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.

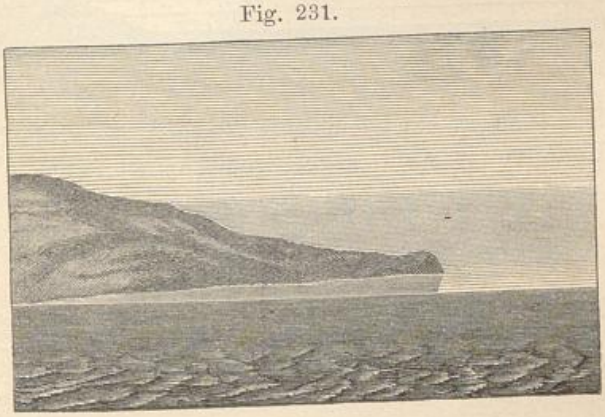


rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

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.

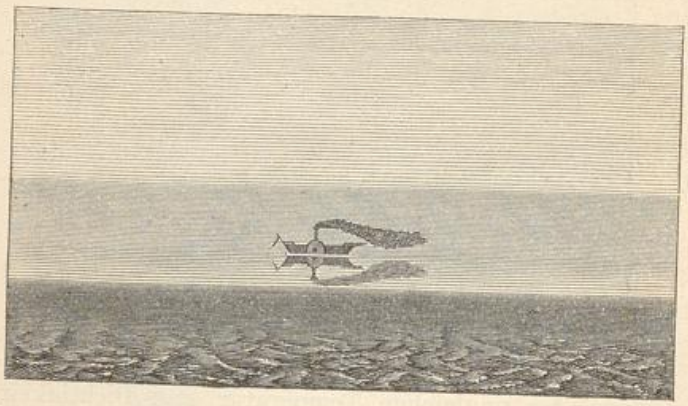


rasch abnimmt, so dass die vom Gegenstande aus ins Auge gelangenden Lichtstrahlen nicht eine gerade, sondern eine mehr oder weniger stark nach oben gewölbte Linie beschreiben. Es wird dies, wie Zech (Jelinek's Zeitschrift für Meteorologie, II. Bd.) richtig bemerkt, namentlich dann der Fall sein müssen, 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.



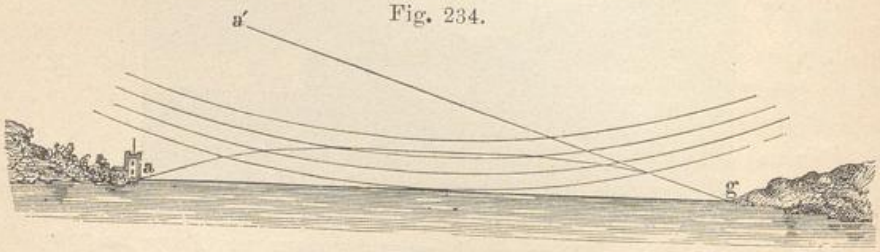
Standpunkt, von welchem aus man nach dem tiefer gelegenen Punkte a hinschauen kann. Ist nun die Luft zwischen g und a, wie es gewöhn-

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 Einfallsloth, 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 feenhafte 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° 45′. Stellt also hk die Trennungsfläche der beiden Luftschichten dar, so findet in c eine totale Reflexion statt, wenn der Winkel hcl 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.

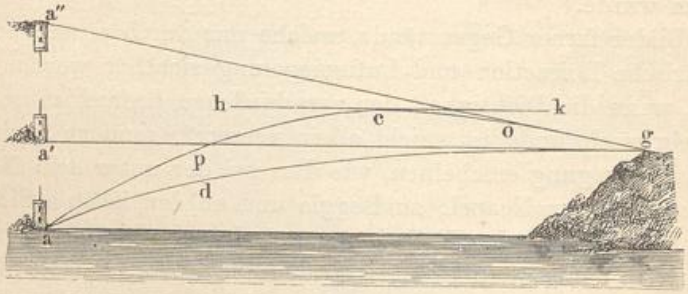
Wie wir bereits gesehen haben, kann bei anomalen Dichtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre von a, Fig. 236, aus ein Lichtstrahl in krummliniger Bahn adg nach g gelangen, so dass man von g aus in a' das gehobene Bild von a erblickt. Von a aus kann aber noch auf anderem Wege ein Lichtstrahl nach g gelangen, 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

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.

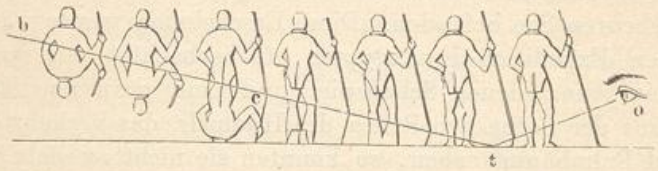
Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenschatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

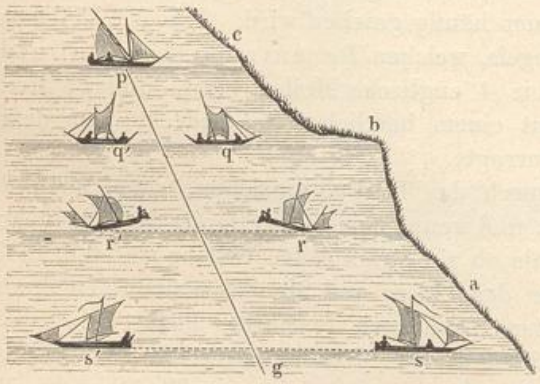
Fig. 237.



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

Fig. 238.



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 seitwärts 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.

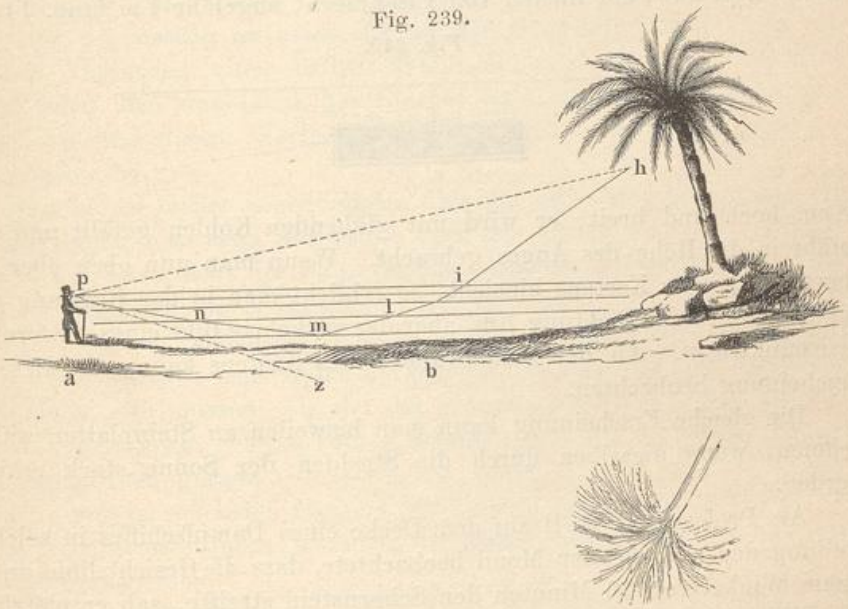
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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.

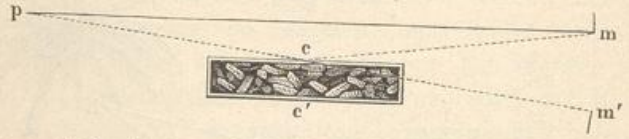
Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen und welche also, in der Richtung pz ins Auge gelangend, ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf

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 aufzublitzen. 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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 alltäglichsten 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 zwölffacher Entfernung, sondern schon bei einem Abstande 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 Grenzwerthe 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 blossem 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 Schwanze 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 dürren Ebenen Spaniens aufsteigenden Luftstromes.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

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

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:

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

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

$$a = \left(\frac{d \,.\, E}{D \,.\, e}\right)^{\frac{2}{E-e}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

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

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

wenn man eine Länge von 1000 Fuss zur Längeneinheit wählt. Aus den in einer Höhe von 2300′ angestellten Versuchen ergiebt 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

$$a = \left(\frac{d \,.\, E \,.\, p}{D \,.\, e \,.\, P}\right)^{\frac{2}{E-e}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

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 Umstande 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.

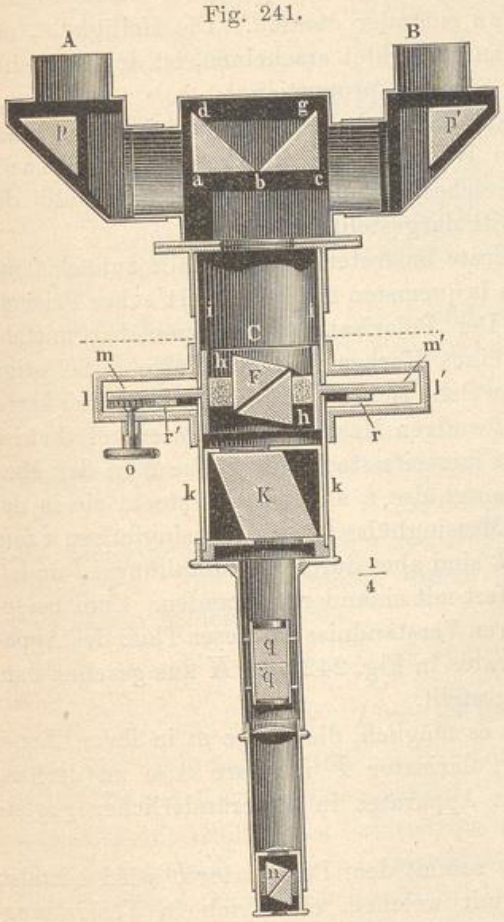
Jedes Objectiv giebt sein Bild in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes des Oculars, so dass man die Bilder der Gegenstände, auf welche die beiden Fernrohre gerichtet sind, dicht neben einander

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

erblickt. Der Winkel, welchen die Axen der beiden Rohre mit einander machen, kann von 0^0 bis 29^0 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, möglichst 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.

Fig. 241.



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.

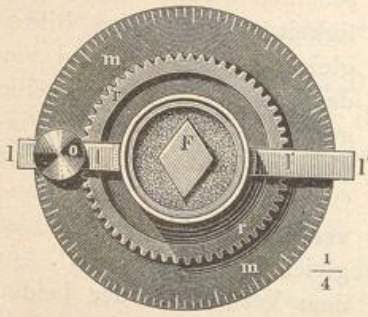
In gleicher Weise tritt nach zweimaliger totaler Reflexion rechtwinkelig zu bc ein Theil der Strahlen aus, welche, von der zweiten Lichtquelle kommend, durch die Röhre B in den Apparat eingetreten waren.

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 Polarisationsphotometer 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.

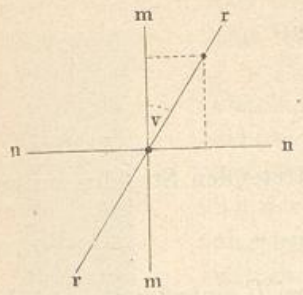
Die Drehung der Scheibe m sammt dem Polarisator F wird mittelst des Knopfes o bewerkstelligt, mit welchem ein Trieb in Verbindung steht, der in den gezahnten, auf der Platte m aufgelötheten Ring r eingreift.

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

Fig. 243.



In Fig. 243 sei mm die Schwingungsrichtung der ordinären Strahlen im Rhomboëder 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 Polariskops leicht erkennen kann. Als Polariskop 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 45^0 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

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

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

$$J = c i^2,$$

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

$$\frac{J}{J_1} = C \, (tang \, v)^2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

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:

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

also:

$$C = \frac{1}{(tang \, v_1)^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

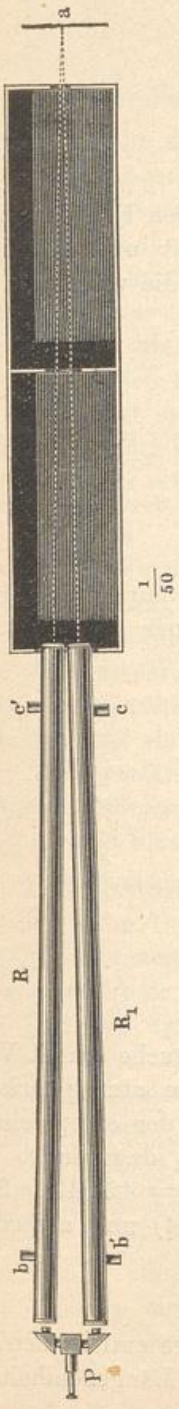


Fig. 244.

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

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

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

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

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

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

$$a = a_1^n$$

$$a_1 = a^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{a}{a_1} = \frac{a}{a^{\frac{1}{n}}} = a^{1-\frac{1}{n}} = a^{1-\frac{p}{P}},$$

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

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

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 $v_1 = 43^0$. Als die Röhre R_1 dagegen so weit evacuirt worden war, dass $p = 40$ mm, ergab sich $v = 42^0\ 49'$. 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 ergiebt.

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. 150

Obgleich 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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

sind. Aber selbst für das reinste Wasser ist die Lichtabsorption noch so bedeutend, dass eine Schicht von 5 m Länge ungefähr nur noch $^1/_3$ 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

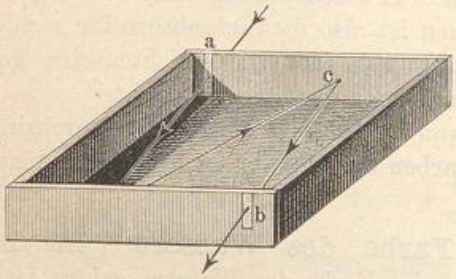
bei 24,4° C. gleich 0,4247
„ 6,2° C. „ 0,5844

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, 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.

Fig. 245.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

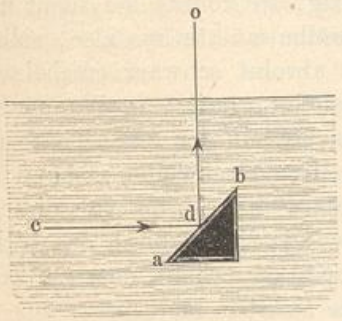
Auch subjectiv lässt sich die Erscheinung beobachten, wenn man den Spalt a durch diffuses Licht erleuchtet und beim Spalt b in den Apparat hineinschaut. Man erblickt dann auf der gegenüber liegenden Spiegelwand eine Reihe gefärbter Bilder des Spaltes a, dessen erstes bei c erscheint und von Strahlen 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 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.

Fig. 246.



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,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer weissen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3... Sectoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sectoren, 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 doppeltbrechende Krystallplättchen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau solcher Krystallblättchen erreicht nämlich seine grösste Intensität, wenn das einfallende Licht vollkommen polarisirt ist; je unvollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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° 19′ nördlicher Breite) für die Bläue des Himmels in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe	Cyanometergrade	
	Humboldt	Saussure
1°	3,0°	4,0°
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° 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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes. 153 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.

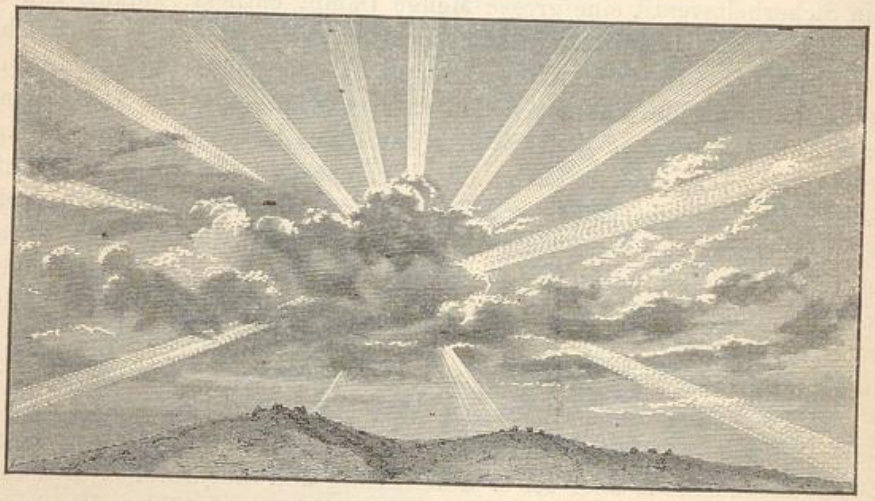
Die Annahme eines solchen Uebergangszustandes ist, wie sich aus den im nächsten Paragraphen zu besprechenden Thatsachen ergiebt, ganz überflüssig, indem der Wasserdampf in vollkommen gasförmigem Zustande stark absorbirend auf die violetten und blauen Strahlen des Spectrums wirkt und vorzugsweise nur 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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-

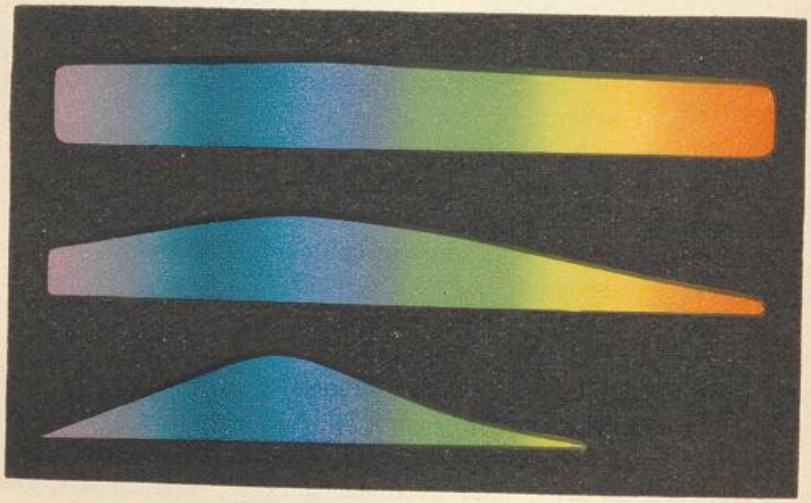
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

auch kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenzirtes 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 21 000 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,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 sämmtlich 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.

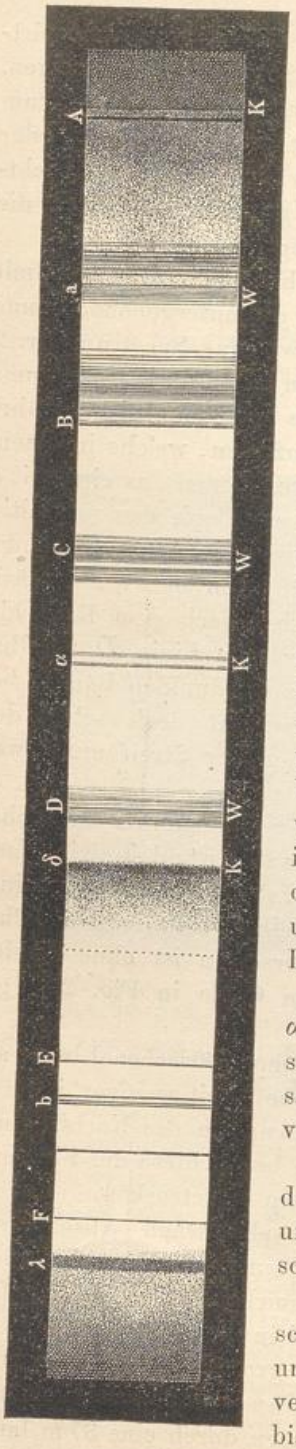


Fig. 249.

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 -27^0 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.

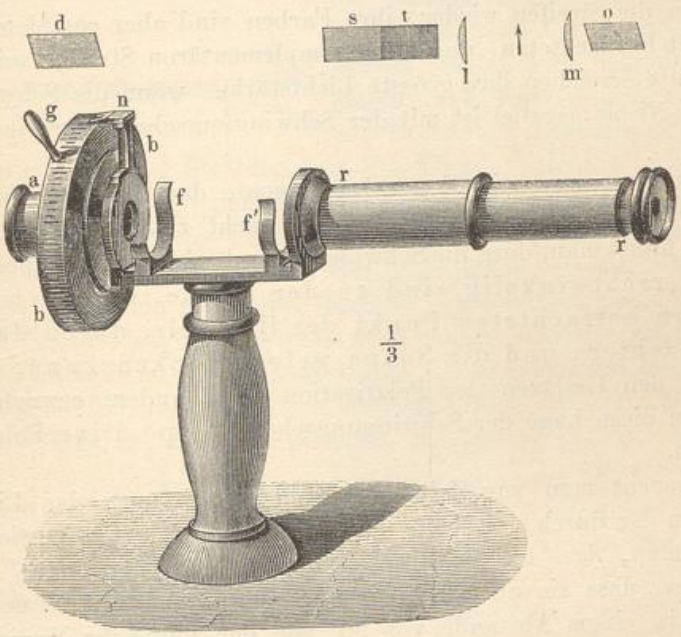
Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran. Zuerst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis G. Während dann die Absorption von G

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 155
uns irgend ein Punkt des blauen Himmelsgewölbes zusendet, ursprünglich von der Sonne ausgehendes, aber von den einzelnen Lufttheilchen reflectirtes Licht ist, so muss es auch die Erscheinung einer partiellen Polarisation zeigen.

Fig. 250.



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 Farbenstreifen 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 Abstande 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.

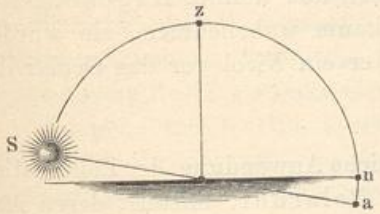
Nach Brewster's Beobachtungen ändert sich die Entfernung des Arago'schen neutralen Punktes von dem antisolaren mit dem Stande der Sonne. Wenn die Sonne noch $11^1/_2{}^0$ über dem Horizonte steht, der antisolare Punkt *a*, Fig. 251, also $11^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte liegt, so liegt der neutrale Punkt gerade im Horizonte. Wenn die Sonne eben untergeht, so beträgt der Abstand zwischen dem antisolaren Punkte *a*, Fig. 252, und dem neutralen *n* $18^1/_2{}^0$; gegen Ende der Dämme-

rung, wenn also die Sonne unter den Horizont gesunken ist, beträgt der Abstand zwischen den Punkten a und n, Fig. 253, 25^0.

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.

Fig. 251.



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. 252.

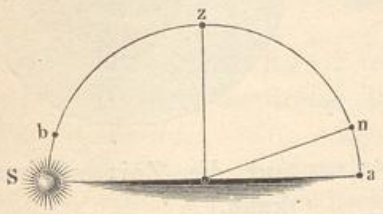
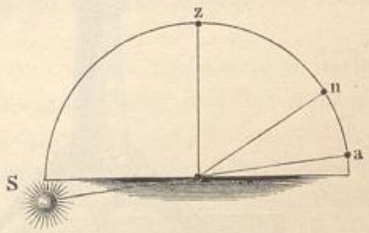


Fig. 253.



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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die von der Sonne erleuchteten Luftschichten zusenden, 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 Chrischonaberg (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 aus der Lage der Polarisationsebene des sichtbaren Poles des Himmels, bei uns also des Nordpoles,

Fig. 254.

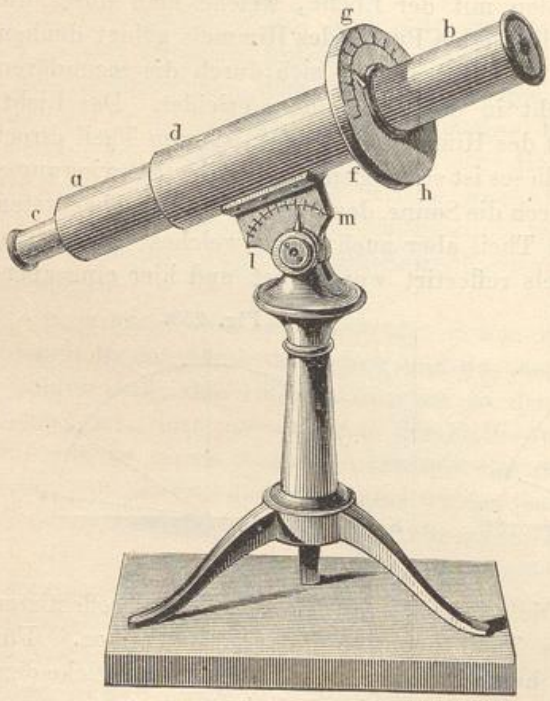
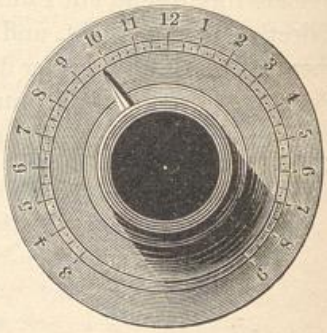


Fig. 255.



auf die Zeit schliessen kann.

Im Wesentlichen ist diese Polaruhr nichts Anderes, als ein gegen den Himmelspol gerichtetes und um seine Axe drehbares 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 Nordpoles 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 Ocularnicols 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.

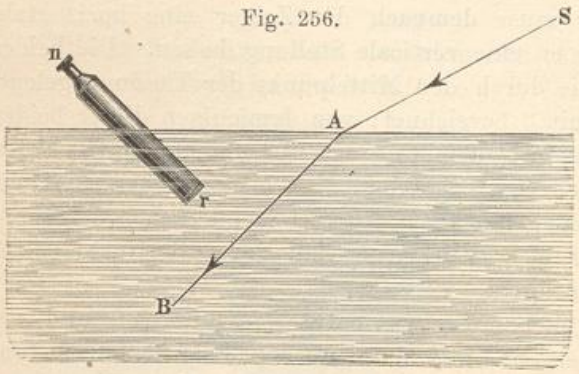
Das Instrument wird nun so aufgestellt, dass die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr so geneigt, dass der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, dass das Rohr ab gerade 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 157
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.

Fig. 256.



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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

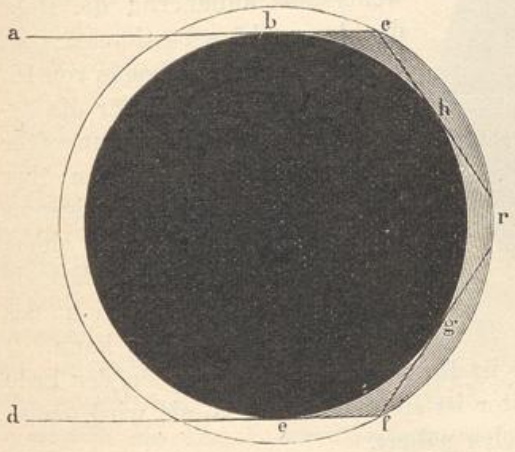
Dabei nahm die Stärke der Polarisation allmählich ab und verschwand endlich ganz, nachdem die Drehung bis auf 180° gewachsen war.

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 158
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.



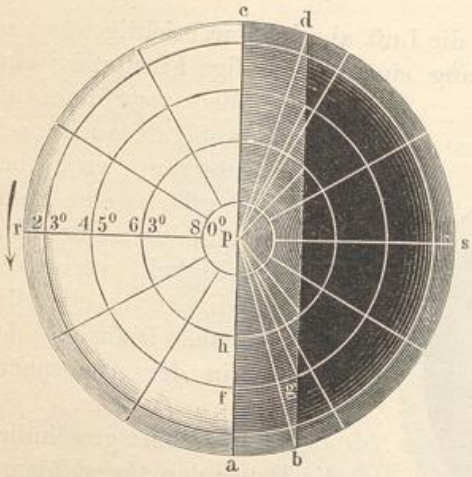
Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einstellen muss, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in einem ziemlich frei liegenden Hause die Lampen anzuzünden pflegt. Es ist dies der Fall, 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 *bcrfe* derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns

von den äussersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten c 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 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° ergiebt 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.

Fig. 258.



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 cpa ist derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluss der atmosphärischen Refraction unberücksichtigt geblieben ist). Macht man den Bogen cd 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 18^0; 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 fpg gleich 30^0 ist.

Auf dieselbe Weise ergiebt 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 $^1/_3$ von der der astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

auf dem Aequator etwas über $^1/_3$ Stunde,
auf dem 45. Breitengrade ungefähr $^2/_3$ 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 ergiebt, 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 $^1/_4$ 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.

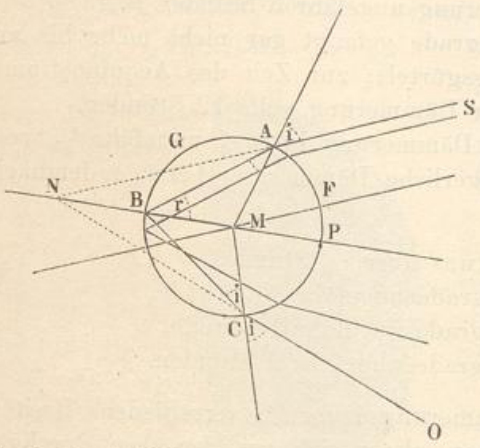
Der Regenbogen. Es ist allgemein bekannt, dass man einen 159
Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch 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 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 Einfallsloth BN, so ist der Winkel $BNA = {}^1/_2 d$. 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

Fig. 259.



$$ {}^1/_2 d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

$$d = 4r - 2i \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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:

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

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

$$i' = 2r' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 3)$$

i und r sind aber durch die Gleichung

$$\sin i = n . \sin r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 4)$$

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

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

oder

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

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

$$\sin i + i' \cos i = n . \sin r + n r' \cos r$$

und wenn man von dieser Gleichung die Gleichung 4) abzieht

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

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

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

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

Wird diese Gleichung aufs Quadrat erhoben, so kommt:

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

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

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

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

oder nach einigen Umformungen:

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

und

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

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

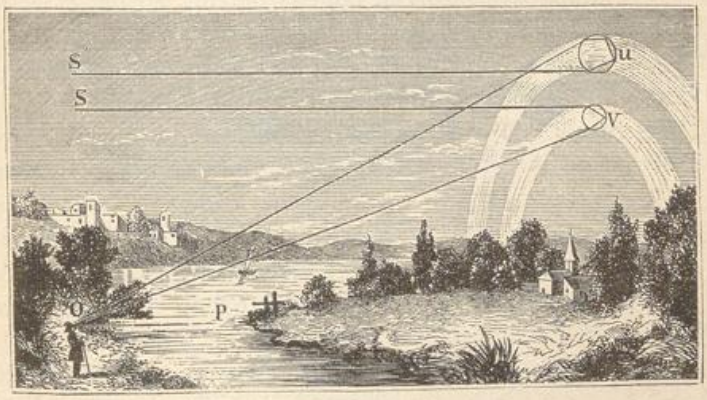
wonach ferner

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

und endlich $d = 42^0\ 30'$.

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 $POV = 42^0\ 30'$, 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 $42^0\ 30'$ erscheint.

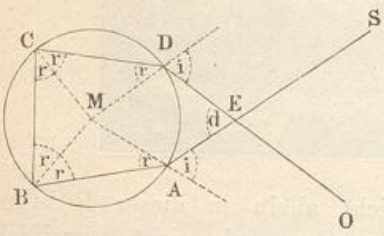
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine 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	50^0	39^0
10^0	$9^0\ 40'$	60	$40\ 28'$
20	$18\ 57$	70	$37\ 28$
30	$27\ 22$	80	$28\ 28$
40	$34\ 20$	90	$12\ 18$

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 $40^0\ 30'$; 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 2^0, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2^0 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 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 $42^0\ 30'$ 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.

Fig. 261.



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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 540^0. Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540^0 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:

$$2r + 360^0 - 2i;$$

wir haben also:

$$d = 540^0 - 4r - (2r + 360^0 - 2i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

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	180^0	180^0
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 180^0. 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 $53^1/_2{}^0$. 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 ergiebt 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 $53^1/_2{}^0$ erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr $3^1/_2{}^0$.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7^1/_2{}^0$.

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 Haupterscheinung 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.

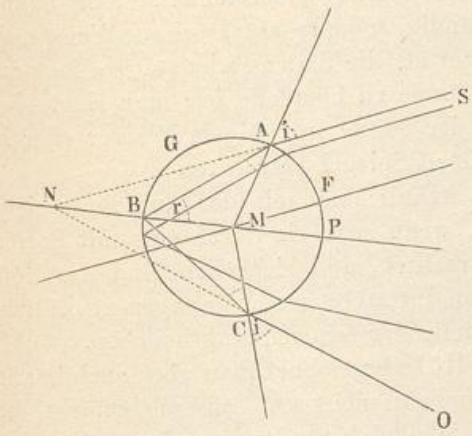
Venturi suchte die überzähligen Regenbogen durch die Annahme zu erklären, dass die herabfallenden Regentropfen zum Theil wenigstens

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 Strahlenbüdel austritt, so werden alle zwischen A und F auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, sowie alle diejenigen, welche ihn zwischen A und G 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 Maximumswerthe 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

Fig. 262.



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 Wolkenschleier 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. Fraunhofer 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.

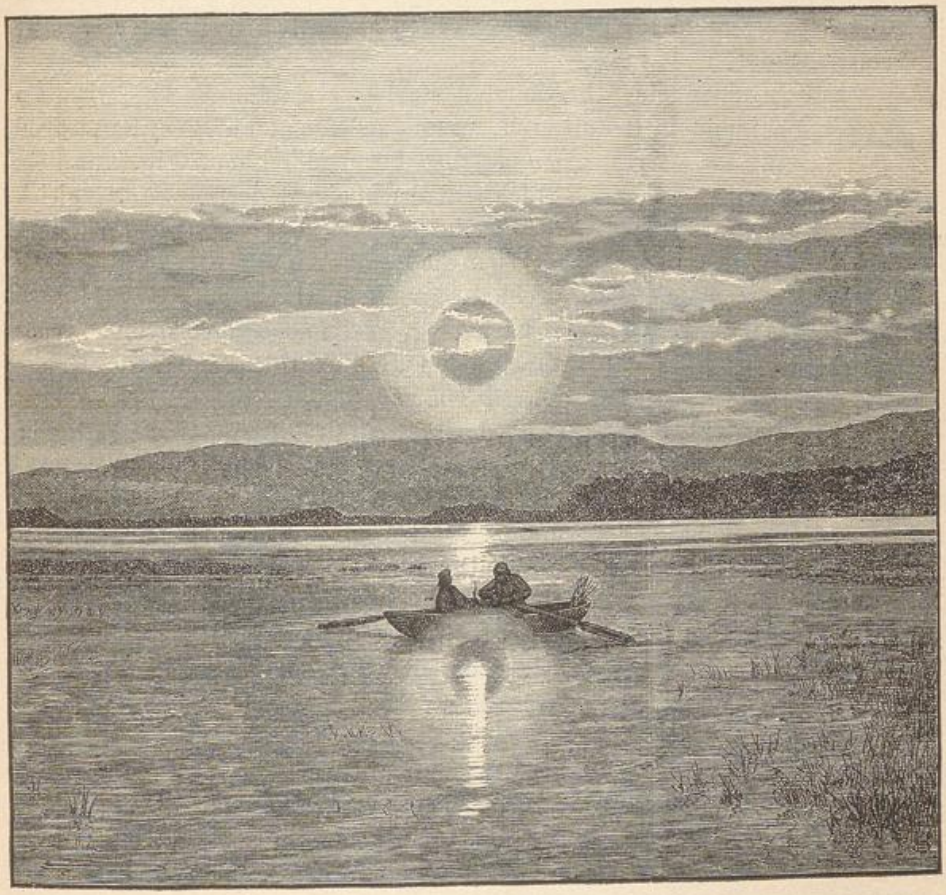
Ein schönes Beispiel eines Hofes zeigt Fig. 263, welche die Copie der einen Hälfte eines englischen Momentan-Stereoskopbildes ist. Ein schöner Hof umgiebt nicht nur die Sonne selbst, sondern auch ihr in die Länge gezogenes Spiegelbild im Wasser ist von einem, freilich weniger vollkommenen Hofe umgeben, 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dunklen Ringes derselben Farbe 3ϱ, 5ϱ u. s. w., während die Halbmesser der hellen Ringe der gleichen Farbe 2ϱ, 4ϱ, 6ϱ 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.



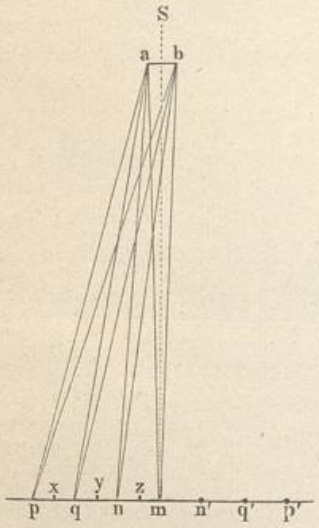
durchsichtigen Scheibchen oder einem undurchsichtigen Kügelchen aufgefangen werden.

Die durch ein dünnes Stäbchen, etwa durch einen Draht, hervorgebrachte 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 $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ 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 Abstande 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):

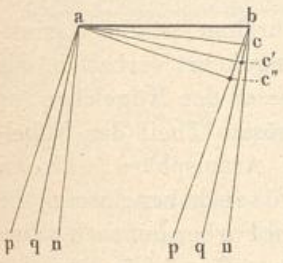
$$\left.\begin{aligned} bc &= \lambda = d.\sin\alpha \\ bc' &= 2\lambda = d.\sin\beta \\ bc'' &= 3\lambda = d.\sin\gamma \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ 1)$$

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

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

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

Fig. 265.



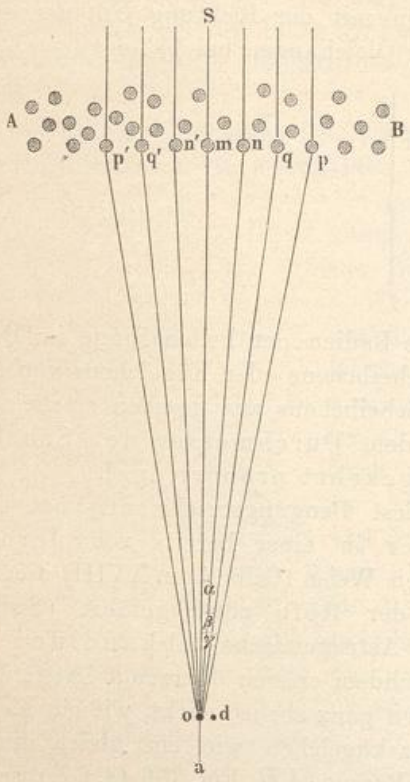
Auf diese Beugungserscheinung hat nun Fraunhofer in einer bereits von Jordan angedeuteten Weise (Gilb. Ann. XVIII) die Erscheinung der Höfe zurückgeführt (Schumacher's Astronomische Abhandlungen, 3. Heft), nachdem er sich überzeugt hatte, dass ein Glasfaden ganz ebenso wirkt, wie ein gleich dickes Metalldrähtchen, und ein Glaskügelchen wie ein gleich dickes undurchsichtiges Kügelchen. In dem Raume AB, Fig. 266 (a. f. S.), seien Dunstkügelchen 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 Kügelchen in der angegebenen Weise gebeugt und unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Nehmen wir an, das Auge in o empfange vom Kügelchen n das Roth der ersten Ordnung, so wird das Gleiche auch für das Kügelchen 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 Dunstkügelchen, 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 Farbenringe 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 über einander 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 Farbenringe 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 $\alpha = 2^0\,33'$, und den des zweiten rothen Ringes $\beta = 4^0\,41'$, während sich für einen am 3. October 1792 beobachteten Hof $\alpha = 45'$ und $\beta = 1^0\,25'$ 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 Semen 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

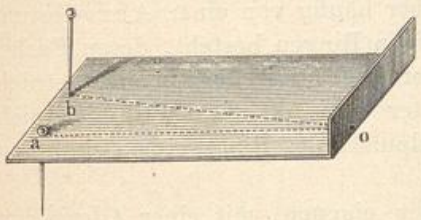
$$\left.\begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{\sin\alpha} \\ \text{und} \quad d &= \frac{2\lambda}{\sin\beta} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

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

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

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.

Fig. 267.



Für den kleineren im Jahre 1792 von Jordan beobachteten Hof ergiebt 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 rectangulär 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-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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.

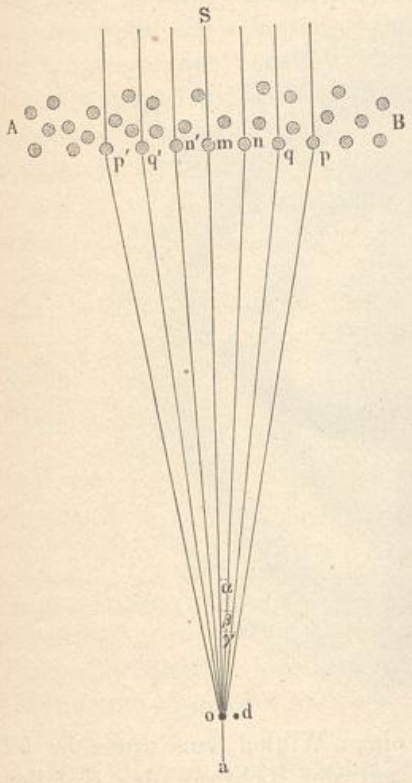
Solche Nebelbilder lassen sich nur wahrnehmen, wenn der Beobachter einen ganz freien isolirten Standpunkt einnimmt, wie dies auf dem Lande nur in Gebirgsgegenden möglich ist; am schönsten zeigen sie sich bei Sonnenaufgang, wenn der Schatten des auf einer isolirten Bergspitze oder auf einem isolirten 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 $5^0\ 40'$, der des zweiten 11^0 und der des vierten 17^0. Er beobachtete, dass auch bei diesem Phänomen die Durchmesser der gleichfarbigen Ringe zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich sind. Bei einem auf dem Pilatus beobachteten Nebenbilde mit Glorie fand Hagenbach den Durchmesser des innersten rothen Ringes gleich $2^0\ 30'$, woraus sich der Durchmesser der Nebelbläschen gleich 0,0158 mm ergiebt. Die Nebelbläschen, welche die von Bouguer besprochene Glorie hervorbrachten, hatten wohl kaum einen halb so grossen Durchmesser.

Fig. 268.



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 Beugungserscheinungen 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 Farbenringe 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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.

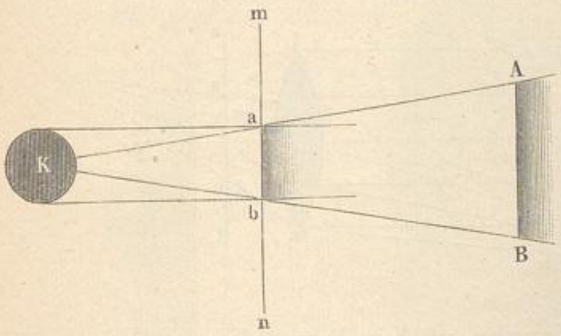
Während es also zur Erklärung der Höfe, welche wir im ersten Theil dieses Paragraphen betrachtet haben, gleichgültig ist, ob das leichte Wölkchen, welches sich zwischen der Sonne und dem Beobachter befindet, aus Wassertröpfchen oder aus Nebelbläschen besteht, ist zur Erklärung der Glorie die Annahme 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 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 desselben 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.

Fig. 270.



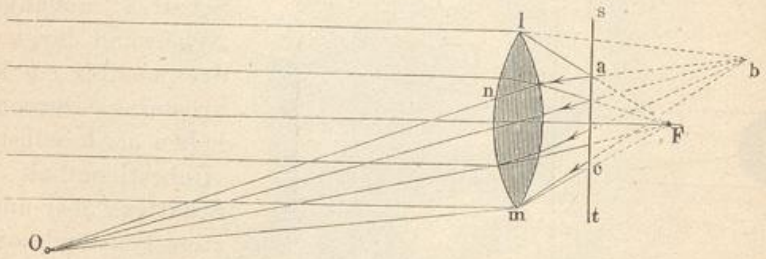
Die Glorie auf bethauten Wiesen. Wenn des Morgens früh 162
bei hellem Sonnenschein der Schatten des Beobachters auf den stark bethauten, mit niederem Pflanzenwuchs dicht bedeckten Boden, etwa auf eine Wiese fällt, so sieht er den Schatten seines Kopfes mit einer lichten Glorie umgeben, deren Glanz mit 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 Glorie 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 Wassertröpfchen 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 (Jubelband 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 Zerstreuungskreis 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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. 272.

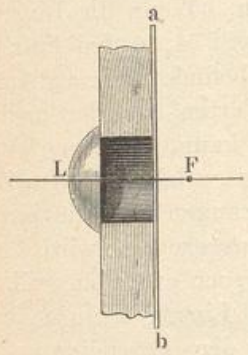
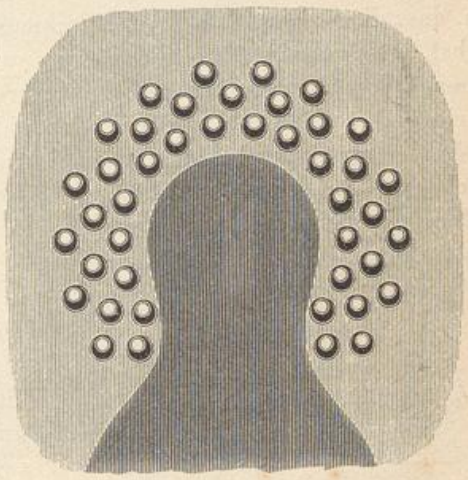


Fig. 273.



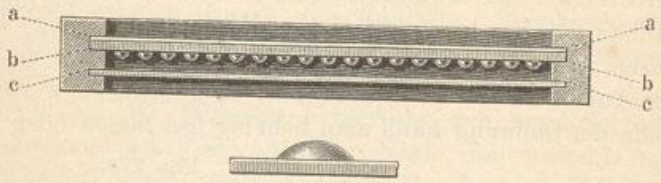
Blatt Papier ab bedecken. Das Brett wird so gestellt, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dasselbe fallen. Der Beobachter stellt sich 2 bis 4 Fuss von demselben so auf, dass die Grenze seines Kopfschattens ganz nahe bei der Linse liegt. Der grösste Theil der Linsenfläche scheint ihm dann mit hellem 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

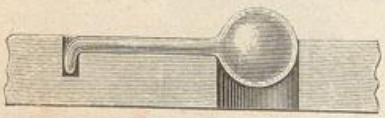
Statt der auf einem durchlöcherten Brett angebrachten Glaslinsen hat Lommel Linsen von Canadabalsam angewandt, welche auf einer 2 mm dicken quadratischen Glastafel von 32 cm Seitenlänge angebracht sind. Um sie herzustellen, lässt man auf die horizontal gelegte Glastafel mittelst eines Glasstabes recht 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 Zerstreuungskreise 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.

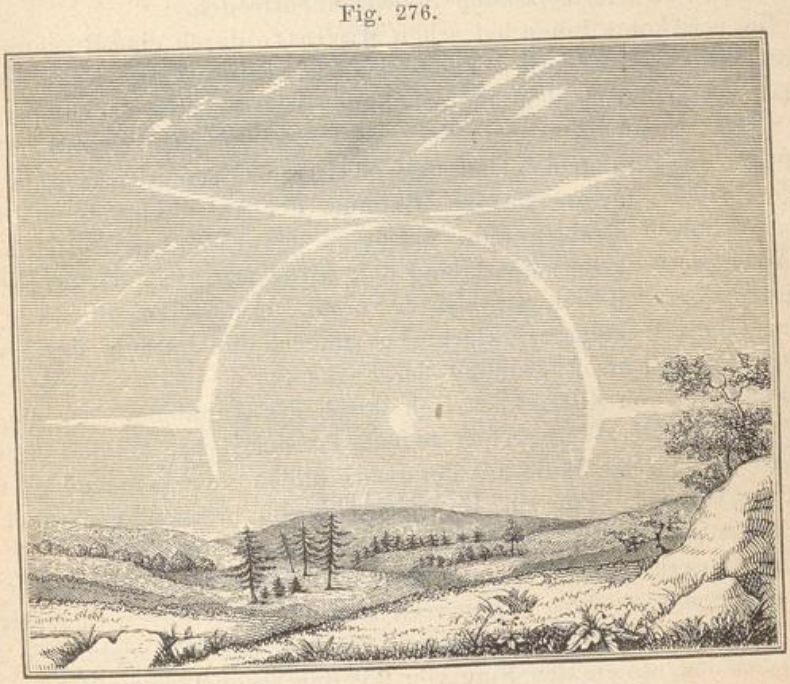
Nach diesen Erörterungen erklärt sich der „Heiligenschein“ von selbst. Jeder Thautropfen erzeugt auf dem Blatte, auf welchem er, meist von zarten Härchen getragen, abgerundet schwebt, ohne dasselbe unmittelbar zu berühren, ein unvollkommenes Sonnenbildchen, welches die Strahlen als zerstreutes Licht 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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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 Thauperlen 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 163
im vorigen Paragraphen besprochenen Höfe und Glorien sind die Lichtringe, welche öfters in grösserem Abstande 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 Regenbogens 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).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN