Kgl. Bayer. Akademie
der Wissenschaften

JOSEPH VON FRAUNHOFER'S

GESAMMELTE SCHRIFTEN.



IOS. v. FRAUNHOFER
GEB. D. 6TEN VII.TEN MAERZ MDCCLXXXVII
GEST. D. 7TEN VII.TEN IUNI MDCCCXXVI

XIV a

JOSEPH VON FRAUNHOFER'S

GESAMMELTE SCHRIFTEN

IM AUFTRAGE

DER MATHEMATISCH-PHYSIKALISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH BAYERISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

E. LOMMEL.

MIT EINEM BILDNISSE FRAUNHOFER'S UND VIERZEHN TAFELN.

MÜNCHEN 1888.
VERLAG DER K. AKADEMIE
IN COMMISSION BEI G. FRANZ.

Bayerische Akademie der Wissenschaften
Bibliothek

Vorwort.

Aus Anlass der Feier des hundertjährigen Geburtstages Fraunhofer's beschloss die mathematisch-physikalische Classe der königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften, die in verschiedenen Zeitschriften zerstreuten und theilweise schwer zugänglichen Abhandlungen desselben in einem Bande gesammelt herauszugeben, um das Andenken ihres berühmten ehemaligen Mitgliedes durch würdige Erneuerung des Denkmals zu ehren, das er sich in seinen unvergänglichen Arbeiten selbst gesetzt hat. Durch den vorliegenden Band wird dieser Beschluss zur Ausführung gebracht.

Der Lebensgang Fraunhofer's hat bereits so zahlreiche Darstellungen gefunden, dass wir uns hier darauf beschränken dürfen, unter Hinweis auf die wichtigsten derselben [1]), in kurzer Uebersicht nur die hauptsächlichsten Momente aus seinem Leben hervorzuheben. Es erscheint

---

1) Joseph von Utzschneider, Kurzer Umriss der Lebens-Geschichte des Herrn Dr. Joseph von Fraunhofer. München, 1826.

Friedrich von Thiersch, Ueber die wissenschaftliche Seite der praktischen Thätigkeit, nebst biographischen Nachrichten über Fraunhofer. Rede zur 93jährigen Stiftungsfeier der K. Akad. der Wissensch. München, 1852.

Leonhard Jörg, Fraunhofer und seine Verdienste um die Optik. Inaugural-Dissertation. München, 1859.

Sigmund Merz, Fraunhofer's Leben und Wirken. Festschrift zur Enthüllung des Fraunhoferdenkmales in der Maximiliansstrasse zu München. Verhandlungen des historischen Vereines für Niederbayern, XI. Bd. S. 193—212. Landshut, 1865.

Philipp Jolly, Das Leben Fraunhofer's. Rectoratsrede gehalten am 2. December 1865. München, 1865.

Carl Max von Bauernfeind, Gedächtnissrede auf Joseph von Fraunhofer zur Feier seines hundertsten Geburtstags. München, 1887.

E. Voit, Joseph von Fraunhofer. Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt, Vierteljahresschrift, Jahrgang 1887. München, 1887.

dies um so mehr gerechtfertigt, als in der von Geheimrath C. M. von Bauernfeind im Auftrage der mathematisch-physikalischen Classe der Akademie verfassten Gedächtnissrede zur Feier des hundertjährigen Geburtstages Fraunhofer's das sämmtliche bis dahin noch unbenutzte Actenmaterial bereits verwerthet ist, und somit den bekannten Thatsachen wesentlich Neues nicht hinzugefügt werden könnte.

Joseph Fraunhofer wurde am 6. März 1787 zu Straubing als zehntes und letztes Kind eines in dürftigen Verhältnissen lebenden Glasermeisters geboren. Frühzeitig verwaist kam der zwölfjährige schwächliche Knabe nach München zu dem Spiegelmacher und Glasschleifer Weichselberger in die Lehre, gegen die Verpflichtung, statt des bei seiner Armuth unerschwinglichen Lehrgeldes, sechs Jahre lang nicht nur in der Werkstatt, sondern auch für Haushalt und Küche unentgeltliche Dienste zu leisten. Der Einsturz des Hauses in der Thiereckgasse (21. Juli 1801), unter dessen Trümmern er glücklicherweise unverletzt hervorgezogen wurde, gewann ihm ein Geldgeschenk des hochherzigen Kurfürsten (nachmaligen Königs) Max Joseph, und die fördernde Theilnahme Utzschneider's, der den strebsamen Lehrling mit Lehrbüchern der Mathematik und Optik versah. Da sein drückendes Dienstverhältniss ihn hinderte, sich dieser Hilfsmittel zu bedienen, und seine mangelhafte Schulbildung durch Besuch der Feiertagsschule zu ergänzen, so verwendete er einen Theil des kurfürstlichen Geldgeschenks, um sich von dem Reste seiner Lehrzeit loszukaufen, einen andern Theil zur Anschaffung einer Glasschleifmaschine. Nachdem jedoch weder das Schleifen von Brillengläsern, noch das Metallgravieren, welches er ohne jede Anleitung mittlerweile erlernt hatte, ihm den nöthigen Lebensunterhalt hatte gewähren können, sah er sich gezwungen, bei seinem früheren Lehrherrn als Glasschleifer wieder einzutreten. Da gedachte Utzschneider, der inzwischen mit Reichenbach und Liebherr ein optisch-mechanisches Institut gegründet hatte, seines talentvollen Schützlings, und übertrug ihm 1806 eine Stelle als Optiker in der jungen Anstalt. Unter Fraunhofer's Mitwirkung nahm die optische Abtheilung des Instituts einen derartigen Aufschwung, dass Utzschneider und Reichenbach beschlossen, dieselbe als selbständiges optisches Institut nach Benediktbeuern zu verlegen (1807), wo Guinand bisher die Gläser für die Fernröhren der Reichenbach'schen Messinstrumente geschmolzen

hatte. Hier, wo Fraunhofer, seit 7. Februar 1809 Theilhaber der Firma, als Leiter an der Spitze der Anstalt stand, konnten sich nunmehr seine aussergewöhnlichen Fähigkeiten ungehemmt entfalten. Indem er neue und bessere Methoden, Maschinen und Messwerkzeuge [1]) zum Schleifen und Poliren der Linsen erfand, indem er, seit 1811 auch mit der Aufsicht über die Glasschmelzarbeiten betraut, es erreichte, Flint- und Crownglas in grösseren Stücken streifenfrei herzustellen, besonders aber indem er den Weg zur genauesten Berechnung der Linsenformen auffand, hat er die praktische Optik in völlig neue Bahnen gelenkt, und das achromatische Fernrohr zu bis dahin ungeahnter Vollkommenheit emporgehoben. In dem Bestreben nämlich, die Brechungsverhältnisse seiner Gläser zum Zwecke genauer Berechnung achromatischer Linsen für bestimmte einfache Farbenarten zu ermitteln, entdeckte er im Spectrum der Lampenflamme jene helle orangefarbene Doppellinie, die wir heute als Natriumlinie kennen, sodann die nach ihm benannten fixen Linien im Sonnenspectrum, welche ihm fortan als feste Merkzeichen zur schärfsten Messung der Farbenzerstreuung seiner Glassorten dienten. Die Versuche, durch welche er zu dieser folgenreichen Entdeckung gelangte, sowie die darauf gegründeten feinen Messungen hat er in der Abhandlung: „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens etc.“, welche den vorliegenden Band eröffnet, ausführlich beschrieben. Diese bahnbrechende Arbeit wurde durch den Astronomen Soldner der kgl. bayerischen Akademie der Wissenschaften vorgelegt (12. April 1817), die ihn daraufhin (3. Mai 1817) zu ihrem correspondirenden Mitglied erwählte. In Benediktbeuern hatte er auch jene anderen epochemachenden Forschungen über die Beugung des Lichts begonnen, welche ihn zur Entdeckung der Gitterspectra und zur genauen Messung der Lichtwellen führten, und die er, in der Abhandlung: „Neue Modifikation des Lichtes etc.“ zusammengefasst, am 14. Juli 1821 der Münchener Akademie, in welche er seit 12. Mai 1821 als ausserordentliches „besuchendes“ Mitglied aufgenommen war, selbst vorlegte. Im Jahre 1819 war nämlich das optische Institut von Benediktbeuern, wo nur die Schmelzöfen als Institutseigenthum verblieben, nach München übergesiedelt, nachdem schon 1814 Reichenbach

1) Vergl. Voit, Joseph von Fraunhofer. München 1887.

aus dem Gesellschaftsverbande ausgeschieden und Fraunhofer mit einem ihm von Utzschneider geschenkten Kapitale von zehntausend Gulden in die neue Firma „Utzschneider und Fraunhofer“ eingetreten war. Das Institut hatte inzwischen durch die bewundernswerthen optischen Instrumente, die, von Fraunhofer erfunden oder verbessert und mit den feinsten von ihm erdachten Messvorrichtungen ausgestattet, aus demselben hervorgingen, längst Weltruf erworben. Dem bei den grössten Erfolgen äusserst bescheidenen Manne, in dem sich tiefste wissenschaftliche Einsicht mit höchstem technischen Können in seltenster Weise paarte, konnte daher Anerkennung in den weitesten Kreisen nicht fehlen. Nach seiner Uebersiedelung nach München wurde er zum kgl. Professor, 1823 zum Conservator der mathematisch-physikalischen Sammlung der Akademie ernannt, 1824 durch Verleihung des Civilverdienst-Ordens der bayerischen Krone und Erhebung in den persönlichen Adelstand ausgezeichnet. Die Stadt München ertheilte ihm 1824 das Ehrenbürgerrecht. Die philosophische Facultät der Universität Erlangen verlieh ihm 1822 honoris causa die Doctorwürde, zu ihrem Mitgliede wählten ihn (1824) die Kaiserliche Leopoldino-Carolinische Akademie (cognomine Herschel), die astronomische Gesellschaft zu London (1824), die Gesellschaft für Naturwissenschaft und Heilkunde zu Heidelberg (1825). Einige Tage vor seinem Lebensende erhielt er noch das Diplom als Ritter des Danebrog-Ordens.

Im Schoosse der Akademie begegneten die Mittheilungen Fraunhofer's stets dem grössten Interesse. So heisst es z. B. in dem von dem beständigen Sekretär Cajetan von Weiller erstatteten siebenten Quartalbericht (April bis Juni 1825): „Unter die Gegenstände fortwährender Aufmerksamkeit und freudiger Theilnahme an dem Schicksale derselben gehören auch die für Astronomie und Optik so wichtigen Productionen unseres Fraunhofer's. Derselbe ist auf Allerhöchsten Auftrag mit den Einleitungen zum Bau eines noch grössern Instrumentes beschäftigt, als der nach Dorpat ausgewanderte Riese ist u. s. w.“

Zu den akademischen Pflichten Fraunhofer's gehörte auch seine Mitwirkung an den öffentlichen Vorlesungen, welche von der Akademie „sowohl für das gebildete Publikum überhaupt als insbesondere für die Zuhörer der medicinisch-praktischen Lehranstalt“ im Jahre 1824 eingerichtet wurden. Nach dem Vorlesungsverzeichniss für das Sommer-

halbjahr 1825 (VI. Bericht, für Januar bis März 1825, S. 220) las Fraunhofer „über mathematisch-physikalische Optik, von Experimenten begleitet, wöchentlich zweymal, für einen von ihm nach den Eigenthümlichkeiten seiner wissenschaftlichen Vorträge zu bestimmenden Kreis von Zuhörern". Er war schon leidend, als er diese Vorträge begann; sie fanden statt „alle Sonn- und Feiertage von 11—1 Uhr im Utzschneider'schen Gebäude vor dem Schwabinger Thor".

Auf der Höhe seines Schaffens, inmitten neuer Entwürfe, erst neununddreissig Jahre alt, erlag Fraunhofer nach achtmonatlichem Krankenlager am 7. Juni 1826 einem Brustleiden. Utzschneider bestattete seinen berühmten Freund an der vom Stadtmagistrat geschenkten Begräbnissstätte neben dem nur wenige Tage zuvor verstorbenen Reichenbach, und setzte ihm die einfach-erhabene Grabschrift: Approximavit sidera.

Ein umfassendes Bild der hohen Eigenschaften Fraunhofer's, seines tiefdringenden Scharfsinns, seiner mächtigen Erfindungskraft, seiner unermüdlichen Ausdauer, seiner strengen Wahrheitsliebe, seiner technischen Meisterschaft, tritt uns in seinen Schriften entgegen, in welchen er seine Versuche, Entdeckungen und Constructionen mit schlichter Klarheit beschreibt.

Im gegenwärtigen Bande sind diese Schriften nach der zeitlichen Reihenfolge ihrer Entstehung geordnet.

Fraunhofer's erste [1]) Abhandlung: „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre" wurde 1817 in dem V. Bande der Denkschriften der k. Akad. d. Wiss. abgedruckt, welcher, obgleich er die Bezeichnung „für die Jahre 1814 und 1815" trägt, im Jahre 1817 noch nicht geschlossen war. Von Gilbert in Abschnitte mit Ueberschriften getheilt, jedoch sonst fast unverändert, erschien die Abhandlung alsbald auch in dessen Annalen der Physik Bd. 56, S. 264—313, 1817. Ein für

1) Eine noch frühere Abhandlung Fraunhofer's ist nicht erhalten geblieben. Wir wissen darüber nur, was Utzschneider in seinem „Umriss" S. 11 berichtet: „Früher hatte er sich in seinen theoretischen Arbeiten auch mit der Katoptrik beschäftigt, und im Jahre 1807 über die Abweichung ausser der Axe bei Teleskopspiegeln eine noch nicht gedruckte Abhandlung geschrieben; er zeigt darin, dass die hyperbolischen Spiegel den parabolischen vorzuziehen seyen, und theilt auch die Erfindung einer Maschine mit, durch welche die Flächen hyperbolischer Segmente, so wie auch andere geschliffen werden können."

weitere Kreise bestimmter Bericht darüber findet sich unter der Ueberschrift: „Fraunhofer's neue Entdeckungen über die verschiedene Natur des irdischen und elektrischen, Sonnen- und Fixsternlichts" in Zschokke's „Ueberlieferungen zur Geschichte unserer Zeit", Jahrgang 1817, S. 442—444, und eine französische Uebersetzung davon: „Nouvelles découvertes sur la nature particulière et différente de la lumière terrestre, de la lumière électrique, de celle du soleil, et de celle des étoiles" in der Genfer Bibliothèque universelle, Bd. VI, 1817. Weit später erst (1823) erschien die französische Uebersetzung der Abhandlung selbst: „Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques" in Schumacher's astronomischen Abhandlungen (s. u.), und die englische Uebersetzung: „On the Refractive and Dispersive Power of different Species of Glass, in reference to the improvement of Achromatic Telescopes, with an Account of the Lines or Streaks which cross the Spectrum" im Edinburgh Philosophical Journal Bd. IX (1823) und Bd. X (1824).

Der Zeit nach folgt nun eine ebenfalls noch in Benediktbeuern vollendete Arbeit: „Versuche über die Ursachen des Anlaufens und Mattwerdens des Glases und die Mittel, denselben zuvorzukommen", welche Herr Sigmund v. Merz nach dem im Archiv des Fraunhofer'schen optischen Instituts hinterlegten Manuscript im Jahrgang 1866 (Bd. 44) des „Kunst- und Gewerbe-Blatts des polytechnischen Vereins für das Königreich Bayern" abdrucken liess. Der Haupttheil dieser Abhandlung wurde im November 1817 geschrieben und mit dem Motto: „La nature parle par les expériences" der Holländischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Harlem vorgelegt; wenigstens äussert sich darüber van Marum, der damalige Sekretär der Gesellschaft, in einem Briefe an Soldner vom 18. November 1818 mit folgenden Worten:[1]) „La Société Hollandaise des sciences a effectivement reconnu beaucoup de mérites dans celle-ci surtout dans l'indication des causes ou des défauts dans la composition du verre, qui donnent occasion à la ternissure, et dans l'indication des moyens de la prévenir." Der Anhang zu dieser Schrift wurde im December 1819 verfasst.

---

1) Sigmund Merz, Fraunhofer's Leben und Wirken. Verhandl. des hist. Ver. für Niederbayern, XI. Bd. S. 205.

Die Abhandlung: „Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben“ wurde im VIII. Bande (für 1821 und 1822) der Denkschriften der Akademie und in französischer Sprache: „Nouvelle modification de la lumière par l'influence réciproque et la diffraction des rayons lumineux, avec l'examen des lois de cette modification“ im II. Heft von Schumacher's astronomischen Abhandlungen 1823 veröffentlicht (s. u.). Die von Fraunhofer in der Classensitzung vom 14. Juli 1821, unter Vorzeigung der zur Abhandlung gehörigen sechs Tafeln, vorgetragene Inhaltsübersicht, welche in den Acten der Akademie als Manuscript sich vorfand, habe ich der Abhandlung (S. 108) hinzugefügt, da sie zur bequemeren Zurechtfindung in dem reichen Stoffe nützlich erschien.

Es folgen nun zwei Auszüge aus Briefen Fraunhofer's an Schumacher, welche in dessen „astronomischen Nachrichten“ (Bd. I und Bd. II) abgedruckt sind. Der erste, vom 22. Juli 1822, berichtet von einem Gitter, welches sechsmal grössere Spectra gibt als die grössten in der Abhandlung „Neue Modifikation“ beschriebenen, der zweite, vom 21. Januar 1823, bespricht die Herstellung eines Kreismikrometers.

In der Classensitzung vom 14. Juni 1823 las Fraunhofer „eine Notiz betreffend die Resultate neuer Versuche über die Gesetze des Lichtes und die Theorie derselben“. „Der Herr Dr. gedenkt“, so heisst es weiter in dem Sitzungs-Protokoll, „diese Notiz, welche mit dem grössten Interesse angehört wurde, auf das Früheste durch eine Zeitschrift bekannt zu machen, um sich die Priorität seiner Entdeckungen zu bewahren. Er behält sich die Bearbeitung des Details derselben für die Denkschriften der Akademie der Wissenschaften bevor.“ In den Denkschriften erschien die Arbeit zwar nicht, wohl aber findet man sie im 74. Band von Gilbert's Annalen unter dem Titel: „Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben“. Diese Abhandlung ist nicht, wie man hie und da angegeben findet[1]), ein „Auszug“ aus der Abhandlung „Neue Modifikation des Lichtes“, sondern eine Originalarbeit von hervorragender Bedeutung, in welcher

1) Z. B. in Poggendorff's biographisch-literarischem Handwörterbuch.

zu den Faden-, Draht- und Goldgittern der früheren Abhandlung noch Glasgitter von erstaunlicher Feinheit hinzutreten, sodann die Theorie der Gittererscheinungen weiter ausgeführt, und wichtige neue Untersuchungen und Beobachtungen mitgetheilt werden. Eine englische Uebersetzung erschien in dem Edinburgh Journal of Science Bd. VII (1827) und Bd. VIII (1828).

Nach den damals geltenden Bestimmungen wurden in den Denkschriften und den Vierteljahrs-Berichten der Akademie von den in den Sitzungen gehaltenen Vorträgen kurze Auszüge veröffentlicht, welche, obgleich sie von den Vortragenden in der dritten Person sprechen, doch, nach Ausweis der Sitzungsprotokolle, von diesen selbst verfasst wurden. Solche Auszüge sind die Nummern 7, 9, 11, 12, 14 unseres Inhaltsverzeichnisses. Sie wurden, als unzweifelhaft von Fraunhofer selbst herrührend, in diese Sammlung aufgenommen, um so mehr, als einige derselben („Ueber die Erfindung eines neuen Heliostats“ und „Ueber die Brechbarkeit des elektrischen Lichtes“) uns von Arbeiten Fraunhofers Kunde geben, welche in ausführlicherer Darstellung nicht veröffentlicht sind, während die übrigen allerdings nur über vorhandene Abhandlungen kurz berichten.

Zu den letzteren gehört die Notiz: „Ueber die Erfindung dreyer verschiedener astronomischer Mikrometer“, welche den Inhalt der nun folgenden: „Beschreibung eines neuen Mikrometers“ zusammenfasst. In's Englische übersetzt („Description of a new Mikrometer“) findet sich letztere im Philosoph. Mag. Bd. LXIII, 1824.

Rein praktischen Zielen ist der in Schumacher's astronomischen Nachrichten Bd. III erschienene Aufsatz: „Ueber das Reinigen achromatischer Objective, und das Wiederhineinmachen derselben in ihre Fassungen“ gewidmet.

In derselben Zeitschrift Bd. IV. berichtet Fraunhofer „Ueber die Construction des so eben vollendeten grossen Refractors“ in einer Abhandlung, welche englisch („On the Construction of the large Refracting Telescope just completed) auch im Philosophical Magazine, Bd. LXVI, 1825) erschien. Eine eingehendere Beschreibung des unvergleichlichen Instrumentes gibt Struve in seiner „Nachricht von der Ankunft und Aufstellung des Refractors von Fraunhofer auf der Sternwarte der Kaiserlichen Universität zu Dorpat“ (Astron. Nachr. Bd. IV), und in einer eigenen

Schrift: „Beschreibung des auf der Sternwarte zu Dorpat befindlichen Refractors von Fraunhofer“ (Dorpat, 1825).

Den Schluss von Fraunhofer's Schriften bildet die wichtige Abhandlung: „Theorie der Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene mit Versuchen zur Bestätigung derselben“, von deren reichem Inhalt der ihr vorangestellte in der Classensitzung vom 15. Jan. 1825 vorgetragene Auszug eine gedrängte Uebersicht gibt. Die Abhandlung selbst erschien im dritten Heft von Schumacher's astronomischen Abhandlungen (1825).

Im zweiten Heft derselben Sammlung waren zwei Jahre vorher (1823) auch die oben bereits erwähnten französischen Uebersetzungen der beiden Hauptwerke Fraunhofer's erschienen. Schumacher bemerkt darüber im Vorwort zu diesem Hefte: „Die folgenden Aufsätze des Herrn Fraunhofers sind von ihm selbst aus seinen deutschen Abhandlungen übersetzt, um sie denen, die sich im Auslande für die Verbesserung der achromatischen Fernröhre interessiren, zugänglicher zu machen.“ Da hienach auch diese Uebersetzungen als von Fraunhofer selbst herrührend anzusehen sind[1]), so erschien es gerechtfertigt, sie der vorliegenden Ausgabe seiner gesammelten Schriften als Anhang beizugeben, zumal dadurch die in obigen Worten ausgedrückte Absicht des Autors auch hier Erfüllung findet. Dem Inhalte nach decken sich die Uebersetzungen mit den deutschen Originalen, ausgenommen, dass in der Abhandlung „Nouvelle modification etc.“ die von Fraunhofer später angenommene zweckmässigere Benennungsweise für die verschiedenen Arten der Beugungsspectra zuerst durchgeführt erscheint (Vergl. S. 118 Anm. 1.).

---

1) Ein zureichender Grund, die so bestimmt ausgesprochene Angabe Schumacher's, dass Fraunhofer seine Abhandlungen selbst in's Französische übersetzt habe, in Zweifel zu ziehen, liegt meines Erachtens nicht vor. Fraunhofer selbst hat sich über diesen Punkt direct nicht ausgesprochen; er citirt aber die französischen Uebersetzungen in den Schriften: „Kurzer Bericht etc.“ und „Theorie der Höfe etc.“ stets auf gleicher Linie mit den deutschen Originalen (z. B. in der letzteren Abhandlung S. 203 mit den Worten: „Die Versuche, welche von mir im 8. Bande der Denkschriften der k. b. Akademie und im 2. Hefte von Schumacher's astronomischen Abhandlungen beschrieben sind“). In dem Bericht über die Arbeiten der Akademie vom November 1823 bis Januar 1824 (Denkschriften Bd. IX S. 27) findet man nach den Worten: „Ausserdem wurden von den Mitgliedern der Akademie in dieser Periode erst vollendet oder wenigstens erst dem Druck übergeben, und in Umlauf gesetzt“ die beiden französischen Abhandlungen als Arbeiten Fraunhofer's ebenso gut aufgeführt wie seine Briefe an Schumacher.

Die zu den Abhandlungen gehörigen von Fraunhofer selbst gezeichneten Tafeln sind auf photographischem Wege nachgebildet. Unter denselben zeichnen sich besonders aus die beiden von ihm eigenhändig gestochenen Kupfertafeln, auf welchen das prismatische Sonnenspectrum und die Beugungsspectra dargestellt sind. Die zugehörigen Platten haben sich leider nicht mehr vorgefunden; sie wurden daher durch das Obernetter'sche Verfahren reproducirt, ohne dass jedoch die Schönheit der Originale völlig erreicht werden konnte.

Das beigegebene als Büste dargestellte Bildniss Fraunhofer's ist die aus der „Verlagsanstalt für Kunst und Wissenschaft" (vormals Friedrich Bruckmann) hervorgegangene getreue Nachbildung einer alten Lithographie, gezeichnet von Schreiner, wahrscheinlich nach der Todtenmaske, die auch Schwanthaler als Vorbild gedient hat zu der Büste, mit welcher Fraunhofer's Grabmal geschmückt ist.

München, im October 1888.

E. Lommel.

Inhalts-Verzeichniss.

Seite

Vorwort V

1. Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre 1
2. Versuche über die Ursachen des Anlaufens und Mattwerdens des Glases und die Mittel, denselben zuvorzukommen 33
3. Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben 51
4. Aus einem Briefe Fraunhofers vom 22. Julius 1822 an Schumacher 113
5. Auszug aus einem Schreiben Fraunhofers an Schumacher 114
6. Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben 117
7. Ueber die Erfindung dreyer verschiedener astronomischer Mikrometer 145
8. Beschreibung eines neuen Mikrometers 146
9. Ueber die Erfindung eines neuen Heliostat's 157
10. Ueber das Reinigen achromatischer Objective, und das Wiederhineinmachen derselben in ihre Fassungen 159
11. Ueber die Brechbarkeit des elektrischen Lichtes 163
12. Ueber die Construction eines grossen so eben vollendeten Refractors 165
13. Ueber die Construction des so eben vollendeten grossen Refractors 167
14. Ueber die Entstehung der Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene . . . 177
15. Theorie der Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene mit Versuchen zur Bestätigung derselben 181

Anhang.

Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques 235

Nouvelle modification de la lumière, par l'influence réciproque et la diffraction des rayons lumineux, avec l'examen des lois de cette modification 261

Bestimmung

des

Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten,

in

Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre.

Von

Joseph Fraunhofer
in Benedictbaiern.

(Denkschriften der k. Akad. d. Wiss. zu München, Bd. V. p. 193—226. 1817.)

Bestimmung

des

Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten,

in

Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre.

Von

Joseph Fraunhofer
in Benedictbaiern.

Bey Berechnung achromatischer Fernröhre setzt man die genaue Kenntniss des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens der Glasarten, die gebraucht werden, voraus. Die Mittel, welche man bisher zur Bestimmung desselben angewendet hat, geben Resultate, die unter sich oft sehr bedeutend abweichen; daher bey aller Genauigkeit, in Berechnung achromatischer Objektive, die Vollkommenheit derselben zweifelhaft ist, und zum Theile auch desswegen selten den Erwartungen ganz entspricht. Mehrjährige Erfahrungen in diesem Fache führten mich auf neue Methoden, das Brechungs- und Zerstreuungs-Vermögen zu finden, die ich hier, weil mehrere Gelehrte es wünschen, bekannt mache. Ich lasse diese Versuche in derselben Ordnung folgen, in welcher ich sie machte, und abzuändern für nöthig fand.

Ich suchte anfänglich die Grösse der Farbenzerstreuung einer Glasart aus der Grösse des prismatischen Farbenbildes, welches ein Prisma von bekannten Winkeln in einem verfinsterten Zimmer in bestimmter Entfernung gab. Auch der Exponent des Brechungsverhältnisses wurde daraus abgeleitet. Allein die Unbestimmtheit der Grenzen des Farbenbildes liess eine grosse Ungewissheit in der Genauigkeit der Resultate.

Zur Bestimmung des Verhältnisses der Farbenzerstreuung und Brechung in Flint- und Crownglas schliff ich aus diesen beyden Glasarten Prismen von kleinen entgegengesetzt brechenden Winkeln, die so lange geändert wurden, bis für den einen Fall die Farbenzerstreuung, für den andern die Brechung gehoben war; das Verhältniss der Winkel dieser Prismen war alsdann umgekehrt das der Farbenzerstreuung oder Brechung. Allein aus mehreren Paaren solcher Prismen von denselben Glasarten erhielt ich, besonders für das Verhältniss der Farbenzerstreuung, sehr verschiedene Resultate. Ich wählte desswegen zur Bestimmung der relativen Farbenzerstreuung grössere Prismen, mit grössern entgegengesetzt brechenden Winkeln. Das Prisma von Crownglas hatte 60 bis 70^0. Der Winkel eines der beyden Prismen wurde durch Schleifen so lange geändert, bis die Farbenzerstreuung ungefähr gehoben schien; genauer wurde sie alsdann durch Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles gehoben. Da bey Prismen von so grossen Winkeln, schon bey geringer Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles, das Licht von der zweyten brechenden Fläche zurückgeworfen wird, so wurden die beyden Flächen der Prismen, die einander entgegenstanden, und sich berührten, mit einer stark brechenden Flüssigkeit, z. B. mit Oele, bestrichen, wo das Licht fast unter allen Einfallswinkeln durchgelassen wurde. Um genau messen zu können, unter welchem Einfallswinkel die Farbenzerstreuung gehoben wird, wurden die beyden Prismen vor das Objektiv eines Theodolith-Fernrohres gebracht; sie lagen hier auf einer horizontalen Scheibe, die, da sie an einer stählernen Achse ist, um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. Die Hülse der Achse ist mit dem Fernrohre fest verbunden (Fig. 1). Es wurde so am Fernrohre durch die Prismen ein entfernter Gegenstand mit scharfen vertikal laufenden Grenzen besehen, und der Winkel der einfallenden Strahlen durch Verdrehen der Scheibe und Alhidade des Theodoliths so lange geändert, bis die Farbenzerstreuung am geringsten zu seyn schien; oder vielmehr, bis die scharfen vertikal laufenden Grenzen des Gegenstandes am deutlichsten gesehen wurden. Um den Einfallswinkel selbst messen zu können, war auf der Scheibe noch eine Regel aufgelegt, an der zwey stählerne Spitzen vorstehen, welche die erste Fläche der Prismen genau berührten. Auf der Regel ist in einiger Entfernung oberhalb ein Fernrohr fest, dessen Achse mit den zwey stählernen

Spitzen genau parallel läuft (Fig. 2). Das Fernrohr ist nur an beyden Enden an der Regel fest, so, dass das Licht zwischen dem Fernrohre und der Regel auf die Prismen fallen kann. Es ist folglich leicht, den Einfallswinkel am Theodolith genau zu messen. Aus diesen, den Winkeln der Prismen, die mit derselben Regel am Theodolith genau gemessen werden können, und den Exponenten der Brechungs-Verhältnisse wurde vermittelst einer sehr genauen Formel das Verhältniss der Farbenzerstreuung abgeleitet.

Bey einem und demselben Paare Prismen stimmen die Beobachtungen so gut überein, dass man bey einem Objektive, welches darnach berechnet würde, keine schädliche Abweichung zu fürchten hätte. Sucht man aber mit mehreren Paaren Prismen von denselben Glasarten und verschiedenen Winkeln die relative Farbenzerstreuung, so bekömmt man Unterschiede, die bey grössern Objektiven noch eine schädliche Abweichung verursachen könnten. Dieses gab Veranlassung zu folgenden Versuchen.

Besieht man durch zwey Prismen von Flint- und Crownglas, mit entgegengesetzt brechenden Winkeln, einen Gegenstand, so findet man ihn, besonders wenn mit einem Fernrohre durch die Prismen gesehen wird, nie ganz farbenlos. Die Farbenzerstreuung ist bey einem bestimmten Winkel der einfallenden Strahlen am kleinsten; wird dieser Winkel grösser oder kleiner, so wird in beyden Fällen die Farbenzerstreuung vermehrt. Wie bekannt, entsteht die noch übrig bleibende Zerstreuung dadurch, dass für die verschiednen farbigen Strahlen in den beyden Glasarten das Verhältniss der Zerstreuung nicht einerley ist. Wenn z. B. die Zerstreuung der rothen Strahlen im Crownglas zur Zerstreuung der rothen Strahlen im Flintglase sich verhält, wie 10 : 19, so können in eben diesen Glasarten die violeten Strahlen in dem Verhältnisse von 10 : 21 zerstreut werden. Desswegen kann die Farbenzerstreuung nicht vollkommen gehoben werden.

Es würde sehr vortheilhaft seyn, wenn man in jeder Glasart das Zerstreuungsvermögen für jede Farbe besonders finden könnte; allein da im Spektrum die verschiedenen Farben keine bestimmte Grenzen haben, so ist dieses unmittelbar aus dem Farbenbilde nicht abzuleiten; die Ungewissheit würde hier so gross seyn, dass die Versuche ohne Vortheile

blieben. Genauer würde dieses geschehen, wenn man gefärbte Gläser, oder gefärbte Flüssigkeiten fände, die nur einfaches farbiges Licht durchliessen, z. B. die eine nur blaues, die andere nur rothes Licht u. s. w.; allein ich war nicht so glücklich solche zu finden. Bey allen wurde das weisse Licht, das durch sie fuhr, noch in alle Farben zerlegt; nur war die Farbe, die das gefärbte Glas, oder die Flüssigkeit hatte, im Spektrum die lebhafteste. Auch die farbigen Flammen, die man durch Verbrennen von Alkohol, Schwefel u. s. w. erhält, geben, durch das Prisma gesehen, kein einfaches Licht, das ihrer Farbe entspricht; jedoch fand ich bey diesen, so wie auch mit Oel- und Talglichte und überhaupt mit dem Lichte des Feuers, im Farbenbilde zwischen der rothen und gelben Farbe einen hellen scharf begrenzten Streifen, der bey allen genau an demselben Orte ist, und in der Folge sehr nützlich wurde. Dieser helle Streif scheint durch Lichtstrahlen gebildet zu werden, die durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden, und folglich einfach sind. Auch in der grünen Farbe findet sich ein ähnlicher Streif, der jedoch nicht so scharf begrenzt und ungleich schwächer ist, so dass man ihn in einigen Fällen schwer erkennt; desswegen kann man von diesem keinen Gebrauch machen.

Um einfaches Licht von jeder Farbe zu erhalten, wählte ich folgende Vorrichtung. An einem Fensterladen, der nur eine schmale Oeffnung von 0,07 Zoll Breite, und $1^1/_2$ Zoll Höhe hat, steht ein Prisma A (Fig. 3) von Flintglas, dessen Winkel ungefähr 40^0 misst; 13 Fuss von demselben in BC stehen sechs Lampen, von welchen durch schmale Oeffnungen Licht auf das Prisma A fällt. Die Breite jeder Oeffnung ist 0,05 Zoll und ihre Entfernungen von einander 0,58 Zoll, die Höhe jeder Oeffnung ungefähr $1^1/_2$ Zoll. Das Licht, das von den Lampen auf das Prisma A fällt, wird von diesem gebrochen, in Farben zerlegt, und fährt durch die Oeffnung am Fensterladen. Von der Lampe C z. B. fahren die rothen Strahlen nach E, die violeten nach D. Von der Lampe B fahren die rothen Strahlen nach F, die violeten nach G u. s. w. An dem Fenster eines anderen Hauses, 692 Fuss von A entfernt, in einer Ebene mit BAC, steht das schon oben genannte Theodolith, vor dessen Fernrohre auf der horizontalen Scheibe das Prisma H steht, dessen Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögen gesucht werden soll. Von der Lampe C kann das

Prisma H nur die rothen Strahlen erhalten, weil die übrigen, z. B. die violeten, nach D fahren, und das Prisma nicht treffen. Von der Lampe B fallen nur die violeten Strahlen auf das Prisma H u. s. w. und so erhält dieses Prisma von jeder Lampe andere farbige Lichtstrahlen, die alle von einem Punkte ausfahren. Ist das Prisma H, oder die Oeffnung des Objektives nicht so breit, so werden einige farbige Strahlen, wie z. B. die zwischen den violeten und blauen, zwischen den blauen und grünen u. s. w. von keiner der sechs Lampen das Prisma H treffen, und also ganz fehlen. In diesem Falle wird durch das Prisma H am Fernrohre des Theodolith das Spektrum der durch die schmale Oeffnung bey A fahrenden Lichtstrahlen, wie in Fig. 4, gesehen; wo I violet, K blau, L grün u. s. w. ist, und folglich jede Farbe isolirt ist. Die Entfernungen ON, NM u. s. w. werden um so grösser seyn, je grösser, bey einerley Winkel des Prisma H, das Zerstreuungsvermögen des Glases ist. Da nicht nur diese Entfernungen, sondern auch der Winkel, den der einfallende Strahl mit einem der gebrochenen Strahlen macht, am Theodolith genau gemessen werden können, so kann mit dieser Vorrichtung in jedem brechenden Mittel das Brechungsvermögen für jeden farbigen Lichtstrahl bestimmt werden. $1\frac{1}{2}$ Fuss oberhalb des Prisma A ist im Fensterladen noch eine zweyte schmale Oeffnung, die mit der bey A genau in einer Vertikalen ist. Vor dieser obern Oeffnung steht eine Lampe, von der das Prisma H unmittelbar Licht erhält. Durch das Prisma H im Fernrohre des Theodoliths muss alsdann das Farbenbild, der von dieser Lampe kommenden Lichtstrahlen, unterhalb der farbigen Punkte, wie PRQ, gesehen werden. R ist der natürliche röthlichgelbe helle Streif, der in jedem Farbenbilde vom Lichte des Feuers gesehen wird. Dieser Streif musste hier dazu dienen, um versichert zu seyn, dass man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer genau dieselbe Farbe habe; was nicht ist, wenn der Tisch, worauf die Lampen stehen, in Bezug auf das Prisma A im geringsten seine Stellung verändert. Es wird desswegen der Tisch so gestellt, dass der Punkt N immer in einer Vertikalen von R ist; ist er es nicht, so kann er mit Korrektionsschrauben bey B und C dahin gebracht werden. Da die Entfernungen der Lampen unter sich, oder vielmehr die Entfernungen der schmalen Oeffnungen durch welche ihr Licht auf das Prisma A fährt, unveränderlich sind; so ist

man versichert, dass man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer dieselbe Farbe habe.

Die Entfernungen einiger farbigen Punkte, wie der violeten, blauen und rothen, deren Licht sehr schwach ist, können ohne Erleuchtung des Mikrometer-Fadens nicht gemessen werden. Durch die gewöhnliche Erleuchtung des Gesichtsfeldes aber verlieren die farbigen Punkte so viel an Licht, als die Fäden gewinnen; wesswegen sie nicht angewendet werden kann. Bey dem Mikrometer, wie ich es am Theodolith angebracht habe, sind bloss die Fäden erleuchtet, und das ganze Gesichtsfeld ist schwarz. Sie können ohne Mühe in jedem Augenblicke stark und schwach erleuchtet werden. Die Beleuchtung geschieht an einer Seite des Okularrohres mit einer sehr kleinen Lampe, die in einer hohlen Kugel ist, von der Licht auf eine Linse fällt, die es parallel auf die Fäden bringt. Am Rande des besonders dazu eingerichteten Okulars wird das übrige Licht verschluckt, ohne dass es auf die Linse fällt.

Ich habe mit diesem Apparate die Winkel der Brechung der verschiedenen farbigen Strahlen für mehrere brechende Mittel gemessen, die ich hier in Tab. I folgen lasse. Bey allen ist der Winkel des einfallen-Strahles dem des gebrochenen Strahles N gleich. Jeder Winkel wurde durch viermalige Wiederholung erhalten. Da das Licht, das von A kömmt, nicht parallel auf das Prisma H fällt, oder vielmehr, da die Scheibe, auf welcher das Prisma H steht, nicht in der Achse des Theodoliths liegt, sondern die Mitte derselben 4,25 Zoll von dieser Achse entfernt ist; so musste der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht, eine kleine Korrektion erhalten. Die Entfernung von A nach H ist 692 Fuss, und folglich die Korrektion für das Prisma von Flintglas + 31″, für Crownglas + 40″, für Wasser + 40″ u. s. w.; die Bögen LM, NM u. s. w. bedurften dieser Korrektion nicht.

Ich setze hieher die aus diesen Winkeln berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen für Flintglas, Crownglas und Wasser, und nenne den Exponenten des Brechungsverhältnisses für den Strahl O, On; für den Strahl N, Nn u. s. w.

Brechende Mittel	Exponenten der Brechungs-Verhältnisse.					
	On	Nn	Mn	Ln	Kn	In
Flintglas Nr. 13	1,63074	1,63505	1,63933	1,64349	1,64775	1,65203
Crownglas Nr. 9	1,52736	1,52959	1,53173	1,53380	1,53586	1,53783
Wasser	1,33209	1,33359	1,33501	1,33635	1,33763	1,33888

Daraus folgt das Verhältniss der Zerstreuung der verschieden farbigen Strahlen in diesen brechenden Mitteln, wie ich es hier folgen lasse. Ich nenne die Exponenten der Brechungsverhältnisse der stärker zerstreuenden Mittel On', Nn' u. s. w.

Brechendes Mittel	Nn' — On' / Nn — On	Mn' — Nn' / Mn — Nn	Ln' — Mn' / Ln — Mn	Kn' — Ln' / Kn — Ln	In' — Kn' / In — Kn
Flintglas Nr. 13 und Crownglas Nr. 9	1,93	2,00	2,01	2,07	2,17
Flintglas Nr. 13 und Wasser	2,87	3,01	3,10	3,33	3,42
Crownglas Nr. 9 und Wasser	1,49	1,51	1,55	1,61	1,58

Aus diesen Versuchen fällt die grosse Verschiedenheit in dem Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen einiger brechenden Mittel sehr in die Augen.

Sehr auffallend ist bey diesen Versuchen auch der Einfluss der Wärme auf das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten. Bey allen wird schon bey geringer Wärme-Aenderung in dem untern Theile des prismatischen Gefässes das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten bedeutend stärker, als es in dem obern Theile desselben ist, und die ganze Flüssigkeit wird in dieser Beziehung auch wellenförmig, so, dass das Sehen durch dieselbe undeutlich wird. Da während der Nacht die Temperatur sich fast beständig ändert; so musste bey diesen Versuchen die Flüssigkeit alle 5 bis 10 Minuten stark geschüttelt werden, um sie wieder gleichförmig zu

machen. Beym Wasser sind diese Verschiedenheiten nicht sehr bedeutend; bey den übrigen Flüssigkeiten aber so gross, dass das ganze Farbenbild zerstreut, und undeutlich wird, es mag das Gefäss, wie immer, verschlossen, oder auch die Luft ganz ausgeschlossen seyn. Dieser Einfluss macht die Hoffnung verschwinden, ohne Flintglas, mit Flüssigkeiten von verschiedener Brechbarkeit, achromatische Objektive zu erhalten, die brauchbar sind. Man sieht aber auch, bloss von dieser Seite betrachtet, wie schwer es sey, Flint- und Crownglas von vollkommen gleicher Dichtigkeit zu schmelzen, da in jedem Glasofen in dem obern Theile des Hafens die Wärme fast um den dritten Theil grösser ist, als in dem untern.

Um die Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen noch genauer zu bestimmen, theils auch um zu erfahren, ob die Wirkung der brechenden Mittel auf das Sonnenlicht dieselbe sey, wie auf künstliches Licht, war ich bemüht, einen Apparat zu machen, der für Sonnenlicht dasselbe wäre, was der oben beschriebene für Lampenlicht ist; dieser wurde jedoch bald überflüssig.

In einem verfinsterten Zimmer liess ich durch eine schmale Oeffnung im Fensterladen, die ungefähr 15 Sekunden breit und 36 Minuten hoch war, auf ein Prisma von Flintglas, das auf dem oben beschriebenen Theodolith stand, Sonnenlicht fallen. Das Theodolith war 24 Fuss vom Fensterladen entfernt, und der Winkel des Prisma mass ungefähr 60^0. Das Prisma stand so vor dem Objektive des Theodolith-Fernrohres, dass der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen Strahles gleich war. Ich wollte suchen, ob im Farbenbilde von Sonnenlichte ein ähnlicher heller Streif zu sehen sey, wie im Farbenbilde vom Lampenlichte, und fand anstatt desselben mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien, die aber dunkler sind als der übrige Theil des Farbenbildes; einige scheinen fast ganz schwarz zu seyn. Wurde das Prisma so gedreht, dass der Einfallswinkel grösser wurde, so verschwanden diese Linien; sie wurden auch unsichtbar, wenn der Einfallswinkel kleiner wurde. Bey einem grössern Einfallswinkel wurden diese Linien wieder sichtbar, wenn das Fernrohr sehr bedeutend kürzer gemacht wurde. Bey einem kleinern Einfallswinkel musste das Okular sehr viel herausgezogen werden, um die Linien wieder zu sehen. Wenn das Okular so gestellt war, das man die Linien im rothen Theile des Farbenbildes deutlich sah, so musste es etwas

hineingeschoben werden, um die im violeten Theile deutlich zu sehen. Wurde die Oeffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter gemacht, so wurden die feinern Linien undeutlich, und verschwanden ganz, wenn diese Oeffnung ungefähr über 40 Sekunden breit war. Wurde die Oeffnung über eine Minute breit gemacht, so waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu erkennen. Die Entfernung der Linien von einander, und überhaupt ihr Verhältniss unter sich, blieb bey Veränderung der Oeffnung am Fensterladen gleich, so wie auch die Entfernung des Theodoliths von der Oeffnung am Fensterladen sie nicht änderte. Das Prisma mochte aus was immer für einem brechenden Mittel bestehen, und der Winkel desselben gross oder klein seyn, so waren diese Linien immer sichtbar, und nur im Verhältniss der Grösse des Farbenbildes stärker oder schwächer, und daher leichter oder schwerer zu erkennen.

Selbst das Verhältniss dieser Linien und Streifen unter sich schien bey allen brechenden Mitteln genau dasselbe zu seyn, so dass z. B. dieser Streif bey allen nur in der blauen Farbe, der andere bey allen nur in rothen sich findet; daher man leicht erkennt, mit welchen Streifen oder Linien man zu thun habe. Auch in dem auf gewöhnliche und ungewöhnliche Art gebrochenen Strahle im Isländischen Krystalle sind diese Linien zu erkennen. Die stärkern Linien machen keineswegs die Grenzen der verschiedenen Farben; es ist fast immer zu beyden Seiten einer Linie dieselbe Farbe, und der Uebergang von einer Farbe in die andere unmerklich.

In Bezug auf diese Linien wird das Farbenbild, wie in Fig. 5, gesehen; es ist jedoch fast nicht möglich, in diesem Maasstabe alle Linien und ihr Licht auszudrücken. Ungefähr bey A ist das rothe, bey I das violete Ende des Farbenbildes; eine bestimmte Grenze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bey Roth, als bey Violet. Ohne unmittelbares oder durch einen Spiegel reflektirtes Sonnenlicht scheint auf der einen Seite die Grenze ungefähr zwischen G und H zu fallen, auf der andern Seite in B zu seyn; doch mit Sonnenlichte von sehr grosser Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger. Um aber diese grössere Ausdehnung des Farbenbildes sehen zu können, muss das Licht von dem Raume zwischen C und G verhindert werden in das Auge zu kommen, weil der Eindruck, den das Licht von

den Grenzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In A ist eine scharf begrenzte Linie gut zu erkennen; doch ist hier nicht die Grenze der rothen Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg. Bey a sind mehrere Linien angehäuft, die gleichsam einen Streifen bilden. B ist scharf begrenzt und von merklicher Dicke. Im Raume von B nach C können 9 sehr feine, scharf begrenzte Linien gezählt werden. Die Linie C ist von beträchtlicher Stärke und so wie B sehr schwarz. Im Raume zwischen C und D zählt man ungefähr 30 sehr feine Linien; doch können diese, zwey ausgenommen, wie auch die zwischen B und C, nur mit starken Vergrösserungen oder stark zerstreuenden Prismen deutlich gesehen werden; sie sind übrigens sehr scharf begrenzt. D besteht aus zwey starken Linien, die nur durch eine helle Linie getrennt sind. Zwischen D und E zählt man ungefähr 84 Linien von verschiedener Stärke. E selbst besteht aus mehrern Linien, wovon die in der Mitte etwas stärker ist als die übrigen. Zwischen E und b sind ungefähr 24 Linien. Bey b sind 3 sehr starke Linien, wovon 2 nur durch eine schmale helle Linie getrennt sind; sie gehören zu den stärksten im Farbenbilde. Im Raume zwischen b und F zählt man ungefähr 52 Linien. F ist ziemlich stark. Zwischen F und G sind ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke. Bey G sind viele Linien angehäuft, worunter sich mehrere durch ihre Stärke auszeichnen. Im Raume von G nach H zählt man ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke. Die zwey Streifen bey H sind am sonderbarsten; sie sind beyde fast ganz gleich, und bestehen aus vielen Linien; in ihrer Mitte ist eine starke Linie, die sehr schwarz ist. Von H nach I sind die Linien gleich zahlreich. Es können demnach bloss im Raume zwischen B und H ungefähr 574 Linien gezählt werden, wovon jedoch nur die stärkern in der Zeichnung angedeutet sind. Die Entfernungen der stärksten Linien von einander wurden mit dem Theodolith gemessen, und in der Zeichnung ohngefähr nach diesem Verhältnisse aufgetragen; die schwachen Linien aber wurden bloss nach der Ansicht des Farbenbildes ohne genaues Maass gezeichnet.

Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, dass diese Linien und Streifen in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und dass sie nicht durch Beugung, Täuchung u. s. w. entstehen. Lässt

man das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Oeffnung am Fensterladen einfallen, so findet man keine dieser Linien, sondern nur die helle Linie R (Fig. 4), die aber mit der Linie D (Fig. 5) genau an einem Orte ist, so dass der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl D mit dem Exponenten für den Strahl R einerley ist. Warum die Linien undeutlich werden, oder gar verschwinden, wenn die Oeffnung am Fenster zu breit wird, ist nicht schwer einzusehen. Die stärkeren Linien haben ungefähr 5 bis 10 Sekunden Breite; ist die Oeffnung am Fensterladen nicht so schmal, dass das Licht, welches durch sie fährt, gleichsam nur für einen Strahl anzusehen ist, oder beträgt die Breite der Oeffnung, im Winkel, bedeutend mehr, als die Breite der Linie: so fällt das Bild einer und derselben Linie mehrmal neben einander hin, und wird folglich undeutlich, oder verschwindet bey zu grosser Breite der Oeffnung ganz. Warum beym Verdrehen der Prismen die Linien und Streifen nicht gesehen werden, ohne das Fernrohr länger oder kürzer zu machen, wird aus Folgendem klar.

Nur wenn die Strahlen auf ein Prisma so fallen, dass der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen gleich ist, fahren sie, in Hinsicht auf Divergenz, so aus, wie sie auffallen; ist der Winkel der auffallenden Strahlen grösser, so divergiren sie nach der Brechung durch das Prisma von einem weiter entlegenen Punkte her; ist er kleiner, so divergiren sie von einem näher gelegenem Punkte her. Die Ursache ist, dass die Strahlen, die näher an der Spitze des Prisma durchgehen, einen kürzern Weg durch dasselbe zu machen haben, als die von der Spitze entfernter durchgehen. Diess ändert zwar die Winkel der gebrochenen Strahlen nicht, aber die Seiten des Dreyeckes für die ausfahrenden Strahlen werden in dem einen Falle grösser, in dem andern kleiner. Dieser Unterschied muss verschwinden, wenn die Strahlen parallel auf das Prisma fallen, welches auch der Erfahrung gemäss ist. Da die violeten Strahlen durch das Objektiv des Theodolith-Fernrohres eine kürzere Vereinigungs-Weite haben, als die rothen, so ist klar, warum man das Okular verrücken müsse, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen.

Da die Linien und Streifen im Farbenbilde nur eine sehr geringe Breite haben, so ist klar, dass der Apparat grosse Vollkommenheit haben

müsse, um allen Abweichungen zu entgehen, welche die Linien undeutlich machen, oder ganz zerstreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müssen daher sehr gut plan seyn. Das Glas, welches zu solchen Prismen gebraucht wird, muss ganz frey von Wellen und Streifen seyn; daher mit englischem Flintglase, das nie ganz frey von Streifen ist, nur die stärkern Linien gesehen werden. Auch das gemeine Tafel- und englische Crownglas enthält sehr viele Streifen, wenn sie auch für das freye Auge nicht sichtbar sind. Wer nicht im Besitze eines Prisma von vollkommenem Flintglase ist, wählt besser eine stark zerstreuende Flüssigkeit, z. B. Anisöl, um alle Linien zu sehen; doch muss das prismatische Gefäss sehr vollkommen plane und parallele Seitenflächen haben. Bey allen Prismen müssen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 90^0 machen; die Grundfläche muss horizontal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Achse des Fernrohres horizontal läuft. Die schmale Oeffnung, durch welche das Licht einfällt, muss genau vertikal stehen u. s. w. Die Ursache, warum Undeutlichkeit entsteht, wenn eins oder das andere vernachlässigt wird, ist leicht einzusehen.

Da durch jedes brechende Mittel von gleicher Dichtigkeit die Linien und Streifen im Farbenbilde gesehen werden, so habe ich mich derselben bedient, um für jeden farbigen Strahl das Brechungsvermögen eines Mittels zu bestimmen, und weil der grösste Theil der Linien sehr scharf begrenzt ist, so konnte dieses mit grosser Genauigkeit geschehen. Da bey brechenden Mitteln, die nur wenig zerstreuen, oder bey Prismen mit kleinen Winkeln, die feinen Linien selbst mit starken Vergrösserungen nur schwer zu erkennen sind, so wählte ich für alle brechende Mittel die stärkern Linien zu diesen Versuchen; ich nahm nämlich die Linien B, C, D, E, F, G und H, die bey b wählte ich nicht, weil sie zu nahe bey F ist, und ich mehr in die Mitte zwischen D und F zu kommen suchte. Da das Okular verrückt werden muss, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen, so können keine grosse Bögen, wie BH, gemessen werden, sondern nur kleine, wie BC, CD u. s. w. Die folgende Tabelle (Tab. II) enthält diese gemessene Bögen und Winkel für verschiedene Glasarten und einige andere brechende Mittel.

Zum Messen der Winkel wurde das schon mehrmal genannte repetirende Theodolith gebraucht, und alle Winkel durch sechsmalige Wieder-

holung erhalten. Da in dem verfinsterten Zimmer das Theodolith nur 24 Fuss von dem Fensterladen entfernt seyn konnte, durch welchen das Licht einfiel, so hätte die Korrektion die, wegen der Entfernung des Prisma von der Achse des Theodoliths, nämlich 4,25 Zoll, an dem Winkel μ gemacht werden muss, sehr gross werden müssen. Um der Unsicherheit, die mit einer grossen Korrektion verbunden ist, zu entgehen, bestimmte ich den Winkel μ für Lampenlicht, weil, wie schon oben gesagt worden, der Strahl D und der Strahl R, Fig. 4, genau gleich stark gebrochen werden. Die Lampe war in diesem Falle 692 Fuss entfernt, und die Korrektion von μ wurde dadurch nur klein; für Wasser z. B. betrug sie bey dem gebrauchten Prisma nur 40,5 Sekunden. Im verfinstersten Zimmer wurden daher nur die Bögen BC, CD, DE u. s. w. gemessen, und für diese sind die Korrektionen nicht gross, also sehr zuverlässig; bey dem Wasserprisma z. B. betragen sie nur für BC, 2,5; für CD, 6,5; für DE, 8 Sekunden. Alle Winkel der Tabelle II enthalten diese Korrektionen.

Zur Berechnung der Exponenten der Brechungsverhältnisse ist, wenn σ der Winkel des einfallenden Strahles, ϱ der Winkel des gebrochenen oder ausfahrenden, ψ der Winkel des Prisma und n der Exponent des Brechungsverhältnisses genannt wird:

$$n = \frac{V\,[(\sin.\,\varrho + \cos.\,\psi.\,\sin.\,\sigma)^2 + (\sin.\,\psi.\,\sin.\,\sigma)^2]}{\sin.\,\psi}\,*).$$

Ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen gleich, und wird der Winkel, den in diesem Falle der einfallende Strahl mit dem gebrochenen macht, μ genannt, so ist:

$$n = \frac{\sin.\,\frac{1}{2}\,(\mu + \psi)}{\sin.\,\frac{1}{2}\,\psi}.$$

Da der Winkel des einfallenden Strahles nur einem der gebrochenen Strahlen, z. B. D, gleich seyn kann, für die übrigen aber bey unverrücktem Prisma es nicht ist, so wäre dieser letztere Ausdruck von n

*) Die Entstehung dieser Formel wird klar, wenn man den Weg des Lichtes durch ein Prisma zeichnet; — sie ist ganz genau.

bey stark zerstreuenden Mitteln für einen andern Strahl z. B. H nicht ganz genau. Um diesen kurzen Ausdruck bey Berechnung der Exponenten doch mit grösster Genauigkeit anwenden zu können, so wurden die Bögen BC, CD, DE u. s. w. in dem Falle gemessen, wenn die Entfernung der zwey Linien von einander am kleinsten war. Diese Entfernung haben im Farbenbilde zwey Linien alsdann, wann ein in der Mitte zwischen ihnen liegender Strahl mit dem einfallenden Strahle den kleinsten Winkel macht. Wurde z. B. der Bogen GH gemessen, so war das Prisma so gestellt, dass ein ungefähr in der Mitte zwischen GH liegender Strahl mit dem Prisma denselben Winkel machte, den der einfallende Strahl mit dem Prisma machte. Diese Stellung hat das Prisma dann, wann der Winkel der Brechung dieses mittleren Strahles am kleinsten ist, was am Fernrohre sehr genau beobachtet werden kann, und durch Verdrehen der Scheibe, worauf das Prisma liegt, schnell dahin zu bringen ist. Bey wenig zerstreuenden Mitteln, oder Prismen mit kleinen Winkeln bedarf es dieser Sorgfalt nicht, um die nöthige Genauigkeit zu erreichen.

Wird der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl E, En genannt, so ist

$$\mathrm{En} = \frac{\sin.\frac{1}{2}(\mu + \psi + \mathrm{DE})}{\sin.\frac{1}{2}\psi}$$

und für F

$$\mathrm{Fn} = \frac{\sin.\frac{1}{2}(\mu + \psi + \mathrm{DE} + \mathrm{EF})}{\sin.\frac{1}{2}\psi},$$

was so gut als ganz genau ist.

Tabelle III enthält die aus Tabelle II berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse für die verschiedenen farbigen Strahlen jedes brechenden Mittels.

Tab. IV enthält die aus Tab. III folgenden Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen in mehrern Paaren brechender Mittel. Bey jedem Paare ist die Zerstreuung des weniger zerstreuenden Mittels 1 genannt. Man sieht aus dieser Tabelle, wie gross bey einigen Paaren brechender Mittel der Unterschied der relativen Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen ist; so verhält sich, z. B. bey Flintglas Nr. 13 und Wasser, die Zerstreuung der Strahlen vom Raume BC, wie

1:2,56 und die vom Raume GH, wie 1:3,73. Bey einigen, wie bey Flintglas und Terpenthinöl, sind aber auch diese Unterschiede verhältnissmässig sehr gering. Man hat daher gegründete Hoffnung, durch Veränderung der Bestandtheile der Glasarten solche erhalten zu können, bey welchen diese Unterschiede geringer sind, als bey Glasarten, die bisher zu Objektiven gebraucht wurden. Crownglas Lit. M ist einer der Versuche, die ich in dieser Absicht im Kleinen gemacht habe.

Wird die Abweichung, die wegen der Unterschiede der relativen Zerstreuung der verschiedenen Farben bey einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 3 entsteht, 1,00 genannt, so ist diese Abweichung bey einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 13 von derselben Brennweite ungefähr 0,57; bey einem Objektive aus Crownglas Lit. M und Flintglas Nr. 13, 0,52; und bey einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Crownglas Lit. M, 1,74. Bey Berechnung dieser Abweichungen ist auf die Intensität der verschiedenen Farben Rücksicht genommen, worüber unten mehr vorkommen wird.

Aus den erhaltenen Resultaten mit beyden Prismen von Flintglas Nr. 23 lässt sich sehr sicher darauf schliessen, wie weit alle gemessene Bögen und Winkel zuverlässig sind. Bey dem Prisma von 45^0 dieses Glases ändert ein Unterschied von 2'' im Bogen den Exponenten des Brechungsverhältnisses in der fünften Dezimalstelle um 1. Bey dem Prisma von 60^0 bringen 3,''5 diese Veränderung hervor.

Da bey achromatischen Objektiven, wenn die Farbenzerstreuung gehoben seyn soll, sich die Brennweiten der Linsen ungefähr verhalten müssen, wie die Farbenzerstreuung der beyden Glasarten, das Verhältniss der Zerstreuung für die verschiedenen Farben aber ungleich ist, so ist klar, dass eine Abweichung übrig bleiben müsse, und es entseht daher die Frage, welches Verhältniss zu nehmen sey, damit diese Abweichung dem deutlichen Sehen so wenig als möglich schade. Dass dieses nicht in dem Falle geschehe, wenn die Längenabweichung so klein als möglich ist, wird bald klar, wenn man erwägt, dass die verschiedenen Farben nicht einerley Intensität haben, und dass z. B. die Abweichung der gelben Strahlen, die sehr hell sind, ungefähr im Verhältnisse ihrer Intensität mehr schaden werden, als die violeten bey gleicher Längenabweichung. Es folgt daraus, dass es nöthig sey, die Intensität jeder Farbe im Spek-

trum zu kennen, oder zu wissen, in welchem Verhältnisse der Eindruck, den irgend eine Farbe im Spektrum auf das Auge macht, stärker oder schwächer sey, als der einer andern Farbe. Um dieses zu finden, wählte ich folgende Vorrichtung.

In einem eigens zu dem Theodolithfernrohre gemachten Okulare ist an dem Orte, wohin das durch das Objektiv gemachte Bild fällt, vor der Okularlinse, unter 45^0, ein kleiner Planspiegel a (Fig. 7 und 8) von Metall gestellt, dessen einer Rand sehr scharf begrenzt ist, und das Gesichtsfeld in der Mitte durchschneidet. Dieser Rand läuft vertikal, und das Okular ist auf ihn so gestellt, dass man ihn ganz deutlich sieht. An der Seite des Okularrohres, vertikal auf dem scharfen Rande des Spiegels und der Achse des Fernrohres, ist ein der Länge nach durchschnittenes Rohr angeschraubt, in dessen Einschnitt ein engeres kurzes Rohr, welches das weitere quer durchschneidet und vertikal steht, gegeschoben werden kann. In diesem engen Rohre b ist in der Achse des weitern eine kleine Flamme, der, durch eine Verbindung mit einem Oelgefässe von Aussen, Oel zufliessen kann. Das vertikal stehende enge Rohr b hat in der Achse des weitern gegen den Spiegel eine kleine runde Oeffnung, durch die von der Flamme Licht auf den Spiegel fallen kann. Man sieht demnach durch das Okular im halben Gesichtsfelde den durch die Flamme beleuchteten Spiegel, während durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes eine der Farben im Spektrum gesehen wird. Der Spiegel wird um so stärker beleuchtet seyn, je näher das Rohr b bey demselben ist. Man kann ihn demnach gerade so beleuchten, dass der Eindruck, welchen dessen Licht, durch das Okular gesehen, auf das Auge macht, eben so stark ist, als der Eindruck einer durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes gesehenen Farbe im Spektrum. Die Quadrate der Entfernungen der Flamme vom Spiegel, bey den verschiedenen Farben im Spektrum, sind alsdann umgekehrt die Verhältnisse der Intensität derselben. Es scheint anfänglich etwas schwer, Licht von zwey verschiedenen Farben unter sich zu vergleichen; doch einige Uebung erleichtert es ungemein. Das Licht des Spiegels kömmt, in Hinsicht seiner Intensität, dem einer Farbe im Spektrum alsdann am nächsten, wann der scharfe Rand desselben, bey unverrücktem Okulare, am wenigsten deutlich erkannt wird. Kömmt man mit dem Spiegel im Farbenbilde an einen mehr oder

weniger hellen Ort, so wird in beyden Fällen der Rand des Spiegels deutlicher erkannt, weil dadurch in dem einen Falle der Spiegel, in dem andern die Farbe des Spektrums gleichsam im Schatten zu liegen scheint. Wenn die Linien und Streifen im Farbenbilde deutlich gesehen werden, so ist die Vergleichung mit dem Spiegel etwas schwer und unsicher, weil die hellern und dunklern Streifen fast in jeder Farbe neben einander liegen; es wurde desswegen die Oeffnung am Fensterladen so breit gemacht, dass nur die stärkern Linien undeutlich erkannt wurden, und man folglich die feinern nicht sah. Statt des Spiegels ausserhalb des Fensterladens, durch welchen das Licht einfiel, war nur eine weisse, ebene Fläche angebracht, die von der Sonne beleuchtet wurde; weil eine Unvollkommenheit des Spiegels das Licht unregelmässig zerstreut, was die Bestimmung erschwert.

Um die Versuche abzuändern, habe ich die runde Oeffnung vor der Flamme ein Mal grösser, das andere Mal kleiner gemacht. Ich stellte auch an das Ende des weitern Rohres in c ein auf einer Seite rauh geschliffenes Glas, durch welches erst der Spiegel beleuchtet wurde. In diesem Falle wurden die Entfernungen der Flamme von dem rauhen Glase an gemessen. Um allen Täuschungen zu entgehen, muss die Einsicht am Okulare nur klein seyn, und muss an dem Orte stehen, wo die Hauptstrahlen die Achse schneiden. Mit dem Prisma vom Flintglase Nr. 13, dessen Winkel 26^0 24,'5 misst, erhielt ich die Resultate, die ich hier folgen lasse. Ob schon die Versuche nur bey sehr hellem Himmel und am Mittage gemacht wurden, so war doch einigemal eine Veränderung in der Dichtigkeit des auf das Prisma fallenden Lichtes während der ganzen Zeit der Beobachtung wahrzunehmen. Ein Theil der Unterschiede in den vier Versuchen kann von diesen Veränderungen herrühren; auch die Flamme kann innerhalb der Zeit des ganzen Versuchs ihre Helligkeit verändert haben. Die Nachtheile dieser Veränderungen werden sich durch öftere Wiederholung der Versuche vermindern. Ich nenne die Intensität des Lichtes am hellsten Orte 1, alsdann ist sie:

1ter Versuch.

Bey B = 0,010
- C = 0,048
- D = 0,61
Zwischen D und E = 1,00
- E = 0,44
- F = 0,084
- G = 0,010
- H = 0,0011.

2ter Versuch.

Bey B = 0,044
- C = 0,096
- D = 0,59
Zwischen D und E = 1,00
- E = 0,38
- F = 0,14
- G = 0,029
- H = 0,0072.

3ter Versuch.

Bey B = 0,053
- C = 0,15
- D = 0,72
Zwischen D und E = 1,00
- E = 0,61
- F = 0,25
- G = 0,053
- H = 0,0090.

4ter Versuch.

Bey B = 0,020
- C = 0,084
- D = 0,62
Zwischen D und E = 1,00
- E = 0,49
- F = 0,19
- G = 0,032
- H = 0,0050.

Mittel aus den vier Versuchen.

Bey B = 0,032
- C = 0,094
- D = 0,64
Zwischen D und E = 1,00
- E = 0,48
- F = 0,17
- G = 0,031
- H = 0,0056.

Der helleste Ort liegt ungefähr $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ DE von D nach E. Genau ist die Lage dieses Ortes nicht anzugeben, was aber auch zu dieser Absicht eben nicht nothwendig ist.

Durch die Curve Fig. 6 wird die Intensität des Lichts der verschiedenen Farben dargestellt; die eben gefundenen Werthe sind die Ordinaten und die gemessenen Bögen BC, CD u. s. w., für Flintglas Nr. 13 aus Tabelle II, die Abscissen. Das Verhältniss der Abscissen zu den Ordinaten ist willkürlich. Man kann annehmen, dass durch die Flächenräume BC, CD u. s. w., der Curve, die Menge des Lichtes in den verschiedenen Räumen dargestellt werde. Nennt man die Menge des Lichtes in dem Raume DE = 1, so ist sie:

im	Raume	BC = 0,021
-	-	CD = 0,299
-	-	DE = 1,000
-	-	EF = 0,328
-	-	FG = 0,185
-	-	GH = 0,035

Nimmt man an, dass bey einem achromatischen Objektive die Abweichung der dichtern Strahlen dem deutlichen Sehen im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit mehr schade, als weniger dichte, so wird die Deutlichkeit alsdann am grössten seyn, wann das Verhältniss der Zerstreuung, das 1 : x heissen mag, so genommen wird, dass

$$x = \frac{b\beta + c\nu + d\delta + e\varepsilon + f\xi + g\eta}{\beta + \nu + \delta + \varepsilon + \xi + \eta} \text{ *)},$$

wo β, ν, δ u. s. w. die Menge des Lichtes in den Räumen BC, CD, DE u. s. w. bedeutet, und durch b, c, d u. s. w. die Quotienten $\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$, $\frac{Dn' - Bn'}{Dn - Bn}$ u. s. w. ausgedrückt werden. Für Flintglas Nr. 30, und Crownglas Nr. 13 ist demnach dieses Verhältniss, wie 1 : 2,012. Ich habe aber gefunden, dass bey Objektiven von diesen beyden Glasarten das Sehen alsdann am deutlichsten ist, wann dieses Verhältniss, wie 1 : 1,98 genommen wird; was beweist, dass die weniger dichten Strahlen etwas

*) Es ist nämlich in diesem Falle:
$(x - b)\beta + (x - c)\nu + (x - d)\delta + (x - e)\varepsilon + (x - f)\xi + (x - g)\eta = o.$

mehr, als im umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtigkeit abweichen müssen, wenn die Deutlichkeit am grössten seyn soll.

Bey welchen, aus mehrern, Objektiven von denselben Glasarten, bey gleicher Brennweite und Oeffnung, die Farbenzerstreuung am besten gehoben ist, erkennt man, wenn man jedes Objektiv halb, die Mitte durchschneidend, zudeckt; bey denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenstandes, die mit der Durchschnittslinie des Objektivs parallel laufen, am deutlichsten gesehen werden, ist die Farbenzerstreuung am vollkommensten gehoben. Man darf sich aber dabey von den Farben, die gesehen werden, nicht irre führen lassen, und muss nur auf Präcision sehen; weil man bey einem Objektive weniger Farben sehen kann, als bey einem andern, während die Präcision doch geringer ist. Diese umständliche Ableitung des besten Zerstreuungsverhältnisses musste nur dazu dienen, zu erfahren, wie sehr Strahlen von geringer Dichtigkeit stärker abweichen dürfen, als dichtere. Das erhaltene Resultat wird noch einer grossen Vervollkommnung fähig seyn, wenn es aus grössern Objektiven abgeleitet wird, bey welchen auch die Oeffnung, im Verhältnisse zur Brennweite, so gross als möglich ist. Ich behalte mir diese Verbesserung bevor. Dass bey allen zu dieser Absicht gebrauchten Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form gleich vollkommen gehoben war, ist zu erinnern überflüssig. Bey genauer Ableitung des besten Zerstreuungs-Verhältnisses aus Objektiven muss noch auf eine Abweichung Rücksicht genommen werden, die im Auge selbst vorgeht, von der ich jetzt spreche.

Wenn man im Gesichtsfelde des Fernrohrs am Theodolith die rothe Farbe des Spektrums hat, und das Okular so gestellt ist, dass man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, und man bringt alsdann die blaue Farbe des Spektrums in das Gesichtsfeld, so sieht man bey unverrücktem Okulare den Mikrometerfaden nicht mehr. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muss das Okular bedeutend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Okularlinse. Dieses beweist, dass die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerley Vereinigungsweite haben, und dass das Auge nicht achromatisch ist. Das Maass, um wie viel bey den verschiedenen Farben das Okular verrückt werden müsse, um den Faden deutlich zu sehen, dient, wenn man noch auf die Farben-

zerstreuung der Okularlinse Rücksicht nimmt, zur Berechnung dieser Abweichung, die nicht unbedeutend ist. Dass bey dieser Bestimmung kein anders Licht, als das des Spektrums in das Gesichtsfeld kommen dürfe, auch der Faden ganz unbeleuchtet von anderm Lichte seyn müsse, ist zu erinnern überflüssig. Mit einer Okularlinse aus Crownglas Nr. 13 von 0,''88 Brennweite fand ich, dass, wenn man mit dem Faden von dem Strahle C auf den Strahl G geht, das Okular um 0,''054 Pariser Maass verrückt werden müsse, um den Faden mit beyden Strahlen gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Crownglas Nr. 13 von 1,''33 Brennweite muss bey denselben beyden Strahlen um 0,''111 verrückt werden, um den Faden gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Flintglas Nr. 30 von 0,''867 Brennweite muss in demselben Falle um 0,''074 verrückt werden, und eine Linse aus Flintglas Nr. 30, von 1,''338 Brennweite, um 0,''148. Während ich bey diesen Versuchen mit dem einen Auge durch die Okularlinse nach dem Faden sah, sah ich mit dem andern Auge nach einem in der Achse desselben gelegenen unveränderlichen Gegenstande, damit ich versichert seyn möge, dass das Auge bey den verschiedenen farbigen Strahlen immer gleich geeignet bleibe, weisse Strahlen von bestimmter Divergenz auf der Netzhaut zu vereinigen, und es sich folglich in dieser Beziehung bey den verschiedenen Farben nicht ändere. Auch wenn ich diese Vorsicht nicht brauchte, wichen die Resultate von den vorigen nicht merklich ab. Aus der ersten Linse erhält man, dass, wenn die rothen Strahlen C parallel auf das Auge fallen, die blauen G von einem 23,''7 entlegenen Punkte her divergiren müssen, um im Auge einerley Vereinigungsweite zu haben. Aus der zweyten Linse erhält man dieses Maass 21,''3; aus der dritten 19,''5; aus der vierten 17,''9. Auf den Antheil, den die Zerstreuung der Linsen am obigen Verrücken hat, ist bey dieser Berechnung Rücksicht genommen. Durch Wiederholung und Abänderung der Versuche wird diese Abweichung erst genauer bestimmt werden müssen. Es wäre zu wünschen, dass die Versuche durch Augen verschiedener Personen wiederholt würden, um, wenn sich Unterschiede finden, ein Mittel daraus nehmen zu können. Es ist klar, dass es allerdings der Mühe werth sey, bey Berechnung achromatischer Objektive, auch auf die Farbenzerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objektive zu vernichten.

Wenn bey achromatischen Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben seyn soll, so müssen, bey Berechnung derselben, die angenommenen Exponenten der Brechungsverhältnisse der mittlern Strahlen in beyden Glasarten für einen und denselben farbigen Strahl gehören; gehören sie für zwey verschiedene Strahlen, so ist, der genauesten Rechnung ungeachtet, diese Abweichung nur unvollkommen gehoben. Da man sich durch die Entdeckung der Linien im Farbenbilde hiervon vollkommen versichern kann so ist der Nutzen der Linien, auch zur Vernichtung dieser Abweichung, von Bedeutung.

Vor Entdeckung der Linien im Farbenbilde überzeugte ich mich von dem gleichen Brechungsvermögen zweyer Stücke Glases dadurch, dass ich von beyden Stücken, zusammengeküttet, ein Prisma schliff; erschienen die beyden Spektra, die durch dieses Prisma gesehen wurden, an einem Orte und gegen einander nicht verrückt, so schloss ich, dass das Brechungsvermögen beyder Stücke gleich sey. Nach Entdeckung der Linien im Farbenbilde aber fand ich, dass zwey solche Stücke noch sehr verschiedenes Brechungsvermögen haben können, ohne dass es auf obige Art bemerkbar wird. Nicht nur Stücke aus verschiedenen Orten eines Schmelzhafens waren in ihrem Brechungsvermögen merklich verschieden, sondern auch in zwey Stücken von einer Scheibe fand ich vielmal noch sehr kenntliche Unterschiede. Ich habe es jetzt durch viele Versuche dahin gebracht, dass aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas selbst zwey Stücke, wovon eines vom Boden, das andere von der Oberfläche des Hafens genommen ist, gleiches Brechungsvermögen haben.

Beym Anblicke der vielen Linien und Streifen im Farbenbilde vom Sonnenlichte enthält man sich vielleicht schwer der Vermuthung, dass die Beugung des Lichtes an den schmalen Oeffnungen des Fensterladens mit diesen Linien in Verbindung seyn könnte; ob schon die angegebenen Versuche nicht im geringsten darauf hinweisen, sondern es vielmehr gänzlich verneinen. Theils um in dieser Hinsicht ganz gewiss zu seyn, theils auch um noch einige andere Erfahrungen zu machen, änderte ich die Versuche noch auf folgende Art ab.

Lässt man durch eine kleine r u n d e Oeffnung am Fensterladen, deren Durchmesser ungefähr nur 15 Sekunden beträgt, Sonnenlicht auf ein Prisma fallen, das vor dem Theodolithfernrohre liegt, so ist klar, dass

das Farbenbild, welches durch das Fernrohr gesehen wird, nur unmerkliche Breite haben könne, also nur eine Linie bilde; in einer farbigen Linie aber können keine feine Querlinien gesehen werden. Um in diesem Farbenbilde die vielen Linien sehen zu können, käme es nur darauf an, durch das Objektiv das Farbenbild breiter zu machen, ohne es in seiner Länge im geringsten zu verändern. Dieses brachte ich dadurch zu Stande, dass ich an das Objektiv noch ein Glas legte, das auf einer Seite sehr gut plan, auf der andern nach einem Zylinder von sehr grossem Durchmesser gekrümmt war. Die Achse des Zylinders lief mit der Grundfläche des Prisma genau parallel; folglich konnte das Farbenbild in seiner Länge nicht geändert werden, und wurde nur breiter gemacht. In diesem Falle erkannte ich im Farbenbilde wieder alle Linien unverändert, so wie sie gesehen werden, wenn das Licht durch eine lange schmale Oeffnung einfällt.

Dieselbe Vorrichtung habe ich dazu angewendet, zur Nachtzeit unmittelbar nach der Venus zu sehen, ohne das Licht durch eine kleine Oeffnung einfallen zu lassen, und ich fand auch im Farbenbilde von diesem Lichte die Linien, wie sie im Sonnenlichte gesehen werden. Da aber das Licht der Venus, im Vergleiche mit dem von einem Spiegel reflektirten Sonnenlichte, nur sehr geringe Dichtigkeit hat, so ist die Intensität der violeten und äussern rothen Strahlen sehr schwach, und desswegen werden in diesen beyden Farben selbst die stärkern Linien schwer erkannt; in den übrigen Farben aber sind sie sehr gut zu sehen. Ich habe die Linien D, E, b F (Fig. 5) ganz begrenzt gesehen, und erkannte selbst, dass die bey b aus zwey, nämlich einer schwächern und einer stärkern, bestehe; dass aber die stärkere selbst wieder aus zweyen bestehe, konnte ich aus Mangel des Lichtes nicht erkennen. Aus demselben Grunde wurden die übrigen feinern Linien nicht bestimmt gesehen. Ich habe mich durch ungefähres Messen der Bögen DE und EF überzeugt, dass das Licht der Venus in dieser Beziehung von einerley Natur mit dem Sonnenlichte sey.

Ich habe auch mit derselben Vorrichtung Versuche mit dem Lichte einiger Fixsterne erster Grösse gemacht. Da aber das Licht dieser Sterne noch vielmal schwächer ist, als das der Venus, so ist natürlich

auch die Helligkeit des Farbenbildes vielmal geringer. Demohngeachtet habe ich, ohne Täuschung, im Farbenbilde vom Lichte des Sirius drey breite Streifen gesehen, die mit jenen vom Sonnenlichte keine Aehnlichkeit zu haben scheinen; einer dieser Streifen ist im Grünen, und zwey im Blauen. Auch im Farbenbilde vom Lichte anderer Fixsterne erster Grösse erkennt man Streifen; doch scheinen diese Sterne, in Beziehung auf die Streifen, unter sich verschieden zu seyn. Da das Objektiv, das an dem Theodolithfernrohre ist, nur 13 Linien Oeffnung hat, so ist klar, dass diese Versuche noch mit vielmal grösserer Vollkommenheit gemacht werden können. Ich werde sie mit zweckmässigen Veränderungen und mit einem grössern Objektive noch einigemal wiederholen, um vielleicht einem geübten Naturforscher zur Fortsetzung dieser Versuche Veranlassung zu geben; was um so mehr zu wünschen wäre, da sie zugleich zur genauesten Vergleichung der Brechbarkeit des Lichtes der Fixsterne mit der des Lichtes der Sonne dienen.

Das Licht der Elektrizität, ist in Hinsicht der Streifen und Linien des Farbenbildes, sowohl vom Sonnenlichte, als auch vom Lichte des Feuers, sehr auffallend verschieden. Man findet im Farbenbilde von diesem Lichte mehrere, zum Theil sehr helle Linien, worunter eine im Grünen gegen den übrigen Theil des Spektrums fast glänzend hell ist. Eine andere nicht ganz so helle Linie ist im Orange; sie scheint dieselbe Farbe zu haben, wie die helle Linie im Farbenbilde vom Lampenlichte, misst man aber den Winkel der Brechung, so findet man, dass ihr Licht bedeutend stärker gebrochen ist, ungefähr so wie die gelben Strahlen beym Lampenlichte. Gegen das Ende des Farbenbildes im Rothen bemerkt man eine Linie, die nicht sehr hell ist; ihr Licht wird, so weit ich mich bis jetzt davon versichern konnte, eben so stark gebrochen, wie das der hellen Linie vom Lampenlichte. In dem übrigen Theile des Farbenbildes kann man noch 4 helle Linien sehr leicht erkennen*).

*) Um das elektrische Licht zu diesem Behufe zu fixiren, habe ich zwey Conductoren, wovon der eine mit einer Elektrisirmaschine und der andere mit einer Ableitung verbunden war, bis auf einen halben Zoll einander genähert und mit einem sehr feinen Glasfaden verbunden. Das Licht schien dann continuirlich an dem Faden überzugehen und der Faden bildete eine feine leuchtende Linie.

Lässt man Lampenlicht durch eine sehr schmale Oeffnung, von 15 bis 30 Sekunden Breite, auf ein stark zerstreuendes Prisma fallen, das vor einem Fernrohre liegt, so erkennt man, dass die röthlicht gelbe helle Linie dieses Spektrums aus zwey sehr feinen hellen Linien besteht, die in Stärke und Entfernung den beyden dunklen Linien D (Fig. 5) ähnlich sind. Sowohl wenn die Oeffnung, durch welche das Lampenlicht fährt, schmal, als wenn sie breit ist, wird, wenn man die Spitze der Flamme und das untere blaue Ende derselben zudeckt, also nur den hellsten Theil der Flamme frey lässt, die röthlicht gelbe Linie des Farbenbildes nicht sehr hell gesehen, und daher schwerer erkannt. Es scheint demnach diese Linie hauptsächlich von dem Lichte der beyden Enden der Flamme, besonders von dem untern, gebildet zu werden.

Im Farbenbilde von dem Lichte, welches durch Verbrennen von Wasserstoffgas, auch in dem, welches durch Verbrennen von Alkohol entsteht, ist die röthlicht gelbe Linie im Verhältnisse zu dem übrigen Theile des Farbenbildes sehr hell. Beym Verbrennen von Schwefel wird sie nur sehr schwer erkannt.

Ich werde diejenigen Versuche, die auf Vervollkommnung achromatischer Fernröhre Bezug haben, mit einem neuen Instrumente, mit dem ich wenigstens noch doppelt so grosse Genauigkeit zu erhalten hoffe, wiederholen. Ich werde mit diesem Instrumente auch neue Versuche machen können, wozu das bisher gebrauchte nicht geeignet ist, die vielleicht für praktische Optik von Interesse werden könnten.

Bey allen meinen Versuchen durfte ich, aus Mangel der Zeit, hauptsächlich nur auf das Rücksicht nehmen, was auf praktische Optik Bezug zu haben schien, und das Uebrige entweder gar nicht berühren, oder nicht weit verfolgen. Da der hier mit physisch-optischen Versuchen eingeschlagene Weg zu interessanten Resultaten führen zu können scheint, so wäre sehr zu wünschen, dass ihm geübte Naturforscher Aufmerksamkeit schenken möchten.

Tabelle I.

Brechendes Mittel	Temperatur Reaumur.	Spezifisches Gewicht.	Winkel des Prisma.	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht.	ON	NM	NL	NK	NI
Crownglas Nr. 9	3°	2,535	39° 20′ 35″	22° 38′ 20″	6′ 1″	5′ 46″	11′ 22″	16′ 56″	22′ 16″
Flintglas Nr. 13	5½°	3,723	26° 24′ 30″	17° 27′ 9″	7′ 17″	7′ 15″	14′ 18″	21′ 31″	28′ 46″
Wasser	8°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 41″	6′ 35″	6′ 19″	12′ 9″	17′ 45′	23′ 18″
Wasser	9¼°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 43″	6′ 30″	6′ 12″	12′ 5″	17′ 43″	23′ 10″
Schwefel-Säure	9½°	1,841	58° 5′ 40″	29° 27′ 47″	7′ 50″	7′ 15″	14′ 3″	20′ 30″	26′ 45″
Alkohol	9°	0,809	58° 5′ 40″	25° 8′ 32″	6′ 35″	6′ 17″	12′ 55″	18′ 45″	
Schwefel-Aether	9°		58° 5′ 40″	24° 38′ 39″	6′ 20″	6′ 27″	12′ 55″	19′ 10″	
Terpenthinöl	7°	0,885	58° 5′ 40″	33° 22′ 8″	11′ 00″	11′ 35″	22′ 45″	34′ 20″	
Kali in Wasser aufgelöst	8½°	1,416	58° 5′ 40″	27° 45′ 54″	8′ 32″	7′ 58″	15′ 35″	23′ 6″	30′ 24″
1 Theil essigsaures Bley 3 Theile Wasser	8½°		58° 5′ 40″	24° 34′ 49″	7′ 54″	7′ 31″	14′ 47″	21′ 40″	28′ 22″
Terpenthinöl	8½°	0,885	58° 5′ 40″	33° 20′ 8″	11′ 5″	11′ 32″	22′ 45″	33′ 56″	44′ 50″

Tabelle II.

Brechendes Mittel.	Temperatur Reaumur.	Spezifisches Gewicht.	Winkel des Prisma.	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle D macht. μ	BC	CD	DE	EF	FG	GH
Flintglas Nr. 13	15°	3,723	26° 24′ 30″	17° 27′ 8″	3′ 16″	9′ 4,″2	11′ 50″	10′ 33,″9	20′ 23,″9	18′ 18″
Crownglas Nr. 9	14°	2,535	39° 20′ 35″	22° 38′ 19″	2′ 44,″5	7′ 23,″5	9′ 14″	8′ 14″	15′ 10″	13′ 18″
Wasser	15°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 40″	3′ 24″	8′ 10″	9′ 58″	8′ 38″	15′ 16″	12′ 41,″9
Wasser	15°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 40″	3′ 12,″4	8′ 10,″6	9′ 57,″5	8′ 30,″5	15′ 15,″6	12′ 46,″2
Eine Auflösung von Kali im Wasser	9°	1,416	58° 5′ 40″	27° 45′ 56″	4′ 2″	10′ 26″	12′ 54″	11′ 12″	20′ 36″	17′ 24″
Terpenthinöl	8½°	0,885	58° 5′ 40″	33° 20′ 12″	4′ 56″	13′ 52″	18′ 46,″1	16′ 14″	31′ 8″	27′ 28″
Flintglas Nr. 3		3,512	27° 41′ 35″	17° 35′ 16,″6	3′ 8″	8′ 22″	10′ 46″	9′ 50″	19′ 10″	17′ 10″
Flintglas Nr. 30		3,695	21° 42′ 15″	14° 3′ 9″	2′ 35,″6	6′ 56,″8	9′ 12,″6	8′ 19″	16′ 15,″6	14′ 32,″2
Crownglas Nr. 13		2,535	43° 27′ 36″	25° 26′ 35,″4	3′ 5″	8′ 14,″4	10′ 28,″2	9′ 10″	17′ 14,″8	14′ 48,″4
Crownglas Lit. M		2,756	42° 56′ 40″	26° 39′ 13″	3′ 32,″8	9′ 37,″6	12′ 29,″8	11′ 1,″6	20′ 53,″6	18′ 17,″4
Flintglas Nr. 23		3,724	60° 15′ 42″	49° 55′ 13,″2	11′ 12,″6	31′ 14,″8	41′ 21,″4	38′ 14,″8	1° 14′ 45″2	1° 8′ 3,″6
Flintglas Nr. 23		3,724	45° 23′ 14″	32° 45′ 12,″2	6′ 26″	17′ 47,″8	23′ 31,″8	21′ 23,″8	41′ 33,″4	37′ 28,″8

Tabelle III.

Brechendes Mittel	Bn	Cn	Dn	En	Fn	Gn	Hn
Flintglas Nr. 13	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas Nr. 9	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Wasser	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Wasser	1,330977	1,331709	1,333577	1,335849	1,337788	1,341261	1,344162
Kali	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpenthinöl	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas Nr. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas Nr. 30	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas Nr. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684
Crownglas Lit. M	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas Nr. 23 Prisma von 60°	1,626596	1,628469	1,633667	1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
Flintglas Nr. 23 Prisma von 45°	1,626564	1,628451	1,633666	1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

Tabelle IV.

Brechende Mittel	$\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$	$\frac{Dn' - Cn'}{Dn - Cn}$	$\frac{En' - Dn'}{En - Dn}$	$\frac{Fn' - En'}{Fn - En}$	$\frac{Gn' - Fn'}{Gn - Fn}$	$\frac{Hn' - Gn'}{Hn - Gn}$
Flintglas Nr. 13 und Wasser	2,562	2,871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flintglas Nr. 13 und Crownglas Nr. 9	1,900	1,956	2,044	2,047	2,145	2,195
Crownglas Nr. 9 und Wasser	1,349	1,468	1,503	1,560	1,613	1,697
Terpenthinöl und Wasser	1,371	1,557	1,723	1,732	1,860	1,963
Flintglas Nr. 13 und Terpenthinöl	1,868	1,844	1,783	1,843	1,861	1,899
Flintglas Nr. 13 und Kali	2,181	2,338	2,472	2,545	2,674	2,844
Kali und Wasser	1,175	1,228	1,243	1,254	1,294	1,310
Terpenthinöl und Kali	1,167	1,268	1,386	1,381	1,437	1,498
Flintglas Nr. 3 und Crownglas Nr. 9	1,729	1,714	1,767	1,808	1,914	1,956
Crownglas Nr. 13 und Wasser	1,309	1,436	1,492	1,518	1,604	1,651
Crownglas Lit. M und Wasser	1,537	1,682	1,794	1,839	1,956	2,052
Crownglas Lit. M und Crownglas Nr. 13	1,174	1,171	1,202	1,211	1,220	1,243
Flintglas Nr. 13 und Crownglas Lit. M	1,667	1,704	1,715	1,737	1,770	1,816
Flintglas Nr. 3 und Crownglas Lit. M	1,517	1,494	1,482	1,534	1,579	1,618
Flintglas Nr. 30 und Crownglas Nr. 13	1,932	1,904	1,997	2,061	2,143	2,233
Flintglas Nr. 23 und Crownglas Nr. 13	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

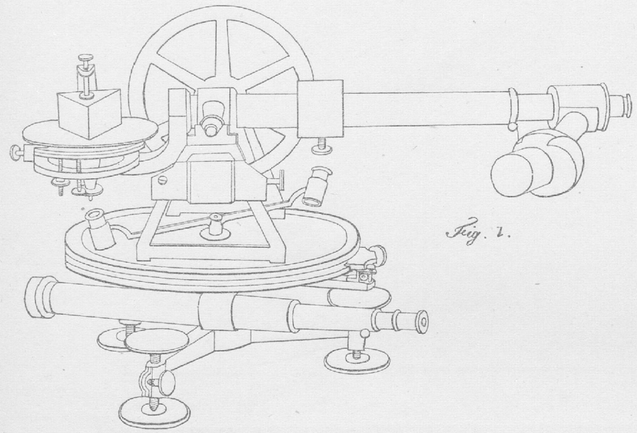


Fig. 1.

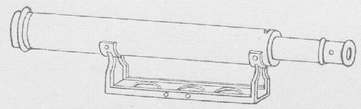


Fig. 2.

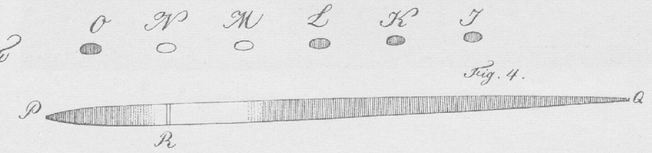


Fig. 4.

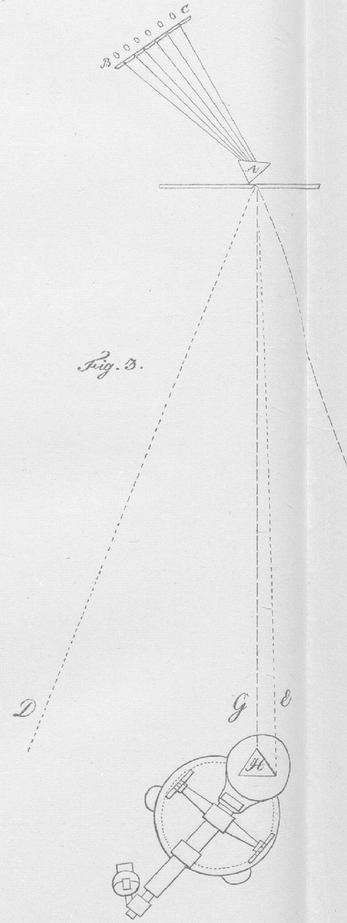


Fig. 3.

Fraunhofer gez.

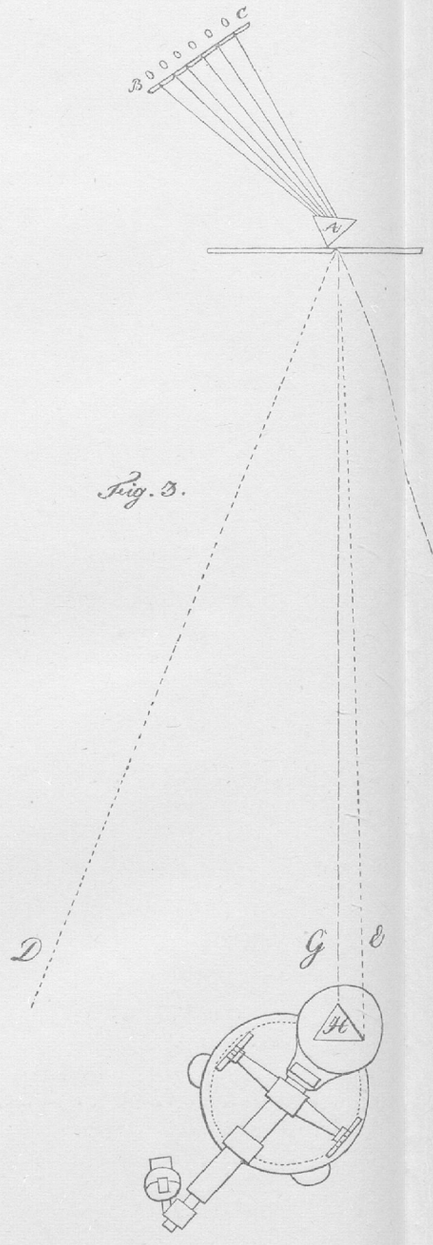


Fig. 3.

Fraunhofer gez.

Tab. I.

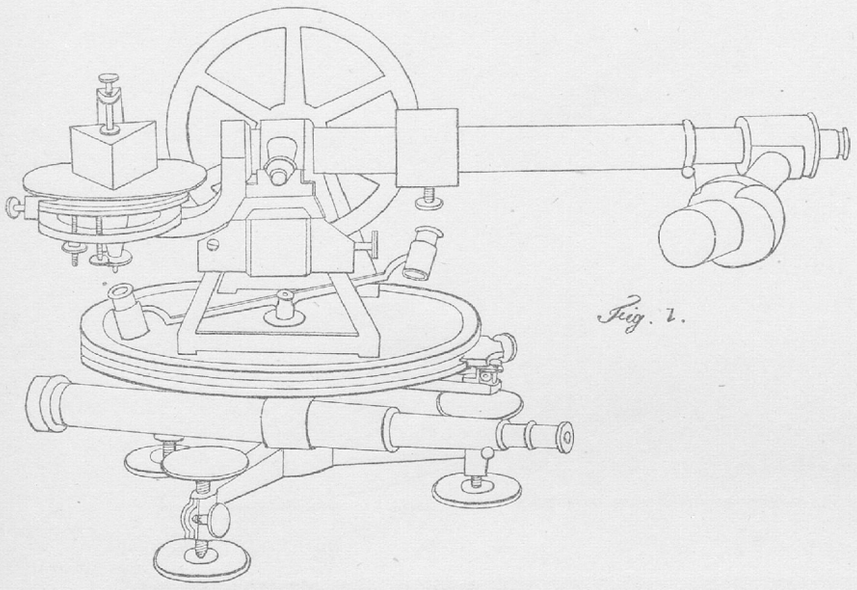


Fig. 1.

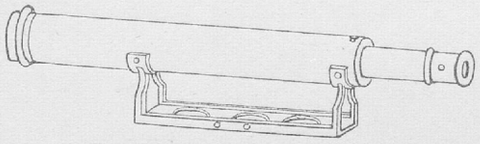


Fig. 2.

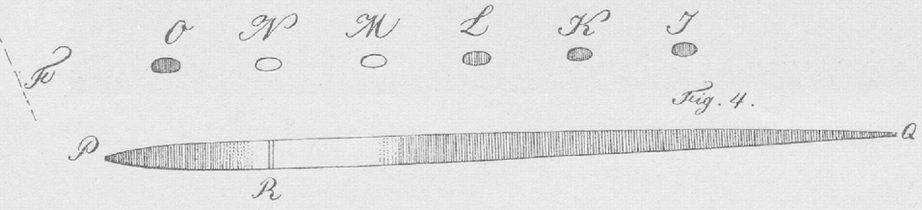
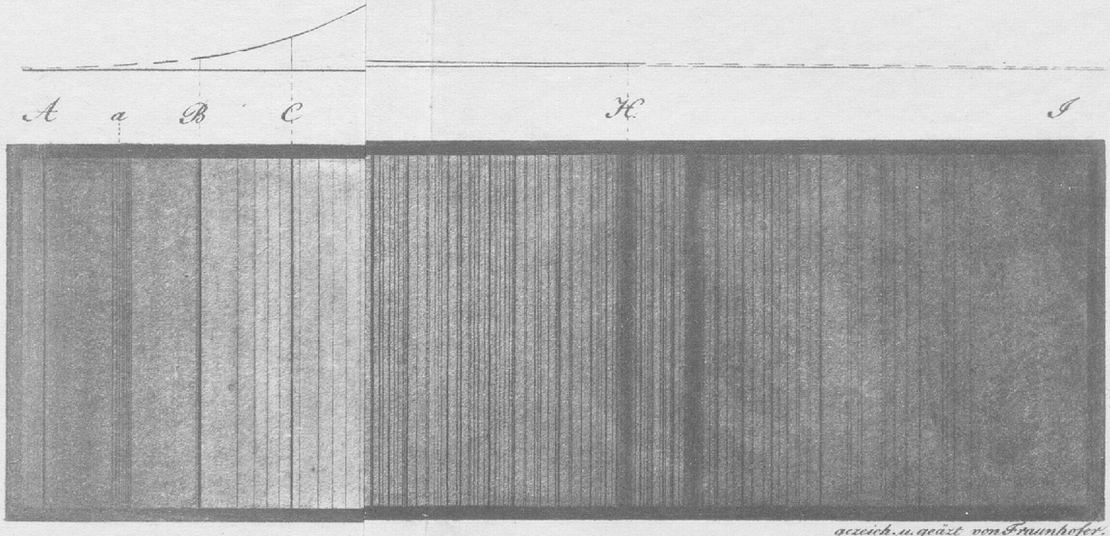


Fig. 4.

Tab. II.



gezeich. u. geätzt von Fraunhofer.

Roth

Tab. II.



Fig. 6.

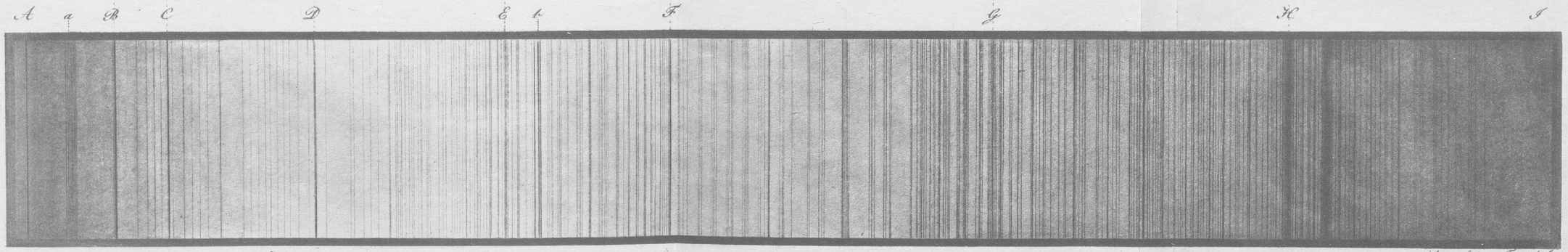


Fig. 5.

gezeich. u. geätzt von Fraunhofer.

Zu Fraunhofer's Abh. — Denkschr. 1814—15.

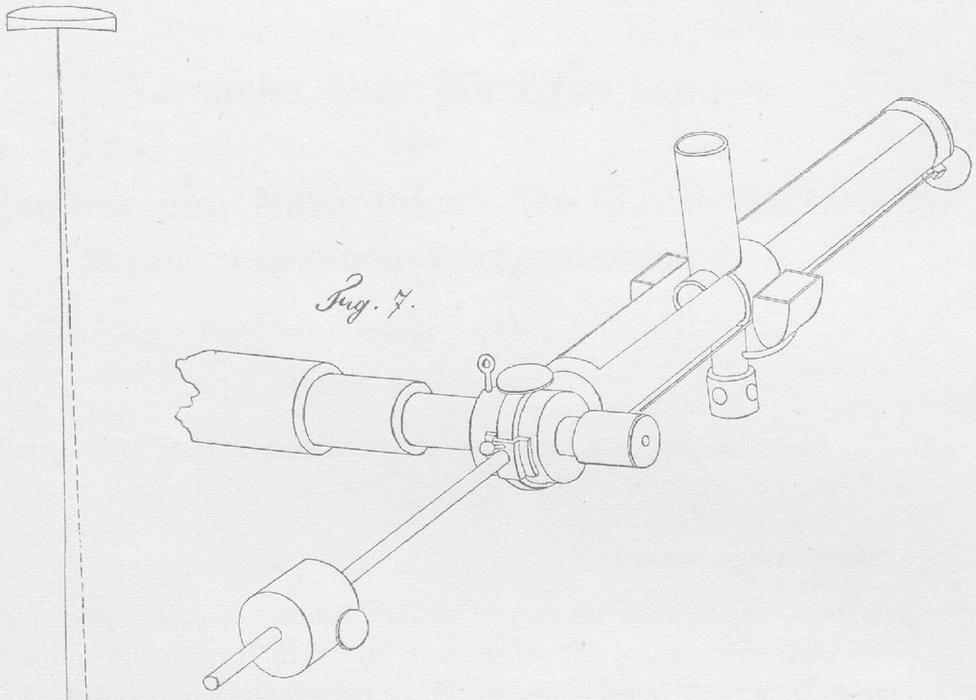


Fig. 7.

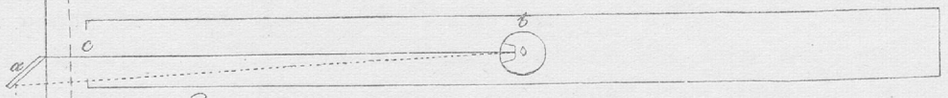


Fig 8.

Fraunhofer gez.

Versuche über die Ursachen

des

Anlaufens und Mattwerdens des Glases und die Mittel, denselben zuvorzukommen.

Von

Joseph Fraunhofer.

(1817, Anhang 1819, Bayer. Kunst- und Gewerbeblatt, Jahrg. 1866, Sp. 1—19.)

„La nature parle par les expériences.“

Unter allen Kunst- und Fabrikerzeugnissen sind wohl unstreitig wenige, deren Nutzen so allgemein und vielseitig ist, als der des Glases. Da das Anlaufen und Mattwerden eines grossen Theiles der verschiedenen Glasarten fast die einzigen Veränderungen sind, welche dieses Produkt durch die Zeit leidet; so können Versuche über die Ursachen dieser Veränderungen nützlich sein.

Man nennt das Glas, dessen Oberfläche durch die Zeit, oder durch irgend eine Einwirkung, von seinem Glanze verloren hat, oder auch auf den Flächen verschiedene Farben erhielt, ein angelaufenes Glas. Ist es schon in solchem Grade angelaufen, dass es seine Durchsichtigkeit verliert und matt wird, so nennt man es in Fabriken gewöhnlich ein abgestandenes Glas. Die Ursachen dieser Veränderung des Glases auf seinen Flächen, und die Mittel denselben zuvorzukommen, machen den Gegenstand dieser Versuche.

Schmelzt man, dem Gewichte nach, 4 Theile Kali mit 1 Theil Quarz in einem guten Tiegel zusammen, so erhält man eine glasartige Masse, die schon in kurzer Zeit aus der Luft Feuchtigkeit anzieht, allmählich zerfliesst, und sich auch in Wasser auflöst. Diese zerflossene Masse, oder

auch die Auflösung derselben in Wasser, ist die sogenannte Kieselfeuchtigkeit. Schmelzt man 1 Theil Quarz mit $1^1/_2$ oder 2 Theilen Kali zusammen, so erhält man ein vollkommeneres Glas, welches aber noch aus der Luft Feuchtigkeit anzieht, und allmählich zerfliesst; doch braucht dieses hiezu viel mehr Zeit als das erstere. Bei 1 Theil Quarz und 0,8 bis 0,9 Theilen Kali erhält man ein Glas, welches durch die Einwirkung der Luft nicht mehr zerfliesst, aber auf seinen Flächen nach einigen Tagen dem Luftwechsel ausgesetzt, noch etwas Feuchtigkeit anzieht, und ein feuchtes Häutchen bildet, welches etwas Aehnlichkeit damit hat, wie ein kaltes Glas von Wasserdünsten anläuft. Wischt man nach 15 oder 20 Tagen dieses Häutchen weg, so findet man, dass die Flächen von ihrem Glanze merklich verloren haben. Nach einigen Monaten werden die Flächen weniger durchsichtig, allmählich matt, und zersplittern sich. Bei einem Glase aus 1 Theil Quarz und 0,65 Theilen Kali bemerkt man dieses Feuchtwerden der Flächen, wenn es dem Luftwechsel ausgesetzt ist, erst nach einigen Monaten, und wenn man das feucht scheinende dünne Häutchen wegwischt, so bemerkt man nur sehr wenig, dass das Glas von seinem Glanze verloren hat.

Da Quarz und Kali die Hauptbestandtheile des Glases sind, so wird man durch die angeführten Versuche auf den Schluss geleitet, dass dasjenige Glas, welches im Verhältnisse zum Quarze am wenigsten Kali enthalte, auch am wenigsten anlaufe und matt werde, welches eine schon lange angenommene und in obigem Fall auch richtige Regel ist.

Wenn man Versuche anstellt, um das Maximum von Kali im Verhältnisse zum Quarze zu finden, bei welchem das Glas noch allen Einwirkungen widersteht, so findet man, dass es, noch ehevor man durch Verminderung des Kali an dieses Verhältniss gelangt, schon schwer von Luftblasen frei zu erhalten ist, und dass es auch im Flusse nicht mehr den niederen Grad von Consistenz hat, der es zum Blasen und Verarbeiten geeignet macht, sondern härter ist. Man mag vielleicht glauben, dass man nur nöthig habe, es bei einem höheren Grade der Wärme zu schmelzen, was durch eine Veränderung der Construction des Schmelzofens leicht zu erreichen wäre; allein die Schwierigkeiten beim Verarbeiten und bei Verminderung der Luftblasen bleiben auch in diesem Falle dieselben.

Da es demohngeachtet Glas gibt, welches fast unzählige Jahre lang den Einwirkungen der freien Luft widerstund, und doch beim Wiederschmelzen den zum Verarbeiten nöthigen niederen Grad von Consistenz hat, so muss man die Ursache in den übrigen Bestandtheilen suchen, welche ausser dem Quarz und Kali dem Glase noch zufällig oder absichtlich beigemischt sind. Diese Bestandtheile auf dem Wege der chemischen Analyse eines alten Glases zu suchen, könnte vielleicht zu unsicheren Resultaten führen; weil vieles, was beim Schmelzen beigemengt wird, sich vermindert, auch vieles verdampft oder verbrennt, was doch vielmal nicht ohne Wirkung ist.

Ehe ich die Versuche, welche ich hierüber gemacht habe, anführe, will ich noch die Mittel angeben, derer ich mich bedient habe, um auch in kurzer Zeit zu erfahren, ob das Glas den Einwirkungen der Luft widersteht. Wenn man ein, durch die Einwirkung der Luft nach langer Zeit matt gewordenes Glas auf einer Seite schleift, und so fein wie möglich polirt, dann einen Theil der polirten Fläche, z. B. die Hälfte, mit concentrirter Schwefelsäure oder Salpetersäure benetzt, und 24 Stunden lang auf diesen Theil der Fläche wirken lässt, so findet man nach dem Wegputzen der Säure, dass diejenige Hälfte der Fläche, auf welcher die Säure war, im Vergleich mit der anderen Hälfte ungleich weniger Licht reflectirt, d. h. dass sie weniger glänzt, ob sie schon nicht im Geringsten matt ist, und noch genau ebensoviel Licht durchlässt, wie die andere Hälfte, so dass man im Durchsehen keinen Unterschied erkennt. Der Unterschied in der Menge des reflectirten Lichts wird am Leichtesten entdeckt, wenn man das Licht ohngefähr vertikal auffallen lässt. Er ist übrigens um so grösser, je mehr das Glas zum Anlaufen und Mattwerden geeignet ist. Ist die Politur des Glases nicht sehr vollkommen, so sind auch diese Unterschiede weniger bemerkbar. Auf Glas, welches zum Anlaufen nicht geeignet ist, wirkt die Schwefelsäure und Salpetersäure nicht. Um auch bei demjenigen Glase, welches zum Anlaufen nur wenig geneigt ist, die Wirkung der Säure zu sehen, muss man es auf der Rückseite rauh schleifen, und daselbst schwarz machen, auf welche Art man es leichter entdeckt, wenn auf eine Hälfte der freien polirten Fläche die Säure auch nur wenig gewirkt hat. Einige Glasarten bekommen durch diese Behandlung mit Schwefel- oder Salpetersäure auf ihren

Flächen schöne lebhafte Farben, die sich, wie bei Seifenblasen, ändern, wenn man das Licht unter verschiedenen Winkeln auffallen lässt. Schwefelsäure ist der Salpetersäure vorzuziehen, weil letztere zu schnell verflüchtigt. Die concentrirte Schwefelsäure zieht bald Wasser aus der Luft an, und desswegen muss man sie einigemale erneuern; man lässt aber die alte Säure nur abfliessen, ohne sie ganz wegzuputzen, damit die neue eben dahin fliesst, wo die alte war, und der Uebergang vom mehr- zum weniger reflectirenden Theil scharf begränzt ist, was bei wenig anlaufendem Glas nothwendig ist.

Wenn man den Theil des polirten Glases, auf welchen man die Schwefelsäure wirken lassen will, in concentrirte Schwefelsäure selbst senkt, so ist die Wirkung langsamer, als bei blossem Benetzen mit Säure, und man muss dabei den anderen Theil, der seinen Glanz behalten soll, mit feinem Siegellack überziehen, welches aber bei sehr stark erwärmtem Glas aufgeschmolzen werden muss, weil es sich ohne dieses durch die Säure wieder los macht. Man kann bei gutem Siegellack auch das ganze Glas in Säure legen.

Bei Versuchen über diejenigen Bestandtheile des Glases, welche dasselbe gegen das Anlaufen schützen, wird man dahin geleitet, der reinen Kieselerde und dem reinen Kali dasjenige beizumengen, womit diese Materialien in den Glasfabriken gewöhnlich verunreinigt sind, und was ihnen oft auch noch eigens beigemengt wird. Dieses sind Kalkerde und Metalloxyde.

Der Quarz, den ich bei den folgenden Versuchen gebraucht habe, war sehr rein, und bestund fast blos aus Kieselerde.

Das Kali wurde aus der besseren Pottasche durch Krystallisation gewonnen. Die verschiedenen Versuche sind alle unter gleichen Umständen und bei einerlei Grad der Wärme des Ofens gemacht.

1) Zu leichtflüssigem weissen Glase nimmt man in vielen Glasfabriken auf 1,00 Theile Quarz, 0,65 Theile reine Pottasche. Schmelzt man in diesem Verhältnisse Quarz und Kali in einem gewöhnlichen Glasofen, in einem kleinen Tiegel, der ohngefähr 4 Pfund Glas hält, zusammen, so erhält man ein schönes Glas, auf dessen Flächen sich aber, wenn es dem Luftwechsel ausgesetzt ist, nach einigen Monaten ein feucht scheinendes dünnes Häutchen bildet, welches allmählich trüber wird. Wischt man

selbst nach einem Jahre das Häutchen weg, so hat das Glas nur sehr wenig von seinem Glanze verloren. Nach längerer Zeit zersplittern Stücke, die aus dem oberen Theile des Tiegels genommen sind, auf den Flächen, Stücke aus dem unteren Theile des Tiegels aber nicht. Wäscht man das nach einem Jahr entstandene Häutchen der Flächen mit einer sehr geringen Quantität destillirtem Wasser ab, so färbt dieses Wasser den Veilchensaft grün; auch das mit schwacher Säure rothgefärbte Lackmuspapier wird in demselben wieder blau; es enthält also Kali. Concentrirte Schwefelsäure vermindert den Glanz eines geschliffenen, fein polirten Stückes von diesem Glase sehr kenntlich.

2) 1,00 Theil Quarz, 0,68 Theile Kali und 0,10 reine Kalkerde (gebrannter Kalk) geben, in einem kleinen Tiegel geschmolzen, ein Glas, welches ebenso leichtflüssig ist wie das vorige, das aber, wenn es dem Luftwechsel ausgesetzt ist, ohngefähr nach einem Jahre erst ein schwaches, feucht scheinendes Häutchen auf den Flächen zeigt, und durch die Schwefelsäure nur noch kenntlich von seinem Glanze verliert.

3) 1 Theil Quarz, 0,71 Theile Kali und 0,20 Theile Kalkerde sind, in einem kleinen Tiegel geschmolzen, so leichtflüssig, wie die vorigen, und geben ein Glas, welches sowohl den Einwirkungen der Luft, als auch der Schwefelsäure widersteht. Schmelzt man in diesem Verhältniss der Bestandtheile eine grosse Quantität, z. B. 400 Pfund, so scheint das Glas etwas leichtflüssiger zu sein, verliert durch die Schwefelsäure von seinem Glanze, und in der freien Luft entsteht wieder allmählich ein schwaches, feucht scheinendes Häutchen. Auch bei No. 1 und 2 wirkt die Luft und Schwefelsäure ungleich schneller, wenn sie in grösseren Quantitäten geschmolzen werden. Beim Schmelzen in sehr kleinen Tiegeln ist es der umgekehrte Fall, so dass in einer sehr kleinen Quantität selbst No. 1 durch die Schwefelsäure nichts von seinem Glanze verliert.

4) 1,00 Th. Quarz, 0,72 Th. Kali, und 0,30 Th. Kalkerde geben, in grosser Quantität und in einem gewöhnlichen Glasofen geschmolzen, ein Glas, welches noch sehr leichtflüssig ist, und an welchem die Luft und die Schwefelsäure keine Veränderung hervorbringen.

5) 1,00 Th. Quarz, 0,65 Th. Kali und 0,05 Th. schwarzes Eisenoxyd sind leichtflüssiger als No. 1 und geben, in einem kleinen Tiegel geschmolzen, ein Glas, welches durch die Schwefelsäure nichts von seinem

Glanze verliert, und das selbst nach zwei Jahren auf seinen Flächen noch kein Häutchen hat. Die Farbe ist jedoch grün.

6) 1,00 Th. Quarz, 0,65 Th. Kali, 0,05 rothes Bleioxyd geben ein sehr schönes Glas, welches in einem kleinen Tiegel geschmolzen, leichtflüssiger ist, als No. 1, und weder durch die Schwefelsäure, noch durch die Luft von seinem Glanze verliert.

7) 1,00 Th. Quarz, 0.65 Th. Kali, 0,05 Th. gelbes Wismuthoxyd geben ein dem vorigen ähnliches Glas.

8) 1,00 Th. Quarz, 0,48 Th. rothes Bleioxyd, 0,34 Th. Kali, sind sehr leichtflüssig und geben ein Glas, welches, in kleinen Tiegeln geschmolzen, durch die Luft und Schwefelsäure nichts von seinem Glanze verliert. Es übertrifft im Glanze alle vorhergehenden.

9) 1,00 Th. Quarzsand, der von Natur etwas eisenhaltig ist, 0,65 Th. Kali, sind etwas leichtflüssiger als No. 1, und geben ein Glas, welches nicht so schnell, als das mit reinem Quarz geschmolzene durch die Luft und die Schwefelsäure anläuft, und etwas blaugrün ist.

10) 1,00 Th. Quarz, 0,65 Th. gemeine, stark geglühte Pottasche, sind nicht so leichtflüssig als No. 1, und dieses Glas wird auch nicht so schnell wie No. 1 durch Schwefelsäure in seinem Glanze verändert; auch ist es nicht ganz weiss.

11) Das aus den Bestandtheilen No. 1 erhaltene Glas, unter denselben Umständen zum zweiten Male geschmolzen, läuft nicht so schnell an.

Alle Versuche wurden unter gleichen Umständen gemacht, ausgenommen No. 8, welches in einem Ofen geschmolzen wurde, der geringere Wärme hatte, als der, worin die übrigen geschmolzen wurden. Bei allen wurde das Glas in dem Tiegel gelassen und so langsam erkaltet, dass es erst nach zehn Tagen die Temperatur der äusseren Luft hatte.

Die angeführten Versuche zeigen, dass der Zusatz von Kalkerde zu Quarz und Kali das Anlaufen des Glases vermindert, und im gehörigen Verhältnisse angewendet, selbst ganz verhindert, wobei das Glas im Flusse doch noch den zum Verarbeiten nöthigen niederen Grad von Consistenz hat; ferner, dass auch durch den Zusatz von Bleioxyd, Wismuthoxyd, oder Eisenoxyd das Anlaufen des Glases verhindert wird; dass das Glas durch zweimaliges Schmelzen in Bezug auf das Anlaufen verbessert wird; und dass die bei Versuchen mit kleinen Quantitäten gefundenen

Verhältnisse der Bestandtheile beim Schmelzen im Grossen geändert werden müssen.

In sehr vielen Glasfabriken, wo gemeines weisses Glas gemacht wird, bedient man sich der Kalkerde als Zusatz; doch an verschiedenen Orten auch in sehr verschiedenen Verhältnissen; woher es zum Theil auch kommen mag, dass aus verschiedenen Glasfabriken das Glas in Bezug auf das Anlaufen sehr verschieden ist. Das Bleioxyd wird in den Glasfabriken, wo das sogenannte Krystallglas gemacht wird, oft in sehr grossen Quantitäten, zur Vermehrung des Flusses und des Glanzes angewendet. In Glasfabriken, wo man grünes Glas macht, enthält fast immer der Quarzsand, welcher hiezu gebraucht wird, sehr viel Eisenoxyd; zu schwarzgrünem Glase wird vielmal noch Eisenoxyd beigemengt; auch enthält die gemeine Holzasche, welche hiezu gebraucht wird, sehr viel Kalkerde und etwas Eisenoxyd.

In Bezug auf diejenigen Bestandtheile des Glases, welche dasselbe gegen das Anlaufen und Mattwerden schützen, belehren die oben angeführten Versuche. Auch ausser den oben angegebenen hat noch vieles, z. B. die Behandlung des Glases beim Schmelzen etc. Einfluss auf das Anlaufen desselben. Im Folgenden führe ich aus mehrjährigen Erfahrungen, die ich bei Bereitung des Flint- und Crownglases im Grossen, und den Versuchen über diese Glasarten, gemacht habe, dasjenige an, was ausser dem Angeführten auf das Anlaufen des Glases Einfluss hat.

Eine Composition, die geeignet ist, ein Glas zu geben, welches durch die Luft und die Schwefelsäure in seinem Glanze verändert wird, gibt, wenn sie in einem hohen Grade der Wärme geschmolzen wird, ein Glas, welches stärker anläuft, als wenn man dieselbe Composition in einem weniger hohen Grade der Wärme schmelzt.

In sehr grosse Schmelzhäfen wird, bei gemeinem weissen Glas, von dem ganzen Gewicht der Composition, womit der Hafen voll wird, zuerst ohngefähr nur der vierte Theil eingelegt und vollkommen geschmolzen, ehevor wieder neuerdings Composition nachgelegt wird. Geschieht dieses Schmelzen der ersten Einlage bei einem niederen Grad der Wärme, so wird bei fortgesetztem Einlegen, wie hoch auch der Grad der Wärme nachher gebracht werden mag, das Glas nie ganz frei von kleinen Luftbläschen, und wird in diesem Falle ungleich weniger durch die Ein-

wirkungen der Luft und der Schwefelsäure in seinem Glanze verändert. Derselbe Fall ist es selbst bei grosser Wärme des Ofens, wenn die erste Einlage noch nicht vollkommen geschmolzen war, als man zum zweiten Male Composition in den Hafen legte. Eine Composition mit einem beträchtlichen Antheile Metalloxyde macht hievon eine Ausnahme.

Wird das Glas erkaltet oder verarbeitet, noch ehe es von Luftblasen frei ist, es mag auch bei sehr grosser Wärme geschmolzen worden sein, so läuft es weniger an, als ein Glas von derselben Composition, welches aber frei von Luftblasen ist. Glas, welches ganz frei von Wellen und Streifen ist, verliert durch die Luft und die Schwefelsäure ungleich schneller von seinem Glanze, als gewöhnliches streifiges oder welliges Glas aus denselben Bestandtheilen.

Schnell erkaltetes Glas verliert ungleich schwerer von seinem Glanze durch Einwirkung der Luft und der Schwefelsäure, als sehr langsam erkaltetes.

Selbst die Construktion des Schmelzofens hat einen sehr kenntlichen Einfluss auf das Anlaufen des Glases, welches in demselben geschmolzen wird, wenn schon die Wärme gleichen Grad zu haben scheint, und die Bestandtheile des Glases gleich sind.

Das Glas aus dem oberen Theile des Schmelzhafens läuft etwas leichter an, als das vom unteren Theile genommene; nur in diesem Falle nicht, wenn das Glas ganz homogen, wellenfrei ist, welches man jedoch in keiner Glasfabrik findet. Auch das Glas zunächst am Rande des Hafens bis auf eine sehr geringe Entfernung von demselben, wird weniger durch Luft und Schwefelsäure verändert.

Das Glas, welches in einem niederen Grad von Wärme geschmolzen wird, läuft weniger an, wenn das Kali kohlensauer, als wenn es ätzend ist, wenn man schon um so viel mehr Kali nimmt, als es durch die Kohlensäure an Gewicht zugenommen hat.

Beträchtlicher Zusatz von Salpeter befördert das Anlaufen des Glases, wenn man auch soviel weniger Kali nimmt, als der Salpeter enthält.

Quarz mit Natrum ist ungleich strengflüssiger als mit Kali; doch mit Kali und Natrum gemengt leichtflüssig, und läuft nicht an. Bei Glas aus Quarz, Kali und Kalkerde kann oft eine geringe Vermehrung von Kali dem Glase wieder die Eigenschaft geben, in der Luft anzu-

laufen; doch bei einem Glas mit einem beträchtlichen Antheil von Bleioxyd, bringt selbst eine bedeutende Vermehrung von Kali in dieser Beziehung nur eine geringe Veränderung hervor.

Eine Composition mit einem grossen Antheil von Kalkerde wird durch einen sehr geringen Zusatz von Bleioxyd sehr leichtflüssig gemacht. Dieses Glas wird zwar durch die Schwefel- und Salpetersäure in seinem Glanze verändert, und erhält vielmal durch dieselben auf den Flächen verschiedene Farben; allein in freier Luft bildet sich nie ein Häutchen auf den Flächen. Auch dasjenige Glas, welches mehr Bleioxyd als Quarz enthält, verliert durch die genannten Säuren etwas von seinem Glanze, doch nur sehr wenig; in freier Luft aber nichts.

Fast immer widersteht das Glas, welches viele kleine Luftbläschen enthält, dem Anlaufen mehr, als das mit grossen Luftblasen, oder das, welches ganz davon frei ist, wenn auch die Bestandtheile gleich sind.

Bei kleinen Versuchen machen die verschiedenen Arten von Schmelztöpfen, in Bezug auf ihre Bestandtheile, einen beträchtlichen Unterschied im Glase, welches in denselben geschmolzen wird; so dass eine Composition in dem einen Topfe geschmolzen ein Glas gibt, welches anläuft, während dieselbe Composition in einem anderen Topfe geschmolzen dem Anlaufen widersteht. Die Ursache ist grösstentheils darin zu suchen, dass die Töpfe dem Glase Kali entziehen, und dass dieses durch die eine Art mehr, als durch die andere geschieht, ferner, dass auch bei vielen Arten sich Thonerde mit unter das Glas schmelzt.

Ungeschliffenes Glas läuft nicht so schnell an, als geschliffenes, dessen Flächen sehr vollkommen polirt sind; doch bei unvollkommener Politur ist es der umgekehrte Fall.

Man sieht aus den angeführten Versuchen und Erfahrungen, dass fast jede Veränderung sowohl in den Bestandtheilen des Glases, als auch in der Behandlung beim Schmelzen und Verarbeiten desselben, mehr oder weniger Einfluss auf das Anlaufen des Glases haben kann. Aber nicht bloss diese Verschiedenheiten, sondern auch die Behandlung der Glasfläche mit Schwefelsäure, hat auf die Verminderung des weiteren Anlaufens derselben sehr grossen Einfluss.

Wenn man bei einem geschliffenen feinpolirten Glas, welches geneigt ist, nach einigen Monaten auf den Flächen ein schwaches feucht

scheinendes Häutchen zu bilden, die Hälfte des Glases auf die oben angegebene Art mit Schwefelsäure behandelt, und gut abgeputzt der freien Luft aussetzt, so entsteht selbst nach vielen Monaten auf der mit Schwefelsäure behandelten Hälfte der Fläche kein Häutchen; doch auf der anderen Hälfte entsteht das Häutchen wie vorher. Die Behandlung einer Fläche mit Schwefelsäure bietet also ein Mittel dar, das weitere Anlaufen des Glases wo nicht zu verhindern, doch so sehr zu vermindern, dass es in den meisten Fällen ohne Nachtheil ist, und kann daher vielmal von Nutzen sein. Es ist zu dieser Absicht am besten, das ganze Glas in Säure zu legen, die eben nicht concentrirt zu sein braucht. Wenn das ganze Glas mit Säure behandelt ist, so nimmt man die Verminderung des Glanzes durch die Säure nicht wahr, selbst wenn man ein Glas damit vergleicht, welches nicht mit Säure behandelt ist.

Wenn bei einem achromatischen Objectiv das Crownglas von der Art ist, dass sich auf demselben allmählich ein schwaches Häutchen bildet, so entsteht dieses Häutchen etwas später auch auf der dem Flintglase zugekehrten Seite; wenn schon das Objectiv in einen messingenen Ring gefasst ist, und dadurch diese eine Seite des Crownglases dem Luftwechsel entzogen zu sein scheint. Da dieses Häutchen beim Gebrauche des Objectivs die Helligkeit etwas vermindert, und das Putzen der inneren Seite umständlich ist, so kann man bei solchem Crownglas der Entstehung des Häutchens durch Behandlung mit Schwefelsäure zuvorkommen.

Wenn man auf ein rein abgeputztes ebenes Glas, bei welchem die Hälfte der Fläche mit Schwefelsäure behandelt wurde, einige Tropfen Schwefelsäure bringt, so zerfliesst diese auf der Fläche allmählich, benetzt aber anfänglich nur den mit Schwefelsäure nicht behandelten Theil, und macht zwischen dieser und der anderen Hälfte eine scharfe Gränze; erst nach einigen Stunden wird auch die andere Hälfte allmählich benetzt, bei einigen Glasarten aber gar nie.

Bringt man einige Tropfen concentrirte Salpetersäure auf ein ebenes Glas, welches leicht anläuft, so wird in kurzer Zeit die ganze Fläche an den Orten, die nicht von der Säure benetzt sind, dem Ansehen nach, wie von Rauch oder Dünsten angelaufen, jedoch trocken, und man findet nach dem Wegputzen keine Veränderung an diesen nicht benetzten Stellen.

Wurde ein Theil der Fläche vorher schon mit Schwefelsäure behandelt, so läuft dieser Theil entweder gar nicht, oder nur sehr wenig, mit solchen Dünsten an, und die Gränze ist scharf abgeschnitten.

Ich führe in Nachfolgendem die näheren Beobachtungen der Umstände an, unter welchen und wie das Glas gewöhnlich anläuft und absteht.

Man findet an Gläsern, die immer im Zimmer sind, nie abgestandene (mattgewordene), wohl aber, besonders in Zimmern, die wenig bewohnt werden, angelaufene.*) Man erkennt aber dieses Angelaufensein des Glases nicht immer leicht, als, wenn es in Farben angelaufen ist, was sehr oft bei näherem Besehen mehr oder weniger der Fall ist. Bei viel Erfahrung erkennt man es auch oft ohne Farben, ob das Glas angelaufen ist; doch ohne diese Erfahrungen kann man sich dadurch überzeugen, dass man einen Theil der Fläche, z. B. die Hälfte polirt, ohne sie zu schleifen und den Glanz der polirten Fläche mit dem der unpolirten vergleicht; weswegen der Uebergang sehr scharf begränzt sein soll.

Polirt man ein stark angelaufenes Glas auf die Art, wie die gemeinen Spiegel polirt werden, nämlich mit Hutfilz und benetztem rothen Eisenoxyd, so wird das Glas am Anfange des Polirens fast undurchsichtig, wie abgestanden, bekömmt manchmal auch allerlei Farben, und nach langem Poliren erst Glanz. Man braucht oft, um diesen Glanz hervorzubringen, mehr Zeit, als nöthig ist, ein feinmatt geschliffenes Glas zu poliren.

Glasspiegel sind vielmal auch auf der Rückseite, wo sie mit Folie belegt sind, etwas angelaufen, doch immer ungleich stärker auf der Aussenseite.

Wenn man ein Glas, welches in freier Luft auf seinen Flächen bald ein feucht scheinendes Häutchen bekömmt, in einem bewohnten Zimmer liegen hat, so kann man selbst nach langer Zeit nichts von der Entstehung dieses Häutchens entdecken, als in dem Falle, wenn es zunächst an einem Fenster liegt, wo die Luft mehr wechselt.

---

*) Dass man das durch Putzen mit Sand u. s. w. rauh und matt gewordene Glas nicht mit abgestandenem verwechseln darf, ist zu erinnern überflüssig. Man erkennt ersteres an den Ritzen, die oft wie mit Diamant gemacht aussehen.

Abgestandenes (mattgewordenes) Glas findet man nur an Fenstern. Man findet es nicht blos an solchen Fenstern, die von der Sonne beschienen werden, sondern auch an denjenigen, wohin die Sonne nie scheint. Es ist fast immer nur eine Seite der Fenstertafeln abgestanden; oder wenigstens ist es eine Seite ungleich stärker als die andere. Die abgestandene Seite ist fast immer die innere gegen das Zimmer gekehrte; nur sehr selten ist die äussere Seite die stärker abgestandene.

Man kann mehrerlei Arten abgestandenen Glases unterscheiden; nämlich, solches, bei welchem, wenn man sich so ausdrücken darf, der Grund matt zu sein scheint und übrigens viele hellere, oft ganz durchsichtige kleine Fleckchen hat; dann solches, bei welchem der Grund durchsichtig ist, und fast unzählig viele matte Fleckchen hat, und endlich auch solches, bei welchem der Grund matt ist, und im Uebrigen noch mehr und weniger matte Fleckchen hat. Von der zweiten Art, welche am Häufigsten vorkömmt, findet man auch einige, bei welchen die undurchsichtigen Flecken nicht rauh sind, sondern wie der übrige Theil der Fläche glänzen; bei diesen scheint, mit dem Mikroskop besehen, das Undurchsichtige unter der Fläche zu liegen. Bei denjenigen, wo diese Fleckchen nicht glänzend sind (kein Licht reflectiren), scheinen sie etwas tiefer zu liegen, als der übrige Theil der Fläche; das Glas scheint nämlich hier Vertiefungen zu haben. Die zweite und dritte Art abgestandenen Glases haben noch das eigene, dass sie in der Regel in Rahmen, in welchen sie nicht eingekittet sind, sondern wie gewöhnlich blos in einem tiefen Falz liegen, bis auf eine beträchtliche Entfernung um den Rahmen herum, nicht abgestanden sind. Man bemerkt an denselben Fenstern etwas ähnliches, wenn bei äusserer Kälte die Fenster durch die Wasserdünste anlaufen, dass sie gewöhnlich in eben dieser Entfernung von den Rahmen erst anfangen, nass zu sein. Diese Erscheinungen scheinen darauf hinzuweisen, dass das Nasswerden der Fenstertafeln, oder das Verdunsten des Wassers auf denselben, zum Mattwerden des Glases nothwendig ist. Sehr grünes Glas findet man gewöhnlich nicht matt und undurchsichtig, sondern immer blos in Farben angelaufen, welches aber vielmal auch so stark sich findet, dass es, von aussen besehen, undurchsichtig zu sein scheint. Im Allgemeinen widersteht grünes und blaugrünes Glas dem Anlaufen und Mattwerden am Besten.

Man sieht aus den in dieser Abhandlung enthaltenen Versuchen und Beobachtungen, dass die Ursache des Anlaufens und Mattwerdens des Glases nicht blos in einem zu grossen Antheil von Kali liegen könne; sondern, dass diese Veränderung des Glases auch im Mangel oder im zu geringen Antheil von Kalkerde, oder den oben angegebenen Metalloxyden ihren Grund haben könne; und dass selbst vieles bei der Behandlung im Schmelzen die Fähigkeit des Glases, anzulaufen, vermehren oder vermindern könne, u. s. w.

Es gibt vielleicht wenige Kunstzweige, in welchen schon so viel geleistet worden ist, als in der Kunst Glas zu machen; und doch ist vielleicht über keinen so wenig Zureichendes bekannt, als über diesen, und in keinem ist vielleicht noch so viel Räthselhaftes, als hierin, und auch überhaupt in der Kenntniss des gegenseitigen Verhaltens der Materien bei hohen Graden der Wärme. Die Ursache liegt wohl darin, dass die Fabrikanten, die durch viele Versuche und Erfahrungen auf eine Erfindung oder Entdeckung gelangen, dieselbe, mit gutem Grunde, zu ihrem eigenen Vortheil geheimhalten, auf welche Art solche Erfindungen, besonders, wenn sie auch Kunstgriffe mitverbinden, nicht selten wieder verloren gehen; ferner, dass die Naturforscher selbst selten Gelegenheit haben, viele Beobachtungen bei hohen Graden der Wärme, und unter günstigen Umständen zu machen, und diese Versuche vielen Schwierigkeiten unterworfen sind. Möchten die Naturforscher die Gelegenheiten zu solchen Versuchen und Beobachtungen häufiger aufzusuchen Veranlassung finden, damit nicht nur die Kunst, Glas zu machen, sicherer gegründet, sondern vielleicht auch die Naturwissenschaften in diesem Theile noch bereichert würden!

Anhang zur Abhandlung:

Ueber das Anlaufen und Mattwerden des Glases,

mit der Devise:

La nature parle par les expériences.

Ich habe in der Abhandlung erwiesen, dass das feuchtscheinende Häutchen, welches bei Glas, das zum Anlaufen geneigt ist, nach einigen Monaten entsteht, alkalisch ist. Das Kali ist also in diesem Glase nicht so fest gebunden, dass die Einwirkungen der Kohlensäure und der Wasserdünste der Luft ohne Erfolg blieben, und diese Materien entmischen daher das Glas auf der Oberfläche desselben, indem sie ihm einen Theil des Kali allmählich entziehen. Wie durch Mischungsveränderung des Glases auf der Oberfläche Farben entstehen können, wird aus Folgendem klar.

Farben durch Reflexion entstehen allgemein bei allen durchsichtigen Mitteln, wenn sie im hohen Grade dünn sind.*) Wenn man z. B. polirtes Glas mit Alkohol dünn überstreicht, und denselben allmählich verdunsten lässt, so entstehen gegen das Ende des Verdunstens ähnliche Farben, wie bei angelaufenem Glas. Wenn man erwärmtes polirtes Metall mit einer Auflösung von ein wenig Gummilack in einer verhältnissmässig grossen Quantität Alkohol sehr dünn überstreicht, so wird der Alkohol schnell verdampfen, und das Gummilack bleibt als durchsichtiger fester Firniss zurück, der, wenn er dünn genug aufgetragen ist, Farben zeigt. Da bei in Farben angelaufenem Glase die Farbe sich ändert, wenn der Neigungswinkel des auffallenden Lichtes grösser oder kleiner wird, so ist es keinem Zweifel unterworfen, dass diese Farben ganz von derselben Natur sind, wie die der Seifenblasen, und die, welche durch Berührung von

---

*) Man sehe hierüber: Biot, traité de physique exp. et math. tome 4.

zwei polirten ebenen Glasflächen entstehen; oder überhaupt wie die dünner durchsichtiger Blättchen. Es muss daher bei angelaufenem Glas, welches Farben zeigt, an der Oberfläche desselben, eine dünne Lage eines Glases sein, welches im Brechungsvermögen von dem des tieferliegenden verschieden ist. Eine solche Lage muss entstehen, wenn dem Glase an der Oberfläche ein Bestandtheil zum Theil entzogen wird, oder wenn ein Bestandtheil des Glases sich mit einer ihm verwandten Materie an der Oberfläche zu einem neuen durchsichtigen Producte verbindet. Es ist bekannt, dass undurchsichtige dünne Blättchen keine Farben zeigen können; daher verschwinden auch die Farbenerscheinungen, wenn das Glas aufhört, durchsichtig zu sein. Es wird aufhören, durchsichtig zu sein, wenn ihm an der Oberfläche ein zu grosser Theil des Kali entzogen wird, oder wenn ein Bestandtheil sich mit einer Materie verbindet, die ein undurchsichtiges Product gibt.

Das Anlaufen des Glases ist demnach entweder eine Entmischung desselben auf seinen Flächen durch Entziehung eines Theils von einem der Bestandtheile, oder eine neue feste Verbindung an der Oberfläche, mit einer Materie, die mit den Bestandtheilen des Glases, oder mit einem derselben grosse Verwandtschaft hat. Im ersten Falle, bei Entziehung eines Bestandtheiles, müsste das Glas an Gewicht verlieren; im letzten zunehmen. Folgende Versuche zeigen, dass unter verschiedenen Umständen das Eine oder das Andere stattfinde.

Wenn man ein feinpolirtes Glas, das zum Anlaufen geneigt ist, in concentrirtes Nordhäuser Vitriolöl legt, so läuft es gewöhnlich in Farben an; legt man aber von demselben Glase in concentrirte weisse Schwefelsäure, so bekömmt es keine Farben, bei grosser Aufmerksamkeit bemerkt man nur, dass es etwas weniges von seinem Glanze verloren hat, von der Durchsichtigkeit aber nichts. In dem Nordhäuser Vitriolöl nimmt dieses Glas an Gewicht zu, in der weissen Schwefelsäure verliert es von demselben. Zwei Glasplatten mit 16 Quadratzoll Oberfläche, die acht Tage in weisser Schwefelsäure lagen, verloren jede $^1/_2$ Gran an Gewicht. Eine Glasplatte mit 23 Quadratzoll Oberfläche verlor $^3/_4$ Gran an Gewicht. Ich liess diese Platten nachher noch 4 Monate in weisser Schwefelsäure liegen, und sie hatten nach dieser Zeit nicht weiter mehr an Gewicht abgenommen. Im Nordhäuser Vitriolöl ist die Zunahme des

Gewichts ohngefähr eben so gross, als bei weisser Schwefelsäure die Abnahme; doch scheint diese Zunahme nicht immer gleich gross zu sein, sowie auch die Farben, in welche das Glas anläuft, nicht immer dieselben sind. Wird das Nordhäuser Vitriolöl längere Zeit zu diesem Zwecke gebraucht, so verliert es endlich die Eigenschaft das Glas in Farben anlaufen zu machen, wenn es auch noch ganz concentrirt ist.

Da bei einer neuen Verbindung des Glases an der Oberfläche das Brechungsvermögen derselben sehr viel verschieden von dem des Glases werden muss, bei Entziehung eines Theils eines der Bestandtheile aber diese Verschiedenheit nur gering sein kann, so sieht man den Grund ein, weswegen im ersten Falle leichter Farben entstehen.

Ich habe von Glas, welches zum Anlaufen geneigt ist, zwei feinpolirte Platten 24 Stunden in weisse concentrirte Schwefelsäure gelegt; ein anderes Paar Platten von demselben Glase legte ich ebensolange in mit gleichen Theilen Wasser verdünnte weisse Schwefelsäure, und machte dann diese vier Platten mit noch zwei anderen von diesem Glase, die nicht in Säure gelegen hatten, so in Fassungen, dass bei jeder eine Seite dem Luftwechsel ausgesetzt war, die andere aber nicht. Nach zwei Monaten entstund an den Platten, die nicht in der Säure lagen, an der dem Luftwechsel ausgesetzten Seite, ein schwaches Häutchen, welches aussah, wie wenn diese Fläche schwach mit Wasserdünsten beschlagen wäre, was aber leicht weggeputzt werden konnte. Dieses Häutchen wurde allmählich stärker, und nach 6 Monaten sah ich es auch an der dem Luftwechsel nicht ausgesetzten Seite entstehen. Bei den Glasplatten, die in der Säure gelegen hatten, war noch keine Spur von diesem Häutchen zu finden; erst nach einem Jahre entstund bei diesen an der dem Luftwechsel ausgesetzten Seite ein kaum merkliches Häutchen, die zweite Seite aber war selbst nach $1\frac{1}{2}$ Jahr noch ganz davon frei. Man sieht daraus, dass die Behandlung eines Glases mit Schwefelsäure das Anlaufen desselben, wo nicht ganz verhindert, doch sehr vermindert.

Viele Flüssigkeiten, die weder sauer noch alkalisch reagiren, bringen auf den Flächen des Glases, wenn sie auf denselben allmählich verdunsten, manchmal ähnliche Wirkungen hervor wie Säuren, und machen es oft ganz anlaufen. Wenn z. B. auf feinpolirtem Glase nasser feiner Quarzsand allmählich trocknet, so bekömmt das Glas sehr oft Flecken, und

vielmal auch kleine undurchsichtige Stellen, die mit nichts wegzuputzen sind; doch gelingt dieses nicht immer, und scheint von Umständen abzuhängen, die man noch nicht kennt. Auch das Verdunsten des blossen Wassers auf Glas macht oft die Flächen desselben in kurzer Zeit anlaufen; doch gelingt dieses noch seltener. Da eine Art des mattgewordenen Fensterglases nur an den Stellen matt ist, an welchen es nass wird, wenn es durch äussere Kälte von innen sich mit Wasserdünsten beschlägt, so sieht man, dass bei dieser Art das Verdunsten des Wassers auf den Flächen des Glases zum Mattwerden derselben nothwendig ist.

Ich habe in der Abhandlung gesagt, dass man unter Gläsern, die immer im Zimmer sind, auch angelaufene finde; mattgewordene aber finde man unter denselben nicht. Dieses wiederhole ich hier, und erinnere noch des Unterschiedes, den ich zwischen Angelaufensein und Mattsein gemacht habe, welches beides man unter „ternissure“ versteht. Auch die Gläser der Perspective habe ich davon nicht ausgenommen, weil ich ein Mittel angab, dem Anlaufen derselben zuvorzukommen. Das was man an den Scheiben der Electrisirmaschinen beobachtet, darf nicht mit dem Anlaufen des Glases verwechselt werden; weil es gewöhnlich nur durch Reibung entsteht, und man dieselben Erscheinungen auch in kurzer Zeit hervorbringen kann. Wenn man z. B. Glas auf einer Harzplatte mit nassem Eisenoxyd polirt, so bekömmt man eine sehr schöne Politur; bringt man aber auch nur eine kleine Quantität Pottaschauflösung zum Eisenoxyd, so entsteht durch ferneres Poliren auf der ganzen Glasfläche ein dünnes nur durchscheinendes Häutchen, welches weder durch Alkohol, noch durch Pottasche, und auch nicht mit Säuren wegzubringen ist, und denen ähnlich ist, die man oft an den Scheiben der Elektrisirmaschinen beobachtet.

Neue

Modifikation des Lichtes

durch

gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben.

Von

Jos. Fraunhofer
in München.

(Denkschriften der k. Akad. d. Wiss. zu München für 1821 und 1822; Bd. VIII. p. 1—76.)

Neue Modifikation des Lichtes

durch

gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben,

von

Jos. Fraunhofer
in München.

Alle Versuche, bey welchen der Naturforscher mit einem durch gute Sehwerkzeuge bewaffneten Auge beobachten kann, zeichnen sich bekanntlich durch einen hohen Grad von Genauigkeit aus; und es hätten selbst viele der wichtigsten Entdeckungen, ohne diese Werkzeuge, nicht gemacht werden können. Bey den Versuchen mit Beugung des Lichtes konnte man bis jetzt, ausser einer Luppe, keine Sehwerkzeuge mit Vortheil anwenden, und dieses mag vielleicht eine der Ursachen seyn, wesswegen man in diesem Theile der physischen Optik noch weit zurück ist, und warum man noch so wenig von den Gesetzen dieser Modifikation des Lichtes weiss. Da bey kleinen Neigungswinkeln die Brechung und Zurückwerfung des Lichtes durch die Beugung geändert werden, und in vielen anderen Fällen die Beugung eine wichtige Rolle spielt, die oft ganz unbeachtet bleiben muss, so ist sehr zu wünschen mit den Gesetzen derselben genau bekannt zu werden; um so mehr, da ihre Kenntniss zugleich mit der Natur des Lichtes näher bekannt macht.

Wenn man den durch eine kleine Oeffnung in ein finsteres Zimmer geleiteten Sonnenstrahl in einiger Entfernung mit einem dunklen Schirme, der eine schmale Oeffnung enthält, auffängt, und man lässt das durch die Oeffnung des Schirmes fahrende Licht, etwas entfernt hinter demselben, auf eine weisse Fläche, oder auf ein mattgeschliffenes Glas fallen, so

sieht man, wie bekannt, dass der beleuchtete Theil der Fläche grösser ist, als die schmale Oeffnung des Schirmes, und dass er Farbensäume hat, dass folglich das Licht durch diese Oeffnung abgelenkt oder gebeugt wurde. Die Ablenkung ist um so grösser, je schmäler die Oeffnung des Schirmes ist. Der Schatten eines jeden Körpers, der in einem finstern Zimmer in das durch eine kleine Oeffnung im Fensterladen fahrende Sonnen-Licht gestellt wird, ist von Farbensäumen begränzt, die aber, bey einerley Entfernung der Fläche, mit welcher man den Schatten auffängt, bey allen Körpern gleichgross sind. Der Schatten eines schmalen Körpers, z. B. eines Haares, hat ausser den äussern Farbensäumen deren auch noch im Innern des Schattens, die sich mit der Dicke des Haares ändern, übrigens aber Aehnlichkeit mit den äussern haben*). Da die Farbensäume sehr klein sind, auch noch durch die Fläche, mit welcher man den Schatten auffängt, der grösste Theil des Lichtes verloren geht, so ist von der bisher angewandten Art, die Erscheinungen der Beugung zu beobachten, keine grosse Genauigkeit zu erwarten; um so mehr, da man auf diese Art die Winkel der Ablenkung des Lichtes, durch welche allein man mit den Gesetzen der Beugung bekannt werden kann, nicht erfährt. Man hat bisher diese Winkel, welche mit dem Weg des gebeugten Lichtes bekannt machen sollen, aus der Grösse der Farbensäume, und ihrer Entfernung vom beugenden Körper, berechnet; aber mit Voraussetzungen, welche, wie man sehen wird, der Wahrheit nicht entsprechen, und daher falsche Resultate geben.

Die Anzahl der unter sich verschiedenen optischen Erscheinungen ist in unserer Zeit so gross geworden, dass es einiger Vorsicht bedarf, um Täuschungen zu entgehen, und die Erscheinungen immer auf die einfachen Gesetze zurück zu führen. Mehr als bey allen übrigen ist dieses, wie man sehen wird, bey der Beugung des Lichtes der Fall. Ich lasse daher die Versuche, welche ich zur Bestimmung der Gesetze der Beugung des Lichtes machte, in einer anderen Ordnung folgen, als in der, wie ich darauf geführt wurde, wodurch viele Versuche überflüssig werden, und eine bessere Uebersicht erreicht wird.

---

*) Was über die Beugung des Lichtes bekannt ist, findet man in *Biot's traité de physique exp. et math. T. 4 p. 743;* und in den Göttinger Commentarien Vol. IV. p. 49.

Beugung des Lichtes durch eine einzelne Oeffnung.

Um alles durch eine schmale Oeffnung gebeugte Licht in das Auge zu bekommen, und die Erscheinungen stark vergrössert zu sehen, noch mehr aber, um die Winkel der Ablenkung des Lichtes unmittelbar messen zu können, stellte ich einen Schirm, der eine schmale vertikale Oeffnung enthielt, die durch eine Schraube breiter oder schmäler gemacht werden konnte, vor das Objectiv eines Theodolith-Fernrohrs. Ich liess mit einem Heliostat in einem finsteren Zimmer, durch eine schmale Oeffnung, Sonnenlicht auf den Schirm fallen, durch dessen Oeffnung es folglich gebeugt wurde. Durch das Fernrohr konnte ich alsdann die Erscheinungen, welche die Beugung des Lichtes hervorbringt, vergrössert, und doch mit hinlänglicher Helligkeit beobachten, zugleich aber auch die Winkel der Ablenkung des Lichtes mit dem Theodolith messen.

Die Farben, welche durch die Beugung des Lichtes bey einer einzelnen Oeffnung hervorgebracht werden, sind in Hinsicht ihrer Folgen jenen der Newtonischen Farbenringe, welche durch Berührung zweyer wenig convexen Gläser entstehen, ähnlich; mit dem Unterschied, dass bey letzteren in der Mitte ein schwarzer Flecken gesehen wird, bey ersteren aber nicht. Fig. III. Tab. I wird der Beschreibung zu Hülfe kommen. Wenn man das Fernrohr des Theodolith so gestellt hat, dass man, ohne den Schirm, durch welchen das Licht gebeugt werden soll, die Oeffnung am Heliostat sieht, und der Micrometerfaden sie schneidet, und man bringt dann wieder den Schirm, dessen Oeffnung sehr schmal seyn muss, vor das Objectiv, so wird man in der Mitte des Gesichtsfeldes einen weissen Streifen $L^{I} L^{I}$ sehen; der Mikrometerfaden wird in der Mitte desselben in K stehen. Dieser Streifen wird gegen beyde Enden L^{I} zu gelb, und endlich roth. Im Raume $L^{I} L^{II}$ ist ein lebhaftes Farben-Spectrum, welches bey L^{I} indigo, dann blau, grün, gelb und gegen L^{II} roth ist. Das Farbenspectrum im Raume $L^{II} L^{III}$ ist ungleich weniger intensiv, als das vorhergehende; die Ordnung der Farben ist: bey L^{II} blau, dann grün, gelb und gegen L^{III} roth. Das Spectrum im Raume $L^{III} L^{IV}$ ist wieder schwächer als das vorhergehende; es ist gegen L^{III} zu grün, gegen L^{IV} roth. Es folgen noch eine grosse Zahl Spectra, die aber immer schwächer werden, bis sie nicht mehr zu unterscheiden sind, und nur noch ein

horizontaler Lichtstreifen zu sehen ist, der sich aber in einem sehr grossen Raum ausbreitet. Die beschriebenen Spectra sind zu beyden Seiten von K vollkommen gleich, also symmetrisch. Die Uebergänge von einer Farbe in die andere sind nicht scharf begränzt, sondern unmerklich; ebenso der Uebergang von einem Spectrum in das andere.

Das Instrument, mit welchem ich beobachtet und die Winkel gemessen habe, ist im Wesentlichen ein 12 zölliges repetirendes Theodolith, welches mittelst der Verniers auf 4″ theilt. In der Mitte des Kreises ist, oberhalb demselben, eine ebene horizontale Scheibe von 6 Zoll Durchmesser, die sich um ihre eigene Axe dreht, und deren Mittelpunkt genau in der Axe des Theodolith liegt. Sie hat ihre eigene Theilung auf 10″. Auf die Mitte dieser Scheibe wird der Schirm gestellt, durch welchen das Licht gebeugt wird, der demnach in der Axe des Theodolith steht, wodurch die Correctionen, die ohne dieses, wegen der Entfernung des beugenden Körpers von der Axe, an den gemessenen Winkeln gemacht werden müssten, wegfallen. Die Eintheilung der Scheibe muss dazu dienen, nöthigenfalls den Winkel des einfallenden Lichtes u. s. w. messen zu können. Ausserhalb der Scheibe, in der Entfernung von $3\frac{1}{3}$ Zoll von der Mitte, fängt erst das Fernrohr an, dessen Objectiv 20 Linien Oeffnung und 16,9 Zoll Brennweite hat; es ist mit der Alhidade des 12 zölligen Kreises verbunden, und gehörig balancirt. Die Axe des Fernrohres ist mit der Ebene des Kreises parallel, und genau horizontal. Ich bediente mich einer 30 auch 50 maligen Vergrösserung. Das ganze Instrument ist vom Boden isolirt. In der Verlängerung der optischen Axe $463\frac{1}{2}$ Zoll von der Mitte des Theodolith entfernt, ist das Heliostat, dessen Stunden-Bewegung mittelst einer Schraube und eines daran befindlichen, bis zum Standpunkte des Theodolith reichenden Gestänges gemacht wird, um das Sonnenlicht willkührlich zu verstärken oder zu schwächen. Die Oeffnung am Heliostat ist vertikal, 2 Zoll lang, und kann breiter oder schmäler gemacht werden. Ich hatte sie gewöhnlich nur 0,01 bis 0,02 Zoll breit.

Die Breite der Oeffnung des Schirmes habe ich mit einem eigens zu diesem Zwecke eingerichteten achromatischen Mikroskop gemessen; weil sie im hohen Grad genau bekannt seyn soll. An dem Fusse dieses Mikroskops ist ein Schieber, der durch eine feine Schraube, von welcher nahe 88 Umgänge auf einen Pariser Zoll gehen, nach einer Richtung

bewegt werden kann; auf diesen Schieber wird der Schirm so befestigt, dass die Oeffnung desselben, welche man messen will, vertikal auf die Schraube gerichtet ist. Im Ocular des Mikroskops ist ein Kreuzfaden, welchen man mit dem Gegenstande zugleich deutlich sieht. Man bringt mittels der Schraube, die den Schieber bewegt, vorher den einen, dann den anderen Rand des Gegenstandes mit einem Rande des Fadens in Berührung, und liest jedesmal den Stand der Schraube ab; die Differenz ist der Durchmesser des Gegenstandes in Schraubenumgängen, unabhängig von der Construction der optischen Theile des Mikroskops, der Vergrösserung u. s. w. Da der Umkreis des Schraubenkopfes durch einen Vernier in 1000 Theile getheilt wird, so erfährt man den Durchmesser eines scharf begränzten Gegenstandes mindestens auf 0,00002 eines Zolles genau; in vielen Fällen auch auf 0,00001. Ich habe gewöhnlich ein Objectiv gebraucht, mit welchem das Mikroskop die Durchmesser der Gegenstände 110 mal vergrössert.

Da in keinem, durch Beugung des Lichtes bey einer einzelnen schmalen Oeffnung entstandenen Farbenspectrum ein bestimmter Anhaltspunkt zu entdecken ist, so nahm ich beym Messen der Winkel der Ablenkung, den Uebergang von einem Spectrum in das andere, das ist, L^{I}, L^{II}, L^{III} u. s. w., oder das rothe Ende eines jeden Spectrum. Ich habe die Abstände $L^{I}\,L^{I}$, $L^{II}\,L^{II}$ u. s. w. mindestens durch dreymalige Repetition bestimmt; die Hälften dieser Abstände sind demnach die Ablenkung von der Mitte, oder KL^{I}, KL^{II} u. s. w. Ich werde den Winkel dieser Ablenkung von der Mitte mit L^{I}, L^{II} u. s. w. bezeichnen. Alle Spectra, welche bey einer einzelnen Oeffnung durch Beugung entstehen, werde ich *äussere* nennen, blos um sie von anderen Arten, von welchen in der Folge die Rede seyn wird, zu unterscheiden. Folgende Tabelle enthält die Winkel der Ablenkung des Lichtes durch Oeffnungen von verschiedener Breite. Ich bezeichne diese Breite durch γ; sie ist immer in Theilen eines Pariser Zolles ausgedrückt. Das arithmetische Mittel von L^{I}, $\frac{L^{II}}{2}$, $\frac{L^{III}}{3}$ u. s. w. benenne ich mit L.

No.	Breite der Oeffnung in Theilen eines Pariser Zolles. γ	L^I	L^{II}	L^{III}	L^{IV}	Arithmetisches Mittel. L	Produkt der Oeffnung in den Bogen L $L\gamma$
1	0,11545	37″,58	1′ 15″,5	1′ 53″		37″,66	0,0000210
2	0,06098	1′ 11″,6	2′ 22″,7	3′ 31″,7	4′ 44″,7	1′ 11″,17	0,0000210
3	0,03690	1′ 57″,1	3′ 53″,3	5′ 48″,3		1′ 56″,6	0,0000209
4	0,02346	3′ 4″	6′ 7″,7	9′ 16″,3		3′ 4″,43	0,0000210
5	0,01237	5′ 48″,5	11′ 38″	17′ 26″,5	23′ 14″,7	5′ 48″,7	0,0000209
6	0,01210	6′ —	12′ 1″	18′ 14″	24′ 9″	6′ 1″,84	0,0000212
7	0,01020	6′ 56″	13′ 56″	20′ 54″		6′ 57″,3	0,0000206
8	0,00671	11′ 6″	22′ 12″,7	33′ 14″	44′ 35″	11′ 6″,4	0,0000217
9	0,00642	11′ 11″	22′ 18″	33′ 43″	44′ 58″	11′ 12″,2	0,0000209
10	0,00337	21′ 3″	42′ 16″	1° 4′ —		21′ 10″,3	0,0000207
11	0,00308	23′ 31″	47′ 6″	1° 10′ 43″		23′ 32″,7	0,0000211
12	0,00218	33′ 30″	1° 7′ 40″			33′ 40″	0,0000213
13	0,00215	35′ 24″,7	1° 10′ 16″			35′ 17″	0,0000220
14	0,00114	1° 4′ 53″				1° 4′ 53″	0,0000215

Die in dieser Tabelle enthaltenen Winkel sind alle so angegeben, wie ich sie erhielt, ganz ohne Correction, und es wird daher nicht schwer, die Gränze der Genauigkeit zu beurtheilen. Da der Uebergang von einem Spectrum in das andere nicht scharf begränzt ist, und innerhalb gewisser Gränzen geschätzt werden muss, bey grossen Spectren aber, d. i. bey sehr kleinen Oeffnungen des Schirmes, diese Gränzen entfernter liegen, so können bey diesen die Winkel nicht so gut unter sich übereinstimmen, wie bey grösseren Oeffnungen des Schirmes oder kleinen Spectren; das Verhältniss der Genauigkeit ist jedoch nahe dasselbe. Innerhalb der Gränzen der Genauigkeit folgt demnach aus dieser Tabelle:

Bey einzelnen Oeffnungen von verschiedener Breite verhalten sich die Winkel der Ablenkung des Lichtes, umgekehrt wie die Breiten der Oeffnungen.

In dem, durch eine schmale Oeffnung gebeugten Lichte folgen die Abstände der rothen Strahlen der verschiedenen Spectra von der Mitte, zu beyden Seiten, in

dem Verhältniss der Glieder einer arithmetischen Reihe, in welcher die Differenz dem ersten Gliede gleich ist.

Dass dieses Gesetz auch für die übrigen farbigen Strahlen gilt, wird sich aus späteren Versuchen ergeben; eben so, dass es auch für die von der Axe weit entfernten Spectra richtig ist.

Bey irgend einer Breite der Oeffnung, welche in Theilen eines Pariser Zolles γ genannt wurde, ist, wenn man unter L^I, L^{II} u. s. w. die Bögen für den Radius 1 versteht, allgemein:

$$L^I = \frac{0{,}0000211}{\gamma}$$

$$L^{II} = 2.\frac{0{,}0000211}{\gamma}$$

$$L^{III} = 3.\frac{0{,}0000211}{\gamma} \text{ u. s. w.}$$

Um zu sehen, ob die durch Beugung entstandenen Farben-Spectra aus homogenem Lichte bestehen, befestigte ich ein kleines Flintglasprisma von ohngefähr 20^0 so vor das Okular des Theodolithfernrohrs, dass die Axe des Prisma horizontal lief, und die Spitze nach Unten gekehrt war. Hat man bey diesem Okular im Gesichtsfelde des Fernrohrs ein homogenes Farbenspectrum, z. B. das, welches man erhält, wenn man vor das Objectiv ein gutes Prisma stellt, so wird man in jeder Farbe, den Kreuzfaden im Okular sehen; hat man aber kein homogenes Licht im Gesichtsfelde, so wird der horizontale Faden verschwinden. Die Ursache ist nicht schwer einzusehen. Bringt man die durch Beugung bey einer einzelnen Oeffnung des Schirmes entstandenen Farbenspectra in das Gesichtsfeld, so sieht man bey dem ersten und zweyten keine Spur des horizontalen Fadens; bey dem dritten Spectrum glaubt man etwas zu bemerken; bey dem vierten Spectrum sieht man ihn etwas bestimmter, doch noch sehr undeutlich; diese Undeutlichkeit vermindert sich bey den folgenden Spectren allmählig mehr, so dass man weit von der Mitte entfernt, den horizontalen Faden etwas begränzt sieht. Demnach bestehen die der Axe nahen Spectra nicht aus homogenem Lichte; die weiter von der Axe entfernten werden allmählich homogen.

Das untere horizontale rothe Ende der ersten Spectra wird durch das Prisma am Okular blau gesehen; das obere blaue Ende aber dieser

Spectra roth, was ebenfalls beweist, dass die ersten Spectra nicht aus homogenem Lichte bestehen; denn in einem durch ein Prisma gebildeten Spectrum lässt sich aus rothen Strahlen kein blaues Licht hervorbringen, sowie aus den blauen kein rothes. Da durch das Okularprisma das Licht gebrochen wird, und, der verschiedenen Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen wegen, z. B. die blauen stärker als die rothen, so ist, wenn ein homogenes Farbenspectrum im Gesichtsfelde ist, welches ohne Okularprisma horizontal wäre, der Faden mit dem Okularprisma nicht horizontal, sondern an dem Ende, wo er in die brechbareren Strahlen weist, tiefer, an dem entgegengesetzten Ende höher, und hat daher eine schiefe Lage, was leicht einzusehen ist. Da bey den durch Beugung entstandenen Spectren, diejenigen, welche weit von der Axe entfernt sind, sich gegenseitig decken, und immer ein Theil des Spectrums in das vorhergehende und folgende fällt, was aus dem zweyten oben angeführten Gesetze entspringt, und wesswegen diese Spectra schwerer zu unterscheiden sind, so dient die schiefe Lage des Fadens sich von ihrem Daseyn besser zu überzeugen, und sie zu zählen. Man sieht nämlich, wenn mehrere Spectra, die sich gegenseitig decken, im Gesichtsfelde sind, so viel schiefliegende Fäden, als das Gesichtsfeld Spectra enthält. Ich werde weiter unten auf diesen Gegenstand zurückkommen.

So wie ich die Beugung des Lichts durch eine schmale Oeffnung oben beschrieben habe, geschieht sie, wenn die zwey Schneiden, welche die schmale Oeffnung bilden, von dem Objectiv, oder dem leuchtenden Punkt, gleiche Entfernung haben. Ich untersuche jetzt den Fall, wenn diese zwey Schneiden von dem Objectiv nicht gleichweit entfernt sind, und für den auffallenden Strahl doch nur eine schmale Oeffnung bilden.

Auf einer Scheibe *a b c* Fig. I. Tab. II., die sanft um ihre Mitte gedreht werden kann, und welche horizontal vor dem Objectiv *d* eines Fernrohrs liegt, und mit dem Fernrohr fest verbunden ist, stehen zwey Schirme, deren Schneiden *e f* und *g h* vertikal und genau geradlinigt sind, und wovon der eine dem Objectiv näher ist, als der andere. Ein Lichtstrahl *k d*, der horizontal auffällt, wird daher auf der einen Seite an der Schneide *e f*, auf der andern an *g h* vorbeyfahren. Diese Schneiden werden für das auffallende Licht eine schmale vertikale Oeffnung bilden, die um so kleiner ist, je näher diese Schneiden an der optischen Axe

sind; haben sie beyde diese Axe durchschnitten, so bilden sie keine schmale Oeffnung mehr, und es kann kein Licht auf das Objectiv gelangen. Die Oeffnung, welche die beyden Schneiden dem auffallenden Lichte lassen, kann durch Umdrehen der horizontalen Scheibe um ihre Mitte, in der Richtung von *b* nach *c* kleiner gemacht werden, in der entgegengesetzten Richtung grösser.

Dreht man die horizontale Scheibe so, dass die beyden Schneiden der Schirme dem Lichte eine Oeffnung von ohngefähr 0,02 bis 0,04 Zoll lassen, so haben die durch die Beugung an den zwey Schneiden entstandenen Spectra das Ansehen, wie wenn sie durch Schneiden die nebeneinander liegen, gebildet worden wären; dreht man aber in der Richtung von *b* nach *c* fort, so dass die Breite der Oeffnung allmählich kleiner wird, so nehmen die Spectra auf der einen Seite der Axe, in horizontaler Richtung, an Breite zu, während sie auf der andern nicht so schnell wachsen, d. i. die Spectra hören auf zu beyden Seiten der Axe symmetrisch zu seyn. Bey sehr kleinen Oeffnungen wird diese Ungleichheit so gross, dass ein Spectrum auf der einen Seite 2 bis 4 Mal so gross seyn kann, als auf der andern. Bey fortgesetztem langsamen Drehen, in der Richtung von *b* nach *c*, fangen die grössern Spectra an, eines nach dem andern, zu verschwinden, und zwar so, dass z. B. das fünfte Spectrum sich fast plötzlich in den ganzen sichtbaren Raum ausbreitet, und endlich unkenntlich wird; dann geschieht erst dasselbe dem vierten Spectrum; endlich dem dritten u. s. w. Auf der andern Seite der Axe ändern sich indess die Spectra nicht auffallend. Sind alle Spectra auf der einen Seite verschwunden, so verschwinden endlich auch die auf der andern Seite; doch nicht eines nach dem andern, sondern alle zugleich; in dem Falle nämlich, wenn die Schneiden der beyden Schirme die optische Axe durchschnitten haben, und kein Licht mehr auf das Objectiv fällt. Die grösseren Spectra sind immer auf der Seite, auf welcher der dem Objectiv nähere Schirm steht. Diese sonderbare Erscheinung der nichtsymmetrischen Spectra, und ihr Verschwinden, ist für die Theorie der Beugung des Lichtes von Interesse.

Bey allen oben beschriebenen Versuchen fiel das Licht am Heliostat durch eine schmale vertikale Oeffnung ein, damit man nur einen Strahl haben möge, oder dass das Licht gleichsam wie von einer leuchtenden

Linie käme. Die Ursache ist leicht einzusehen; es würde nämlich, in jedem andern Fall, jeder Strahl seine eigenen Spectra bilden, und deren soviel nebeneinander hinfallen, als Strahlen auffallen. Käme das Licht z. B. wie von einer leuchtenden Fläche, deren Breite im Winkel die Breite der Spectra übertrifft, so könnten durch eine schmale Oeffnung keine Farbenspectra zu unterscheiden seyn; weil die von der rechten Seite der leuchtenden Fläche kommenden Strahlen, das rothe Licht eben dahin brächten, wohin die von der linken Seite kommenden das blaue senden u. s. w., und das Licht ganz gemengt, folglich wieder weiss wäre. Da aber das Licht durch jede schmale Oeffnung gebeugt wird, so könnte man auf die Vermuthung gerathen, dass das auf den Schirm am Theodolithfernrohr fallende Licht, durch die Oeffnung am Heliostat schon gebeugt wurde, und also modificirtes Licht auffalle. Obschon dieser Zweifel wegfällt, wenn man den Durchmesser der Sonne und einiges andere in Erwägung zieht, so habe ich doch noch eigene Versuche darüber angestellt. Es kömmt blos darauf an, dass das Licht wie von einer leuchtenden Linie kömmt; ich verfertigte daher ein Glas, welches 2 Zoll lang, $^1/_3$ Zoll breit, auf einer Seite plan und auf der andern nach einem Cylinder von 0,66 Zoll Durchmesser erhaben gekrümmt war. Das Licht, welches auf dieses Glas fällt, wird nach der Brechung durch dasselbe so ausfahren, als käme es von einer Linie, die 0,62 Zoll von dem Glase entfernt ist. Die Oeffnung am Heliostat wurde $^1/_4$ Zoll breit gemacht, und das cylinderische Glas davor gestellt. Wenn man den Weg des Lichtes durch dieses Glas verfolgt, so wird man begreifen, dass kein am Rande der Oeffnung des Heliostats vorbeyfahrender Strahl, auf den vor dem Theodolithfernrohre stehenden Schirm fallen kann, und folglich kein gebeugtes Licht dahin gelangt. Bey diesem durch das cylinderische Glas auffallenden Lichte erscheinen die durch Beugung bey einer einzelnen schmalen Oeffnung entstandenen Spectra, und ihre Dimensionen vollkommen eben so, wie bey dem durch eine schmale Oeffnung am Heliostat einfallenden Lichte.

Durch einen Schirm, der eine lange schmale Oeffnung enthält, wird das Licht nur in einem Sinne gebeugt, bey meinem Schirme nämlich horizontal, weil die Oeffnung desselben vertikal ist. Ein Schirm, der eine Oeffnung enthält, die z. B. eben so hoch, als breit ist, wird es auch

im vertikalen Sinne beugen. Man wird leicht begreifen, dass in diesem Falle das Licht nicht, wie von einer leuchtenden Linie kommend, auffallen darf; weil die Beugung im vertikalen Sinne dabey nicht beobachtet werden könnte, aus demselben Grunde, den ich schon oben angeführt habe. Das Licht muss also am Heliostat durch eine Oeffnung einfallen, die eben so breit, als hoch ist. Ich liess es zu diesem Zwecke gewöhnlich durch eine runde Oeffnung, die 0,04 bis 0,08 Zoll im Durchmesser hatte, einfallen. Bringt man bey diesem, durch eine runde Oeffnung einfallenden Lichte, den Schirm mit der langen vertikalen Oeffnung vor das Theodolithfernrohr, so haben die Farbenspectra, wie man leicht vorher sieht, eine sehr geringe Höhe, in horizontaler Richtung aber sind sie eben so, wie wenn das Licht durch eine lange vertikale Oeffnung am Heliostat einfiele. Man sieht also gleichsam nur eine horizontale Linie, in welcher die Farben auf die oben beschriebene Art wechseln, und welche um so schmäler ist, je kleiner die runde Oeffnung am Heliostat gemacht wurde. Diese Oeffnung darf man jedoch nicht zu klein machen, weil, wenn das Licht auch nach anderen Richtungen gebeugt werden soll, Helligkeit mangeln würde.

Fällt das Licht durch eine runde Oeffnung am Heliostat ein, und man bringt vor das Theodolithfernrohr einen Schirm, der eine viereckige Oeffnung enthält, die aber genau geradlinigte Seiten und scharfe Ecken haben muss, und welche z. B. eben so hoch, als breit ist, so wird man durch das Fernrohr ein farbiges Kreuz sehen, in welchem die Farben sowohl vertikal, als horizontal ebenso wechseln, wie bey dem durch eine lange schmale Oeffnung gebeugten Lichte. In den Ecken dieses farbigen Kreuzes sieht man noch schwächere Farbenspectra *a*, *b*, *c*, *d* Tab. II. Fig. II. Die Ursache der Entstehung dieser bloss in den Ecken sichtbaren Spectra wird aus Versuchen, von welchen weiter unten die Rede seyn wird, klar. Die Dimensionen der Farben, aus welchen das Kreuz besteht, sind dieselben wie bey einer langen schmalen Oeffnung des Schirmes, von derselben Breite, nämlich $L^{I} = \frac{0{,}0000211}{\gamma}$; $L^{II} = 2.\frac{0{,}0000211}{\gamma}$ u. s. w. sowohl vertikal, als horizontal. Ist die viereckige Oeffnung des Schirmes nicht so breit, als hoch, so sind die Spectra des Kreuzes vertikal von einer anderen Breite, als horizontal; und auch die schwachen

Nebenspectra in den Ecken richten sich nach diesen. Bey einem Schirme also, dessen Breite der viereckigen Oeffnung kleiner ist, als die Höhe, wird ein Farbenkreuz entstehen, dessen vertikale Schenkel aus kleineren Spectren bestehen, als die horizontalen, und zwar im umgekehrten Verhältniss der Höhe zur Breite.

Enthält der vor dem Theodolithfernrohr stehende Schirm eine kleine runde Oeffnung, so sieht man durch das Fernrohr Farbenringe, welche, in Hinsicht der Folge der Farben, ganz jenen ähnlich sind, welche durch Berührung zweyer wenig convexen Gläser entstehen, nur mit dem Unterschiede, dass bey diesen in der Mitte ein schwarzer Flecken gesehen wird, bei jenen aber nicht. Diese farbigen Ringe, welche bey der Beugung durch eine runde Oeffnung entstehen, sind um so grösser, je kleiner die Oeffnung des Schirmes ist. Ich habe bey verschiedener Grösse der Oeffnung die Durchmesser der Farbenringe mit dem Theodolith gemessen, wovon folgende Tabelle die Resultate enthält. Ich habe immer das rothe Ende eines jeden Farbenrings genommen, und den Abstand desselben von der Mitte, im ersten Ringe mit L^I, im zweyten mit L^{II} u. s. w. benennt. Mit L bezeichne ich hier das arithmetische Mittel der Differenzen.

No.	Durchmess. d. Oeffnung in Theilen eines Pariser Zolles. γ	L^I	L^{II}	L^{III}	L^{IV}	L^V	Arithmetisch. Mittel der Differenzen. L	$L^I\gamma$	$L\gamma$
1	0,10426	53″,8	1′ 36″,3	2′ 16″	2′ 58″,5		41″,6	0,0000272	0,0000210
2	0,06713	1′ 22″,3	2′ 27″	3′ 30″	4′ 32″,3		1′ 3″,3	0,0000268	0,0000206
3	0,05001	1′ 48″,8	3′ 17″,3	4′ 46″,8	6′ 15″,5	7′ 47″,7	1′ 29″,7	0,0000264	0,0000217
4	0,03997	2′ 12″,7	4′ 2″,9	5′ 55″,1	7′ 48″,6	9′ 40″,9	1′ 52″	0,0000257	0,0000217
5	0,03791	2′ 15″,7	4′ 8″,5	6′ 6″,3	8′ 5″,1		1′ 56″,5	0,0000249	0,0000214
6	0,03318	2′ 41″,7	4′ 52″,4	7′ 6″,4	9′ 18″,7	11′ 32″	2′ 12″,6	0,0000260	0,0000213
7	0,02682	3′ 13″,1	6′ 1″,4	8′ 49″,7	11′ 42″		2′ 49″,6	0,0000251	0,0000223
8	0,02318	3′ 49″,4	6′ 57″,8	10′ 14″,5	13′ 23″,6		3′ 11″,4	0,0000258	0,0000215
9	0,02237	3′ 54″,7	7′ 9″,4	10′ 24″,1	13′ 40″,5		3′ 15″,3	0,0000255	0,0000212
10	0,02134	4′ 3″,6	7′ 24″,5	10′ 56″,4	14′ 15″,4		3′ 20″,6	0,0000252	0,0000208
11	0,01824	4′ 45″,5	8′ 51″,3	12′ 54″,9	17′ 3″,5		4′ 6″	0,0000252	0,0000217
12	0,01746	5′ 3″	9′ 19″,4	13′ 22″,9	17′ 52″		4′ 16″,3	0,0000257	0,0000217
13	0,01238	6′ 55″,5	12′ 57″,5	18′ 48″,6			5′ 56″,5	0,0000249	0,0000214
14	0,00922	9′ 27″,3	17′ 35″,4	25′ 34″,5			8′ 3″,6	0,0000254	0,0000216

Es ist ungleich schwerer, den Durchmesser eines farbigen Ringes zu messen, als die Abstände der durch eine lange schmale Oeffnung entstandenen Spectra; weil bey letzteren der Mikrometerfaden in seiner ganzen Länge hin zur Berührung gebracht werden kann, bey ersterem aber fast nur ein Punkt. Desswegen ist die Genauigkeit beym Messen der Durchmesser der farbigen Ringe geringer, als beym Messen der Farbenspectra, die durch eine lange schmale Oeffnung entstehen, zum Theil auch, weil bey letzteren die Helligkeit grösser ist. Dieses berücksichtigt, folgt demnach aus obiger Tabelle, innerhalb der Gränzen der Genauigkeit:

Bey dem durch runde Oeffnungen von verschiedener Grösse gebeugten Lichte verhalten sich die Durchmesser der farbigen Ringe umgekehrt, wie die Durchmesser der Oeffnungen.

In den bey der Beugung durch eine runde Oeffnung entstandenen farbigen Ringen folgen die Abstände der rothen Strahlen der verschiedenen Ringe von der Mitte in dem Verhältniss der Glieder einer arithmetischen Reihe, in welcher die Differenz kleiner ist, als das erste Glied.

Bey irgend einem Durchmesser der runden Oeffnung in Theilen eines Pariser Zolles γ, ist:

$$L = \frac{0{,}0000214}{\gamma} = L^{II} - L^{I} = L^{III} - L^{II} = L^{IV} - L^{III} \text{ u. s. w.}$$

$$L^{I} = \frac{0{,}0000257}{\gamma}$$

$$L^{II} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + L$$

$$L^{III} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + 2L$$

$$L^{IV} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + 3L \text{ u. s. w.}$$

Der Quotient für L weicht sehr wenig von dem ab, wie er bey einer langen schmalen Oeffnung gefunden wurde; der kleine Unterschied

liegt wahrscheinlich nur in Beobachtungsfehlern. Diese nahe Uebereinstimmung, und der grosse Unterschied von L^I bey diesen und jenen, sind beachtungswerth.

Wenn man ein polirtes Glas mit zwey oder drey Lagen dünner Goldblättchen auf die bekannte Art von einer Seite belegt; so ist das Glas undurchsichtig, und man kann in das Gold auf dem Glase sehr feine Linien ritzen; an den radirten Stellen ist dann das Glas wieder durchsichtig. Radirt man auf ein mit Goldblättchen belegtes Plan- und Paralellglas eine gerade schmale Linie, und bringt es statt des Schirmes vor das Theodolithfernrohr, so wird das Licht durch diese radirte Stelle des Glases eben so gebeugt, wie durch eine andere schmale Oeffnung von derselben Breite. Ist eine kleine Kreisfläche in das Gold radirt, so wird durch diese das Licht wie durch eine runde Oeffnung von demselben Durchmesser gebeugt.

Um zu sehen, wie das Licht durch eine Kreislinie von bekannter Stärke gebeugt wird, zog ich auf ein mit Gold belegtes Planglas eine Kreislininie von gleicher Stärke. Dieses Glas stellte ich vor das Theodolithfernrohr, und liess das Licht am Heliostat durch eine runde Oeffnung einfallen; es kam demnach kein Licht auf das Objectiv des Fernrohrs, als das, welches durch die auf das belegte Glas radirte Kreislinie fuhr. Man sieht in diesem Falle durch das Fernrohr farbige Ringe, welche, in Hinsicht der Abwechslung der Farben jenen durch eine runde Oeffnung des Schirmes entstandenen ähnlich sind, in Hinsicht der Durchmesser aber, und ihres Verhältnisses unser sich, davon abweichen. Der Durchmesser der Farbenringe ist von dem Durchmesser der auf das belegte Glas radirten Kreislinie ganz unabhängig, und hängt blos von der Stärke dieser Linie, d. i. von ihrer Breite ab. Wird diese Breite in Theilen eines Pariser Zolles γ genannt, so ist der halbe Durchmesser des rothen Endes des ersten Kreises $\frac{0{,}0000211}{\gamma}$; des zweyten $2.\frac{0{,}0000211}{\gamma}$ u. s. w., und also eben so wie die Abstände des rothen Endes der Spectra von der Mitte, bey einer geradlinigten Oeffnung von derselben Breite. Deckt man den halben Kreis des belegten Glases zu, so bleiben noch immer die Farbenringe sichtbar, und sind nur weniger hell. Wird aber z. B. ein Segment des Kreises von 220^0 zugedeckt, so sind die Farben-

ringe nicht mehr vollständig, und es fehlen, wie Fig. 3. Tab. II., an zwey entgegengesetzten Seiten 40^0. Werden 270^0 zugedeckt, so nehmen die Farbenringe an zwey entgegengesetzten Seiten einen Raum von 90^0 ein. Ueberhaupt ist der Raum, welchen die Farbenringsegmente auf jeder der zwey entgegengesetzten Seiten einnehmen, der Anzahl der Grade gleich, welche die Oeffnung des auf das belegte Glas radirten Kreises misst. Die Ursache aller dieser Erscheinungen bey der Beugung des Lichtes durch eine Kreislinie, wird man einsehen, wenn man sich ein kleines Segment des Kreises wie eine gerade Linie denkt, und den Weg des Lichtes wie durch einen geradlinigten Schirm von gleicher Breite der Oeffnung verfolgt. Man muss aber dabey nicht vergessen, dass das Licht durch eine runde Oeffnung am Heliostat einfällt, und folglich die Spectra durch einen geradlinigten Schirm fast keine Breite haben würden. Um die Erscheinung vollkommen zu sehen, muss die auf das belegte Glas radirte Kreislinie genau gleichbreit und rund seyn. Bey allen Versuchen mit Beugung ist intensives Sonnenlicht nöthig; bey gewöhnlichem Tageslicht sieht man durch Fernröhre von allen Erscheinungen nichts.

Gegenseitige Einwirkung einer grossen Anzahl gebeugter Strahlen.

Um auf die ganze Fläche des Objectiv des Theodolithfernrohrs eine grosse Anzahl gleich stark gebeugter Strahlen fallen zu machen, spannte ich sehr viele gleich dicke Fäden parallel und in gleicher Entfernung nebeneinander auf einen Rahmen; durch die Zwischenräume musste demnach das Licht gebeugt werden. Damit ich versichert seyn möchte, dass die Fäden genau parallel sind, und gleiche Entfernungen von einander haben, machte ich an zwey entgegengesetzten Enden des viereckigen Rahmens in der ganzen Länge hin, eine feine Schraube, bey welcher nahe 169 Umgänge auf einen Pariser Zoll gehen; in die Gänge dieser Schraube spannte ich die Fäden, und ich konnte folglich sicher seyn, dass sie genau parallel sind, und gleiche Entfernungen unter sich haben.

Auf das Objectiv des Theodolithfernrohrs leitete ich durch eine vertikale Oeffnung am Heliostat, welche 2 Zoll hoch und 0,01 Zoll breit war, einen intensiven Sonnenstrahl, und stellte auf die Mitte der Scheibe des Theodoliths das Gitter, welches ungefähr aus 260 parallelen Fäden

bestund, die 0,002021 Zoll dick, und deren Ränder 0,003862 Zoll von einander entfernt waren. Ich trug Sorge, dass auf das Objectiv kein anderes Licht fiel, als das, welches durch das Fadengitter fuhr. Da die schmalen Zwischenräume das Licht beugen, so war alles Licht, welches durch das Fadengitter auf das Objectiv fiel, gleich stark gebeugt. Ich war sehr verwundert zu sehen, dass die Erscheinungen, welche man mit dem Fadengitter durch das Fernrohr sieht, ganz verschieden von jenen sind, welche bey dem durch eine einzelne Oeffnung gebeugten Lichte beobachtet werden. Man sieht nämlich die Oeffnung am Heliostat unverändert so, wie sie durch das Fernrohr ohne Fadengitter gesehen würde, und in einiger Entfernung von demselben, zu beyden Seiten, eine grosse Anzahl Farbenspectra, die eben so sind, wie sie durch ein gutes Prisma gesehen werden; sie werden immer breiter, je weiter sie von der Mitte abstehen, nehmen aber an Intensität ab. Fig. I. Tab. I. stellt einen Theil dieser Spectra dar. In A wird die Oeffnung am Heliostat gesehen ganz ohne Farben und scharf begränzt, wie man sie ohne Gitter durch das Fernrohr sieht. Zu beyden Seiten von A sind die Erscheinungen vollkommen symmetrisch. Wenn der Apparat vollkommen ist, so ist im Raume $A\,H^{I}$ kein Licht. Im Raume $H^{I}\,C^{I}$ ist das erste Farbenspectrum; H^{I} ist das violete, C^{I} das rothe Ende desselben. Der Raum zwischen C^{I} und H^{II} ist ohne Licht. Im Raume $H^{II}\,C^{II}$ ist das zweyte Spectrum; es ist doppelt so breit, als das erste, und die Ordnung der Farben dieselbe; auch ist es etwas weniger intensiv, als das erste. Im Raume zwischen C^{II} und F^{IV} ist das dritte Spectrum; ein Theil der violeten Strahlen desselben fällt aber in die rothen des zweyten, so wie das Ende der rothen des dritten in die blauen des vierten. Die Intensität des dritten Spectrum ist wieder geringer, als die des zweyten. Zwischen F^{IV} und D^{IV} ist das vierte Spectrum, dessen blaues Ende in das dritte und das rothe Ende in das fünfte Spectrum fällt. Es folgen noch viele Spectra, die immer schwächer werden, und deren man bey einiger Vollkommenheit des Apparats, auf jeder Seite von A, leicht 13 zählt, man überzeugt sich auch ohne Mühe von dem Daseyn einer noch grösseren Anzahl, die nur desswegen nicht leicht gezählt werden können, weil sie immer breiter werden, und in demselben Verhältniss mehr in einander fallen.

Wenn das Okular des Fernrohrs so gestellt ist, dass man ohne Gitter

die Oeffnung am Heliostat vollkommen begränzt sieht, so wird man in den Farbenspectren, welche durch das Fadengitter hervorgebracht werden, die Linien und Streifen sehen, welche ich in dem durch ein gutes Prisma hervorgebrachten Farbenspectrum von dem Lichte der Sonne entdeckt habe,*) was von grossem Interesse ist, weil es dadurch möglich wird, die Gesetze dieser, wie man sehen wird, durch gegenseitige Einwirkung einer grossen Anzahl gebeugter Strahlen entstandene Modifikation des Lichtes im hohen Grade genau kennen zu lernen. Ich habe in der Zeichnung in jedem Spectrum nur die stärkeren dieser Linien angedeutet, mit welchen man zu thun haben wird; man sieht deren aber, besonders in den breiteren Spectren, eine grosse Anzahl wie durch ein Prisma. Auch das Verhältniss der Stärke der Linien, und ihre Gruppirung unter sich ist wie durch Prismen; nur in Hinsicht des Verhältnisses des Raumes, welchen in einem Spectrum die verschiedenen Farben einnehmen, ist ein auffallender Unterschied zwischen den durch Gitter und Prismen hervorgebrachten. Desswegen, und weil bey einigen Arten von Fadengittern die Spectra sehr klein sind, muss man mit den durch ein Prisma gebildeten Linien sehr vertraut seyn, um bey jeder Grösse des Spectrum sogleich zu wissen, mit welchen Streifen oder mit welcher Linie man zu thun hat. Dieses ist um so nöthiger, da bey den von der Mitte weit entfernten Spectren eines Gitters, sie sich gegenseitig decken.

Ich werde diese Spectra, die durch Gitter paralleler Fäden gesehen werden, *mittlere* nennen, und zwar *mittlere vollkommener Art*, um sie von anderen, die durch gegenseitige Einwirkung einer geringen Anzahl gebeugter Strahlen entstehen, in welchen die Linien und Streifen nicht gesehen werden, die auch noch andere Eigenschaften haben, und welche ich *mittlere unvollkommener Art* nennen werde, zu unterscheiden.

Um die Erscheinungen möglichst abzuänderen, machte ich Gitter von verschiedener Dicke der Fäden und Grösse der Zwischenräume. Zu diesem Zwecke machte ich auch noch eine feinere Schraube, bey welcher nahe 340 Umgänge auf einen Zoll gehen. Ich radirte auch auf mit Goldblättchen belegte Plangläser parallele gerade Linien in gleicher Ent-

*) Ich habe sie in einer Abhandlung beschrieben, welche in den Denkschriften der k. b. Akademie der Wissenschaften für die Jahre 1814—15 abgedruckt ist, und den Titel führt: Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre.

fernung, durch welche die Spectra eben so gesehen werden, wie durch Fadengitter.

Die Grösse der mittleren Farbenspectra, die durch ein Fadengitter gesehen werden, hängt nicht von der Breite der Zwischenräume, oder von der Dicke der Fäden ab; sondern einzig von der Summe der Breite eines Zwischenraumes und Dicke eines Fadens, oder was dasselbe ist, von der Grösse der Abstände der Mitte der Zwischenräume. Die Farbenspectra sind um so grösser, je kleiner genannte Summe ist. Je feiner demnach eine Schraube ist, in deren Gänge die Fäden gespannt werden, desto grösser werden die Farbenspectra seyn; und es ist für die mittleren Spectra ganz einerley, ob die aufgespannten Fäden dünner oder dicker sind, oder die Zwischenräume grösser oder kleiner. Es ist ganz gleichgültig, ob man Haare, Silberdraht oder Golddraht in die Schraubengänge spannt, die Materie ändert in keiner Hinsicht etwas. Es muss aber darauf gesehen werden, dass die Fäden gleiche Dicke haben, und besonders, dass sie gerad angespannt sind, damit die Zwischenräume in ihrer ganzen Länge hin gleiche Breite haben. Bey Draht braucht dieses Anspannen einige Sorgfalt, weil er sich so leicht krümmt. Haare sind schwer anzuwenden, weil sie fast nie gleiche Dicke haben.

Wenn die Gänge der Schraube, auf welche die Fäden gespannt werden, etwas gross sind, d. i. wenn die Mitten der Zwischenräume der Fäden weiter von einander liegen, so sind, wie aus obigen erhellt, die Spectra klein, und folglich alle in einem kleinen Raum beysammen. Sind bey diesen gröberen Schraubengängen die Fäden dick, und also die Breite der Zwischenräume verhältnissmässig klein, so sieht man da, wo die mittleren Spectra vollkommener Art aufhören, oder vielmehr schwächer werden, eine andere Art Spectra anfangen, welche ungleich breiter sind, und in welchen die Linien und Streifen, die im prismatischen Farbenspectrum enthalten sind, nicht gesehen werden. Sie ändern sich einzig mit der Breite der Zwischenräume der Fäden, und verhalten sich ähnlich so, wie die Spectra äusserer Art, die durch eine einzelne schmale Oeffnung hervorgebracht werden, daher ich sie auch wie diese, mit L^{I}, L^{II} u. s. w. bezeichnen werde.

Wir werden sehen, dass mit vollkommenen Gittern fast bey allen Arten derselben die Spectra äusserer Art sichtbar sind, es mögen die

Fäden auf feine oder grobe Schraubengänge gespannt seyn. Es fällt manchmal ein Theil der äusseren Spectra in die Spectra mittlerer Art, und ändert die Intensität derselben. Wir werden den Zusammenhang dieser sonderbaren Erscheinungen aus den Beobachtungen kennen lernen.

Wenn bey einem Fadengitter an das Okular des Fernrohrs das kleine Prisma, von welchem oben bey der Beugung durch eine einzelne Oeffnung Gebrauch gemacht wurde, auf die beschriebene Art angebracht wird, so sieht man, dass die mittleren Spectra vollkommnerer Art, ganz aus homogenem Lichte bestehen, und dass, beym dritten angefangen, der Zunahme ihrer Breite wegen, sie sich an den Uebergängen von einem Spectrum in das andere gegenseitig decken. Wegen der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Strahlen durch das Okularprisma, werden die sich deckenden Spectra zum Theil getrennt, und wie Fig. 4, Tab. II. gesehen. Es wird dadurch z. B. das rothe Ende des dritten Spectrum bey C^{III} gesehen, und man erkennt die Linien, die dieser Farbe angehören, mit Bestimmtheit; eben so sieht man unten das violete Ende des dritten Spectrum H^{III}, und die darin enthaltenen Linien. Aehnlich so verhält es sich mit den weiter von der Mitte entfernten Spectren. Da die Spectra um so breiter werden, je weiter sie von der Mitte A abstehen, und bey einem Okularprisma von bestimmtem Winkel, die Höhe $C^{I}d$ für alle Spectra gleich ist, so muss die untere und obere Begränzung für die von der Mitte weit abstehenden Spectra, eine weniger schiefe Lage haben, als für die ersten. Wie man aus den Beobachtungen sehen wird, wirkt Glas auf die verschiedenen farbigen Strahlen in einem anderen Verhältniss, als ein Gitter in der Luft; dieses ist die Ursache, warum die untere und obere Begränzung der Spectra durch ein Prisma am Okular nicht geradlinigt gesehen wird. Der horizontale Faden des Mikrometers wird in allen mittleren Spectren vollkommener Art ganz begränzt gesehen, und dient auch hier für die von der Mitte weit entfernte Spectra, die wegen ihrer grossen Breite und geringen schiefen Lage, auch mit dem Okularprisma noch schwer zu unterscheiden sind, zum Zählen derselben u. s. w.

Wenn das Licht durch ein cylindrisches Glas am Heliostat einfällt, bleiben die Erscheinungen durch ein Fadengitter dieselben, wie wenn es durch eine schmale Oeffnung einfällt.

In den Versuchen, die hier folgen werden, habe ich für die verschiedenen Linien der Farbenspectra dieselben Bezeichnungen beybehalten, wie ich sie bey dem durch ein Prisma gebildeten Farbenspectrum gebraucht habe; nämlich C, D, E, F, G, H.*) Für das erste Spectrum werde ich die Bezeichnung C^I, D^I, E^I u. s. w. nehmen; für das zweyte C^{II}, D^{II}, E^{II} u. s. w. Die Dicke der Fäden des Gitters nenne ich δ, und die Breite der Zwischenräume γ. Die Werthe dieser beyden Grössen werden immer in Theilen eines Pariser Zolles angegeben. Das arithmetische Mittel z. B. von C^I, $\frac{C^{II}}{2}$, $\frac{C^{III}}{3}$ u. s. w. werde ich mit C bezeichnen, das von D^I, $\frac{D^{II}}{2}$, $\frac{D^{III}}{3}$ u. s. w. mit D, und so fort. Ich habe mit dem Theodolith die Winkel der Abstände zweyer symmetrischen Spectra für jede Farbe, oder vielmehr für die sichtbaren bezeichneten Linien derselben,

*) Für diejenigen, welche den oben angezeigten Band der Denkschriften nicht besitzen, mag Folgendes zur Erklärung dienen: B ist eine starke scharf begränzte Linie tief im Rothen; sie ist nur bey sehr intensivem Sonnenlicht so gut zu sehen, dass man mit Sicherheit ihren Ort bestimmen kann. Für Wasser ist der Exponent des Brechungsverhältnisses dieses Strahls, oder Bn = 1,33095. Die Linie C ist ebenfalls im Rothen; sie ist scharf begränzt und gehört als einfache Linie zu den stärkeren. Für Wasser ist Cn = 1,33171. Bey einem grossen durch ein Prisma gebildeten Spectrum, von welchem hier die Rede ist, erkennt man im Raume zwischen B und C noch 9 sehr feine Linien. D ist eine doppelte Linie im Orange; sie wird jedoch nur in einem grossen Farbenbilde als doppelt erkannt. Dn = 1,33357 für Wasser. Im Raume zwischen C und D kann man noch 30 grössten Theils feine Linien unterscheiden. In einem grossen Farbenspectrum besteht E aus mehreren feinen Linien, die sehr nahe beysammen liegen, und so eine starke Linie zu bilden scheinen; sie liegt im Grünen. Da zu beyden Seiten von E in einiger Entfernung noch Linien liegen, die wie diese aus mehreren feinen bestehen, und daher einige Aehnlichkeit mit E haben, und leicht damit verwechselt werden könnten, so muss man sich mit derselben, ihrer Lage wegen, sehr bekannt machen; sie ist die stärkste ähnlicher Art in dieser Farbe. Für Wasser ist En = 1,33585. Im Raume zwischen D und E sind ungefähr 84 Linien zu unterscheiden. Im Raume zwischen E und F, ungefähr dreymal näher an E, als an F, im Grünen, liegen drey sehr starke Linien, wovon zwey sich bedeutend näher sind, als die dritte; sie sind die stärksten in den hellern Farben. F ist eine starke Linie am Anfange vom Blau. Fn = 1,33780 für Wasser. Im Raume zwischen E und F können ungefähr 76 Linien gezählt werden. Die Linie G liegt im Indigo; es bilden an diesem Orte mehrere feine Linien einen Streifen, in dessen Mitte eine starke Linie liegt, die ich mit G bezeichnet habe. Gn = 1,34127. Zwischen F und G zählt man ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke und Gruppirung. H liegt im Violeten; er ist ein sehr starker Streifen, der aus vielen Linien besteht. In seiner Nähe ist noch einer, der ihm ganz ähnlich ist; von diesen zwey Streifen habe ich den nach G zu gelegenen, H genannt; er ist nur bey sehr intensivem Sonnenlicht zu sehen. Für Wasser ist Hn = 1,34417. Im Raume zwischen G und H können ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke gezählt werden. Aus den in dem Farbenspectrum enthaltenen Linien habe ich diejenigen, welche mir, theils ihrer besonderen Kennzeichen, theils ihrer Lage wegen, am zweckmässigsten zu sein schienen, bezeichnet.

mindestens durch sechsmalige Wiederholung bestimmt. Da die Linien der Spectra scharf begränzt sind, so war bey vollkommenen Gittern ein hoher Grad von Genauigkeit möglich. Ich gebe alle Winkel, so wie ich sie erhielt, ohne eine Correction an denselben anzubringen. Das Fadengitter stund immer auf der Mitte der horizontalen Scheibe des Theodolith. Alle Winkel, z. B. C^I. D^I, E^I u. s. w. sind immer die einfachen Abstände von der Mitte A. Bey den Produkten $(\gamma + \delta)C$ u. s. w. habe ich die Sinus der Winkel gebraucht. Es ist jedoch bey diesen kleinen Winkeln einerley, ob man die Sinus oder Bogen nimmt.

Gitter Nro. 1.

$\gamma = 0{,}000628$ $\quad$ $\delta = 0{,}001324$

B^I	= 44′ 45″	E^{III}	= 1° 42′ 42″,7
C^I	= 42′ 42″,3	E^{IV}	= 2° 16′ 59″,7
C^{II}	= 1° 25′ 25″	F^I	= 31′ 32″,6
D^I	= 38′ 19″,3	F^{II}	= 1° 3′ 10″
D^{II}	= 1° 16′ 38″	F^{III}	= 1° 34′ 44″
D^{III}	= 1° 55′ —	G^I	= 27′ 57″,3
D^{IV}	= 2° 33′ 14″,7	G^{II}	= 55′ 51″,7
E^I	= 34′ 12″,6	H^I	= 25′ 42″,3
E^{II}	= 1° 8′ 28″,3	H^{II}	= 51′ 31″,7
B	= 44′ 45″	F	= 31′ 34″,1
C	= 42′ 42″,4	G	= 27′ 56″,5
D	= 38′ 19″,2	H	= 25′ 44″
E	= 34′ 14″		

$(\gamma + \delta)$ B	= 0,00002541	$(\gamma + \delta)$ F	= 0,00001792
$(\gamma + \delta)$ C	= 0,00002425	$(\gamma + \delta)$ G	= 0,00001587
$(\gamma + \delta)$ D	= 0,00002176	$(\gamma + \delta)$ H	= 0,00001461
$(\gamma + \delta)$ E	= 0,00001944		

Gitter Nro. 2.

$\gamma = 0{,}001112$ $\quad$ $\delta = 0{,}001817$

B^I	= 29′ 50″,3	C^{II}	= 56′ 57″
B^{II}	= 59′ 38″,3	D^I	= 25′ 33″

D^{II}	= 51' 6",3	E^{II}	= 45' 41",6
D^{III}	= 1° 16' 35",7	F^{II}	= 42' 7",6
D^{IV}	= 1° 42' 11",3	G^{II}	= 37' 16"
D^{V}	= 2° 7' 46",3	H^{II}	= 34' 22",3
B	= 29' 49",7	F	= 21' 3",8
C	= 28' 28",5	G	= 18' 38"
D	= 25' 32",9	H	= 17' 11",1
E	= 22' 50",8		

$(\gamma + \delta)$ B	= 0,00002541
$(\gamma + \delta)$ C	= 0,00002426
$(\gamma + \delta)$ D	= 0,00002177
$(\gamma + \delta)$ E	= 0,00001946
$(\gamma + \delta)$ F	= 0,00001795
$(\gamma + \delta)$ G	= 0,00001587
$(\gamma + \delta)$ H	= 0,00001464

Gitter Nro. 3.

γ = 0,000972 δ = 0,001964

C^{I}	= 28' 23"	F^{I}	= 20' 56"
C^{II}	= 56' 50"	F^{II}	= 41' 53",7
D^{I}	= 25' 28",7	F^{III}	= 1° 2' 45"
D^{II}	= 50' 58"	G^{I}	= 18' 28",7
D^{III}	= 1° 16' 27",7	G^{II}	= 37' 3",3
E^{I}	= 22' 44",3	H^{I}	= 16' 58",5
E^{II}	= 45' 27"	H^{II}	= 33' 58"
E^{III}	= 1° 8' 14",7		
C	= 28' 24"	F	= 20' 55",9
D	= 25' 29"	G	= 18' 30",1
E	= 22' 44",2	H	= 16' 58",7

$(\gamma + \delta)$ C	= 0,00002425
$(\gamma + \delta)$ D	= 0,00002176
$(\gamma + \delta)$ E	= 0,00001942
$(\gamma + \delta)$ F	= 0,00001788
$(\gamma + \delta)$ G	= 0,00001580
$(\gamma + \delta)$ H	= 0,00001450

Gitter Nro. 4.

γ = 0,000549 δ = 0,003359

B^{II}	= 44' 43",7	C^{II}	= 42' 40",9
C^{I}	= 21' 21",5	C^{III}	= 1° 4' —

C^{IV}	=	1°	25′	21″,5	E^{IX}	=	2° 34′ 16″
D^{I}	=		19′	10″,7	E^{X}	=	2° 51′ 24″
D^{II}	=		38′	18″,7	E^{XI}	=	3° 8′ 30″
D^{III}	=		57′	29″,3	E^{XII}	=	3° 25′ 36″
D^{IV}	=	1°	16′	37″,7	E^{XIII}	=	3° 42′ 46″
D^{V}	=	1°	35′	47″,3	F^{I}	=	15′ 45″,5
D^{VI}	=	1°	54′	58″,7	F^{II}	=	31′ 32″,3
D^{VII}	=	2°	14′	13″,3	F^{III}	=	47′ 24″,7
E^{I}	=		17′	7″,1	F^{IV}	=	1° 3′ 10″,2
E^{II}	=		34′	13″,9	G^{I}	=	13′ 56″,1
E^{III}	=		51′	25″,5	G^{II}	=	27′ 55″,9
E^{IV}	=	1°	8′	32″,2	G^{III}	=	41′ 54″,1
E^{V}	=	1°	25′	42″,7	H^{I}	=	12′ 47″,8
E^{VI}	=	1°	42′	46″,1	H^{II}	=	25′ 37″,6
E^{VII}	=	1°	59′	56″,6	H^{III}	=	38′ 33″,4
B	=		22′	21″,8	F	=	15′ 46″,8
C	=		21′	20″,5	G	=	13′ 57″,3
D	=		19′	9″,8	H	=	12′ 49″,2
E	=		17′	8″			

$(\gamma + \delta)$ B	=	0,00002542	
$(\gamma + \delta)$ C	=	0,00002426	
$(\gamma + \delta)$ D	=	0,00002178	
$(\gamma + \delta)$ E	=	0,00001947	
$(\gamma + \delta)$ F	=	0,00001794	
$(\gamma + \delta)$ G	=	0,00001586	
$(\gamma + \delta)$ H	=	0.00001457	

Gitter Nro. 5.

γ	=	0,003862			δ	=	0,002021
C^{I}	=		14′	8″,9	E^{IV}	=	45′ 21″,5
C^{II}	=		28′	20″,6	F^{I}	=	10′ 25″,3
D^{I}	=		12′	42″	F^{II}	=	20′ 52″,6
D^{II}	=		25′	25″,3	F^{III}	=	31′ 20″,2
D^{III}	=		38′	7″,3	F^{IV}	=	41′ 45″,2
D^{IV}	=		50′	48″,7	G^{I}	=	9′ 13″
E^{I}	=		11′	18″,3	G^{II}	=	18′ 27″,6
E^{II}	=		22′	36″,9	H^{I}	=	8′ 18″
E^{III}	=		34′	1″,2			

C	= 14′ 9″,6	F	= 10′ 26″,1
D	= 12′ 42″,3	G	= 9′ 13″,4
E	= 11′ 19″,5	H	= 8′ 18″

$(\gamma+\delta)$ C = 0,00002423	$(\gamma+\delta)$ F = 0,00001786
$(\gamma+\delta)$ D = 0,00002174	$(\gamma+\delta)$ G = 0,00001578
$(\gamma+\delta)$ E = 0,00001938	$(\gamma+\delta)$ H = 0,00001420

Gitter Nro. 6.

γ = 0,001036 δ = 0,006759

C^{II}	= 21′ 21″,8	E^{V}	= 42′ 48″
D^{I}	= 9′ 35″,7	E^{VI}	= 51′ 24″,7
D^{II}	= 19′ 11″,7	E^{IX}	= 1° 17′ 8″,3
D^{III}	= 28′ 45″,3	E^{X}	= 1° 25′ 46″,7
D^{IV}	= 38′ 20″,3	E^{XI}	= 1° 34′ 17″,3
D^{V}	= 47′ 55″,7	E^{XII}	= 1° 42′ 52″,3
D^{VI}	= 57′ 32″,3	E^{XIII}	= 1° 51′ 24″,3
D^{VII}	= 1° 7′ 7″,7	F^{II}	= 15′ 43″,8
E^{I}	= 8′ 33″,4	F^{III}	= 23′ 36″,2
E^{II}	= 17′ 6″,5	F^{IV}	= 31′ 32″,9
E^{III}	= 25′ 39″,7	G^{II}	= 14′ 2″,1
E^{IV}	= 34′ 15″,9	H^{II}	= 12′ 47″,8

C	= 10′ 40″,9	F	= 7′ 52″,4
D	= 9′ 35″,4	G	= 7′ 1″
E	= 8′ 33″,9	H	= 6′ 23″,9

$(\gamma+\delta)$ C = 0,00002422	$(\gamma+\delta)$ F = 0,00001785
$(\gamma+\delta)$ D = 0,00002175	$(\gamma+\delta)$ G = 0,00001591
$(\gamma+\delta)$ E = 0,00001942	$(\gamma+\delta)$ H = 0,00001451

Gitter Nro. 7.

γ = 0,00567 δ = 0,00610

D^{I}	= 6′ 20″,8	D^{III}	= 19′ 3″,1
D^{II}	= 12′ 42″,3	D^{IV}	= 25′ 23″,8

$E^{III} = 17' —$ $F^{II} = 10' 25'',4$
$F^{I} = 5' 12'',3$ $F^{III} = 15' 39''$

$D = 6' 20'',9$ $F = 5' 12'',6$
$E = 5' 40''$

$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002174$ $(\gamma + \delta)\ F = 0{,}00001784$
$(\gamma + \delta)\ E = 0{,}00001940$

Gitter Nro. 8.

$\gamma = 0{,}014256$ $\delta = 0{,}003299$

$D^{III} = 12' 46'',3$ $D^{VII} = 29' 50'',3$
$D^{IV} = 17' 1'',8$ $D^{VIII} = 34' 2'',3$

$D = 4' 15'',47$

$L^{I} = D^{V}$ $L^{III} = 1^0 4' 18''$
$L^{II} = 43' 10''$ $L^{IV} = 1^0 23' 28''$

$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002174$

Gitter Nro. 9.

$\gamma = 0{,}013470$ $\delta = 0{,}006999$

$D^{IV} = 14' 34'',7$ $D^{VII} = 25' 34'',7$
$D^{V} = 18' 14'',7$

$D = 3' 28'',9$

$L^{II} = 20' 37''$ $L^{III} = 31' 6''$

$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002173$

Gitter Nro. 10.

$\gamma = 0{,}002878$ $\delta = 0{,}022486$

$D^{IV} = 11' 45'',7$ $D^{VI} = 17' 41''$
$D^{V} = 14' 44''$

$D = 2' 56'',7$

$L^{I} = 24' 47''$ $\qquad$ $L^{III} = 1^{0} 15' 32''$

$L^{II} = 49' 52''$

$$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002173$$

Eine sehr kleine Veränderung in der Entfernung der Fäden, oder der Zwischenräume, bringt bey engen Gittern eine verhältnissmässig grosse Veränderung in den Farbenspectren hervor; daher muss eine sehr kleine Ungleichheit der Entfernungen der Mitten dieser Fäden, schon eine merkliche Undeutlichkeit der Linien der Spectra hervorbringen. So gross die Genauigkeit bey den angeführten Gittern ist, so hat sie doch ihre Gränzen, und dieses ist Ursache, warum selbst bey engern Gittern in einigen Spectren einzelne Linien nicht so bestimmt gesehen werden, dass man mit Sicherheit ihren Ort bestimmen könnte. Dieses war der Fall bey dem Gitter Nro. 1 mit der Linie B^{II}, und den im fünften und den folgenden Spectren enthaltenen Linien; bey No. 2 mit der Linie C^{I} und einigen andern; bey Nro. 3 mit B^{I}, B^{II} u. s. w. Die Linien B und H sind in jedem Spectrum und bey jedem Gitter am schwersten zu sehen; weil sie fast am Ende des Spectrums liegen, und die Stärke ihres Lichtes, im Vergleich mit den übrigen des Spectrums, sehr gering ist.

Bey dem Gitter Nro. 4 konnte die grösste Anzahl Spectra mit Sicherheit gemessen werden. Zu einigen Spectren habe ich das Okularprisma gebraucht, um auch noch den Ort solcher Linien, die gedeckt sind, zu bestimmen; dieses sind C^{III}, C^{IV}, G^{III}, H^{III}, welche ohne Prisma nicht sichtbar sind. Dieses gegenseitigen Deckens wegen können in den von der Axe weitabstehenden Spectren nur diejenigen Linien gesehen werden, welche in dem intensivsten Theil desselben enthalten sind; dieses ist die Linie E und die nahe bey ihr gelegenen. Das Ganze dieser durch das Gitter Nro. 4 gesehenen Spectra hat besondere Eigenschaften; es werden nämlich die Spectra bey E^{VI} und E^{VII} schwächer, und E^{VIII} ist unsichtbar, die folgenden aber sind wieder sichtbar; doch scheint in jedem dieser folgenden eine andere Farbe vorherrschend zu seyn. Berechnet man für $\gamma = 0{,}000549$, d. i. für die Grösse eines Zwischenraumes der Fäden bey diesem Gitter, den Ort L^{I} für eine einzelne Oeffnung, so findet man, dass dieser ungefähr eben dahin fällt, wo E^{VIII} seyn

soll. Wir werden in der Folge sehen, dass dieses auch die Ursache der beschriebenen Erscheinung ist.

Beym Gitter Nro. 5 ist das vierte Spectrum ungefähr dreymal so hell, als das dritte. Auch hiervon ist der Grund darin zu suchen, dass bey diesem Gitter der Ort L^{I} in das dritte Spectrum fällt.

Mit dem Gitter Nro. 6 konnten E^{VII} und E^{VIII} nicht gesehen werden. Bei jedem der folgenden E scheint eine andere Farbe vorherrschend zu seyn; nämlich bey E^{IX} blau, E^{X} hellblau, E^{XI} grün, E^{XII} gelb und E^{XIII} orange. Für dieses Gitter fällt L^{I} in den Raum, wo E^{VII} und E^{VIII} seyn sollen. Die Farben, welche in E^{IX} u. s. w. vorherrschend sind, entsprechen auch in Hinsicht des Ortes ungefähr jenen, die im zweyten Spectrum äusserer Art gesehen würden, wenn die Oeffnung 0,006759 wäre, welches die Grösse der Zwischenräume beym Gitter Nro. 6 ist.

Mit dem Gitter Nro. 7 ist das dritte Spectrum um die Hälfte heller als das zweyte.

Da beym Gitter Nro. 8 das erste Spectrum nur einen Raum von ungefähr zwey Minuten einnimmt, so können selbst bey 50 maliger Vergrösserung die Linien in demselben nicht gesehen werden. Im dritten und vierten Spectrum war die Linie D sichtbar; doch die übrigen in denselben enthaltenen Linien nicht so gut, dass man mit Sicherheit ihren Ort hätte bestimmen können. Das fünfte Spectrum ist fast unsichtbar; das sechste nur schwach zu sehen; das siebente ist ungleich heller, als das sechste. Bey diesem Gitter unterscheidet man die Spectra äusserer Art sehr bestimmt. Um den Ort derselben zu berechnen und mit der Beobachtung zu vergleichen, muss man bey diesem Gitter, wo die Dicke der Fäden kleiner ist als die Breite der Zwischenräume, δ statt γ nehmen, und zwar immer, wenn erstere Grösse kleiner ist als letztere. Die Ursache wird sich aus Versuchen, die ich besonders darüber angestellt habe, ergeben.

Auch mit dem Gitter Nro. 9 waren in den ersten Spectren die Linien nicht zu sehen. Das dritte Spectrum ist fast ganz unsichtbar; man hat kaum eine schwache Spur von dessen Daseyn; eben so das sechste und neunte Spectrum. In die Räume, wo diese Spectra seyn sollen, fällt L^{I}, L^{II} u. s. w., man muss aber, um diese Grössen zu berechnen, δ statt γ nehmen.

Mit dem Gitter Nro. 10 konnte erst im vierten Spectrum die Linie D mit Bestimmtheit gesehen werden. Das achte Spectrum ist weniger hell, als das zehnte, und das neunte scheint zu fehlen; eben so scheint das achtzehnte Spectrum unsichtbar zu seyn. Auch bey diesem Gitter fällt L^I und L^{II} in den Raum, wo Spectra fehlen.

Aus der nahen Uebereinstimmung der Werthe $(\gamma + \delta)$ D, u. s. w. bey den verschiedenen Gittern, kann man den Grad der Genauigkeit beurtheilen, der nicht unbedeutend ist. Wer die Möglichkeit einer solchen Genauigkeit in Hinsicht der Grössen γ und δ in Zweifel zieht, darf nur bedenken, dass man z. B. 100 Gänge der Schraube, auf welche die Fäden gespannt sind, mit dem oben beschriebenen Mikroskop misst, und das gefundene Maass durch genannte Zahl der Gänge theilt, wonach man die Summe $\gamma + \delta$ in vielen Fällen noch auf die sechste Decimalstelle genau erhält.

Nachstehende Gesetze folgen aus den Versuchen mit den verschiedenen Gittern:

Bey zwey verschiedenen Gittern aus parallelen gleichdicken Fäden und gleichen Zwischenräumen, verhält sich die Grösse der Farbenspectra, die durch gegenseitige Einwirkung einer grossen Anzahl der durch die schmalen Zwischenräume gebeugten Strahlen entstehen, und ihre Entfernung von der Axe umgekehrt, wie die Entfernung der Mitte zweyer Zwischenräume, oder, was eben so viel ist, wie $\gamma + \delta$.

Bey mittleren Spectren vollkommener Art folgen die Abstände gleichartiger farbiger Strahlen der verschiedenen Spectra in dem Verhältnisse der Glieder einer arithmetischen Reihe, in welcher die Differenz dem ersten Gliede gleich ist.

Bey einem Gitter, wo die Dicke der parallelen Fäden, und die Breite der Zwischenräume in Theilen eines Pariser Zolles ausgedrückt sind, ist allgemein:

$$B = \frac{0{,}00002541}{\gamma + \delta} \qquad C = \frac{0{,}00002425}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00002175}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001789}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001943}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001585}{\gamma + \delta}$$

$$H = \frac{0{,}00001451}{\gamma + \delta}$$

Merkwürdig ist das Verhältniss des Raumes, welchen die verschiedenen Farben in einem durch ein Gitter entstandenen Spectrum einnehmen. Es verhält sich z. B. der Raum CD zum Raum GH nahe, wie 2:1; in dem durch ein Flintglas-Prisma von nur 27° entstandenen Spectrum aber verhalten sich diese Räume ungefähr, wie 1:2, und schon bey Wasser nahe, wie 2:3.

Ich habe schon oben erinnert, dass, um die in den Farbenspectren mittlerer Art enthaltenen Linien zu sehen, das Okular des Fernrohrs genau so gestellt seyn muss, dass man ohne Gitter die vertikale Oeffnung am Heliostat vollkommen deutlich sieht. Eine kleine Verrückung des Okulars macht die Linien undeutlich oder unsichtbar. Die Strahlen divergiren daher, nachdem sie durch das Gitter modifizirt wurden, von einem Punkt her, welcher der Entfernung der Oeffnung am Heliostat vom Gitter gleich ist.

Stellt man ein Gitter in bedeutender Entfernung so vor das Objectiv, dass die von dem Heliostat auf das Fernrohr fallenden Strahlen durch das Gitter fahren müssen, so sieht man bey oben beschriebener Stellung des Okulars die Linien der Spectra eben so, als wenn das Gitter am Objectiv stünde; die Abstände der farbigen Strahlen von der Axe aber findet man mit dem Theodolith kleiner. Warum dieses geschieht, wird folgendes lehren.

Wenn das Gitter *ab* Fig. 5 Tab. II. in der Axe *c* des Theodolith steht, und der auffallende Strahl *hc* wird in die Strahlen *cf* und *ce* getheilt, und man will z. B. den Strahl *ce* in der Mitte des Gesichtsfeldes haben, so muss das Fernrohr, wenn dessen Axe vorher mit dem auffallenden Strahle parallel war, um den halben Winkel *fce* gedreht werden, damit es die Richtung *ceg* erhalte. Der Winkel, um welchen man das Fernrohr verrückt hat, ist in diesem Falle der Winkel der Ablenkung des Strahles

von der Axe. Ist aber Fig. 6 das Gitter mn ausserhalb des Centrums c des Theodolith, so wird, um einen der abgelenkten Strahlen in die Mitte des Fernrohrs zu bekommen, dasselbe nach rm gedreht werden müssen, um den nach der einen Seite, und nach qn, um den nach der anderen Seite abgelenkten Strahl in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bekommen. Die Strahlen, welche in diesem Falle in der optischen Axe des Fernrohrs liegen, sind demnach nicht durch die Mitte des Gitters mn gegangen, und der Winkel qcr, um welchen man das Fernrohr drehen musste, um von dem einen Strahl auf den andern zu kommen, ist kleiner als der Winkel der Ablenkung des Lichtes umc oder cnv, und zwar um den Winkel mhn. Für die Hälfte desselben ist:

$$\sin mhk = \frac{mc.\ \sin mck}{mh}$$

Diesen Winkel mhk werde ich für D^I mit d^I für D^{II} mit d^{II} u. s. w. bezeichnen. Die Winkel D^I, D^{II} u. s. w. habe ich in folgenden Versuchen mit dem Theodolith gemessen. Bey allen Versuchen ist $ch = 463{,}56$ Zoll und $cm = cn = 33{,}02$ Zoll.

Gitter Nro. 3.

D^I =	23′ 41″	d^I =	1′ 48″,9
D^{II} =	47′ 23″	d^{II} =	3′ 38″

Gitter Nro. 4.

D^I =	17′ 47″,3	d^I =	1′ 21″,8
D^{II} =	35′ 35″,3	d^{II} =	2′ 43″,7
D^{III} =	53′ 24″,3	d^{III} =	4′ 5″,7
D^{IV} =	1° 11′ 14″	d^{IV} =	5′ 27″,7

Gitter Nro. 5.

D^{II} =	23′ 32″	d^{II} =	1′ 48″,2
D^{III} =	35′ 22″	d^{III} =	2′ 42″,8
D^{IV} =	47′ 24″	d^{IV} =	3′ 38″,1

Die Summe $D^I + d^I$, $D^{II} + d^{II}$ u. s. w. ist nahe dem Winkel gleich, welchen man erhält, wenn das Gitter in der Axe des Theodolith steht. Der Grad der Genauigkeit ist bey diesen Versuchen nicht so gross, als

bey jenen, wo das Gitter in der Axe des Instruments stund; theils weil das Gitter nicht vom Boden isolirt war; theils weil Längen von einigen Fuss schwer mit grosser Genauigkeit zu bestimmen sind. Ich habe bey noch grösseren Entfernungen des Gitters vom Theodolith die Winkel der Ablenkung des Lichtes gemessen; allein die Uebereinstimmung der Summe $D^I + d^I$ u. s. w. mit den Winkeln, welche man erhält, wenn das Gitter in der Axe des Theodolith steht, ist bey diesen weniger genau, als man es erwarten sollte; ich werde deswegen in der Folge noch mehr Versuche über diesen Gegenstand anstellen.

Wenn man das Licht durch zwey gleiche Gitter auf das Objectiv fallen lässt, d. i. wenn man zwey gleiche Gitter hintereinander vor das Fernrohr stellt, so sieht man die Spectra in Hinsicht ihrer Grösse eben so wie bey einem. Stellt man zwey ungleiche Gitter hintereinander, so ist die Entfernung der Spectra von der Axe so, wie sie ist, wenn man blos das feinere Gitter vor das Objectiv stellt.

Gegenseitige Einwirkung von zwey, drey u. s. w. gebeugten Strahlen.

Wenn man mit zwey Schirmen, deren gegen einander gekehrte Schneiden geradlinigt und vertikal sind, bey einem Gitter alle Zwischenräume der Fäden bis auf einen zudeckt, und nur durch diesen, indem er vor dem Fernrohr steht, Sonnenlicht fahren lässt, so werden, was man ohnediess voraus sieht, dieselben Farbenspectra gesehen, wie durch jede einzelne schmale Oeffnung von derselben Breite. Die Farbenspectra sind demnach äusserer Art, welche durch Fig. III Tab. I dargestellt werden. Verrückt man einen der zwey Schirme, die vor dem Gitter stehen, so, dass das Licht durch zwey Zwischenräume der Fäden des Gitters fährt, dass also zwey gebeugte Strahlen auf das Objectiv fallen, so sieht man durch das Fernrohr in dem Raume, welchen vorher $L^I\ L^I$ einnahmen, eine neue Art Farbenspectra, wie M^I, M^{II} u. s. w. in Fig. II. Diese Spectra werde ich *mittlere unvollkommener Art* nennen. Bey diesen verhält sich in Hinsicht der Farben und Abwechslung derselben der Raum $M^I\ M^I$ ebenso, wie bey jenen äusserer Art $L^I\ L^I$; der Raum $M^I\ M^{II}$, wie $L^I\ L^{II}$ u. s. w. und sind also in dieser Hinsicht ähnlich; sie sind nur in dem Raume zu sehen, welchen bey einer einzelnen Oeffnung $L^I\ L^I$ einnimmt; ausserhalb

dieses Raumes sind die Spectra ebenso, wie sie bey einer einzelnen schmalen Oeffnung gesehen werden. Demnach sieht man, wenn zwey gebeugte Strahlen auf das Objectiv fallen, die mittleren Spectra unvollkommener Art und die Spectra äusserer Art zugleich. Wir werden unten sehen, wie die Grösse der mittleren Spectra unvollkommener Art sich zur Entfernung der Zwischenräume der Fäden u. s. w. verhält. Ich werde das rothe Ende dieser Spectra mit M^{I}, M^{II}, M^{III} u. s. w. bezeichnen.

Stellt man die zwey Schirme vor dem Gitter so, dass das Licht durch drey Zwischenräume der Fäden fährt, dass also drey gebeugte Strahlen auf das Objectiv fallen, so wird der Raum $M^{I}\ M^{I}$ Fig. II in neue Farbenspectra abgetheilt, fast so, wie oben der Raum $L^{I}\ L^{I}$; sie sind in Hinsicht der Folge der Farben ganz den vorigen ähnlich, und nur in dem Raume $M^{I}\ M^{I}$ enthalten. Ich werde diese neue Art Spectra *innere* nennen, und das rothe Ende derselben mit N^{I}, N^{II}, N^{III} u. s. w. bezeichnen. Die Spectra mittlerer Art ausserhalb des Raumes $M^{I}\ M^{I}$ werden ungefähr noch wie bey zwey gebeugten Strahlen gesehen, nur in Hinsicht der Abstände von der Axe ändern sie sich bey einigen Gittern etwas. Auch die Spectra äusserer Art sieht man noch wie bey zwey gebeugten Strahlen. Man sieht demnach in diesem Falle drey verschiedene Arten Spectra; nämlich innere, mittlere unvollkommene und äussere. Wie sich die Grösse der Spectra innerer Art zur Entfernung der Zwischenräume des Gitters verhält, werden unten die Versuche lehren.

Mit vier gebeugten Strahlen sieht man die Spectra äusserer Art, die mittleren unvollkommener Art, und die innerer Art; doch letztere bedeutend kleiner, als sie mit drey gebeugten Strahlen gesehen werden. Die Spectra mittlerer Art haben sich nur wenig geändert.

Mit fünf gebeugten Strahlen sind die Spectra innerer Art wieder kleiner, als bey vier, während sich die Spectra mittlerer Art nur wenig geändert haben. Mit sechs gebeugten Strahlen sind die Spectra innerer Art kleiner, als mit fünf; mit sieben kleiner als mit sechs u. s. w. bis sie endlich so klein werden, dass sie nicht mehr zu unterscheiden sind, und nur noch eine helle ungefärbte Linie gesehen wird, die eben so ist, wie man ohne Gitter die Oeffnung am Heliostat sehen würde. Die Spectra mittlerer Art haben sich indess bey der Zunahme der Anzahl

der gebeugten auffallenden Strahlen allmählich sowohl in Hinsicht ihres Zusammenhanges, als der Entfernung von der Axe geändert, und sich den vollkommenen Spectren mittlerer Art in jeder Hinsicht genähert. Erst wenn sehr viele gleichgebeugte Strahlen in gleicher Entfernung gegenseitig einwirken, sind die Linien der Spectra sichtbar, und die Farben homogen.

In folgenden Versuchen ist N^{I}, N^{II} u. s. w. immer das rothe Ende eines jeden Spectrums; eben so bey M^{I}, M^{II} u. s. w. was ich schon oben erinnert habe, wie dieses auch bey den Spectren äusserer Art angenommen wurde. Was ich bey letzteren in Hinsicht der Genauigkeit der Winkel oben erinnert habe, gilt auch von den hier folgenden. Die Winkel M^{I}, M^{II} u. s. w. sind immer die Abstände von der Axe.

Gitter Nro. 6.

Bey zwey gebeugten Strahlen:

$M^{I} = 4' 32''$
$M^{II} = 13' 32''$
$M^{III} = 22' 42''$
$M^{IV} = 31' 52'',7$

Bey drey Strahlen:

$N^{I} = 3' 1''$
$N^{II} = 5' 57''$
$M^{II} = 12' 16'',3$
$M^{III} = 22' 11'',3$
$M^{IV} = 31' 44''$

Bey vier Strahlen:

$N^{I} = 2' 15'',3$
$N^{II} = 4' 28'',7$
$N^{III} = 6' 35''$
$M^{II} = 11' 46'',7$
$M^{III} = 21' 59'',3$
$M^{IV} = 31' 40'',3$

Bey fünf Strahlen:

$N^{I} = 1' 45''$
$N^{II} = 3' 34'',3$
$N^{III} = 5' 21'',3$
$M^{II} = 11' 38'',3$
$M^{III} = 21' 53'',3$
$M^{IV} = 31' 37''$

Bey sechs Strahlen:

$N^{I} = 1' 28'',8$
$N^{II} = 3' 4'',3$
$N^{III} = 4' 29'',7$
$N^{IV} = 5' 54'',7$
$M^{II} = 11' 25'',7$
$M^{III} = 21' 48''$
$M^{IV} = 31' 31''$

Bey sieben Strahlen:

$N^{I} = 1' 15'',6$
$N^{II} = 2' 34''$
$N^{III} = 3' 49'',7$
$N^{IV} = 5' 10'',7$

M^{II} = 11′ 14″,7
M^{III} = 21′ 52″,7
M^{IV} = 31′ 36″,7

Bey acht Strahlen:

N^{I} = 1′ 4″,5
N^{II} = 2′ 14″,7
N^{III} = 3′ 19″,7
N^{IV} = 4′ 26″,7
N^{V} = 5′ 40″

M^{II} = 11′ 4″
M^{III} = 21′ 50″
M^{IV} = 31′ 30″,7

Gitter Nro. 10.

Bey zwey Strahlen:

M^{I} = 1′ 23″,3
M^{II} = 4′ 8″,7
M^{III} = 7′ 0″,3
M^{IV} = 9′ 53″
M^{V} = 12′ 43″,3

L^{I} = 23′ 21″
L^{II} = 48′ 4″
L^{III} = 1° 13′ 50″

Bey drey Strahlen:

N^{I} = 57″,3
N^{II} = 1′ 50″,7

M^{II} = 3′ 49″,7
M^{III} = 6′ 54″
M^{IV} = 9′ 48″,7
M^{V} = 12′ 42″,7

L^{I} = 24′ 1″
L^{II} = 48′ 30″
L^{III} = 1° 14′ 1″

Bey vier Strahlen:

N^{I} = 43″,6
N^{II} = 1′ 23″,7
N^{III} = 2′ 3″

M^{II} = 3′ 39″,3
M^{III} = 6′ 51″,7
M^{IV} = 9′ 48″
M^{V} = 12′ 42″,3

L^{I} = 24′ 27″
L^{II} = 48′ 55″
L^{III} = 1° 14′ 50″

Bey fünf Strahlen:

N^{I} = 35″,5
N^{II} = 1′ 8″,3

M^{II} = 3′ 34″,3
M^{III} = 6′ 50″
M^{IV} = 9′ 48″
M^{V} = 12′ 42″,7

L^{I} = 24′ 50″
L^{II} = 49′ 10″
L^{III} = 1° 15′ 2″

Bey sechs Strahlen:

M^{II} = 3′ 33″,3
M^{III} = 6′ 51″

L^{I} = 24′ 43″
L^{II} = 49′ 40″
L^{III} = 1° 14′ 48″

Gitter Nro. 9.

Bey zwey Strahlen:

M^{I} = 1′ 42″,7
M^{II} = 5′ 10″
M^{III} = 8′ 56″
M^{V} = 15′ 45″,3
M^{VI} = 20′ 12″

Bey drey Strahlen:

N^{I} = 1′ 9″,3
N^{II} = 2′ 18″,3
M^{II} = 4′ 44″
M^{III} = 8′ 40″
M^{V} = 15′ 48″,3
M^{VI} = 20′ 17″,7

Bey vier Strahlen:

N^{I} = 54″
N^{II} = 1′ 45″,3
N^{III} = 2′ 34″,3
M^{II} = 4′ 33″,7
M^{III} = 8′ 30″
M^{V} = 15′ 50″
M^{VI} = 20′ 3″,7

Bey fünf Strahlen:

N^{I} = 44″
N^{II} = 1′ 25″,3
N^{III} = 2′ 4″,3
M^{II} = 4′ 29″,3
M^{III} = 8′ 37″,3
M^{V} = 15′ 56″,7
M^{VI} = 20′ 16″,7

Bey sechs Strahlen:

N^{I} = 37″
N^{II} = 1′ 12″
N^{III} = 1′ 46″
N^{IV} = 2′ 21″
M^{II} = 4′ 24″
M^{III} = 8′ 29″
M^{V} = 15′ 50″
M^{VI} = 20′ 20″

Gitter Nro. 8.

Bey zwey Strahlen:

M^{I} = 2′ —
M^{II} = 5′ 20″,7
M^{III} = 10′ 22″,3
M^{IV} = 14′ 45″,7
M^{V} = 19′ 5″

Bey drey Strahlen:

N^{I} = 1′ 24″,7
N^{II} = 2′ 48″,7
M^{II} = 5′ 12″
M^{III} = 9′ 58″,7
M^{IV} = 14′ 44″
M^{V} = 19′ —

Bey vier Strahlen:

N^{I} = 1′ 4″,5
N^{II} = 2′ 10″
N^{III} = 3′ 14″,5

M^{II}	=	5′ 12″	
M^{III}	=	9′ 54″,3	
M^{IV}	=	14′ 22″,7	
M^{V}	=	18′ 46″,7	

Bey fünf Strahlen:

N^{I}	=	51″
N^{II}	=	1′ 41″,7
N^{III}	=	2′ 28″,7
M^{II}	=	5′ 10″
M^{III}	=	9′ 52″
M^{IV}	=	14′ 22″
M^{V}	=	18′ 43″

Bey sechs Strahlen:

N^{I}	=	43″
N^{II}	=	1′ 24″,7
N^{III}	=	2′ 7″
M^{II}	=	5′ 6″
M^{III}	=	9′ 53″
M^{IV}	=	14′ 20″

Bey sechs Strahlen werden mit allen Gittern auch N^{IV} und N^{V} gesehen, allein nicht immer ist der Winkel für diese Strahlen mit derselben Genauigkeit zu bestimmen, wie bey den übrigen.

Bey gehöriger Beurtheilung des Grades der Genauigkeit folgt innerhalb der Gränzen derselben aus obigen Beobachtungen:

Bey einem und demselben Gitter, aber verschiedener Anzahl Fäden, verhalten sich die Abstände der Spectra innerer Art von der Axe, und die Grösse derselben umgekehrt, wie die Anzahl der durch die schmalen Zwischenräume gebeugten Strahlen, d. i. wie die Anzahl der Zwischenräume, bey drey Zwischenräumen anfangend.

Bey verschiedenen Gittern und gleicher Anzahl Zwischenräume verhalten sich die Abstände der Spectra innerer Art von der Axe oder die Grösse derselben umgekehrt, wie $\gamma + \delta$.

Bey Spectren innerer Art folgen die Abstände derselben von der Axe in dem Verhältniss der Glieder einer arithmetischen Reihe, bey welcher die Differenz dem ersten Gliede gleich ist.

Ferner ist:

Bey drey Strahlen:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{3\,(\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2.\,\frac{0{,}0000208}{3\,(\gamma+\delta)}$$

Bey vier Strahlen:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{4(\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2.\frac{0{,}0000208}{4(\gamma+\delta)}$$

$$N^{III} = 3.\frac{0{,}0000208}{4(\gamma+\delta)}$$

Bey fünf Strahlen:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{5(\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2.\frac{0{,}0000208}{5(\gamma+\delta)}$$

$$N^{III} = 3.\frac{0{,}0000208}{5(\gamma+\delta)} \text{ u. s. w.}$$

In dem Raume K M^{I} Fig. II. Tab. I, der bey der gegenseitigen Einwirkung zweyer gebeugten Strahlen gesehen wird, sind, wie ich schon oben erinnert habe, bey drey Strahlen die Spectra innerer Art enthalten; daher ist bey drey, vier u. s. w. Strahlen M^{I} nicht mehr zu sehen, und es ist in diesen Fällen M^{II} das rothe Ende des ersten Spectrum mittlerer unvollkommener Art, was man bey Vergleichungen der vollkommenen Spectra mit den unvollkommenen nicht übersehen darf. Da die Spectra innerer Art, die in dem Raume K M^{I} enthalten sind, um so kleiner werden, je mehr Strahlen gegenseitig einwirken, und diese Spectra bey einer grossen Anzahl Strahlen endlich so klein werden, dass sie nicht mehr zu unterscheiden sind, und in diesem Falle in K nur eine ungefärbte helle Linie zu sehen ist, so muss der Raum zwischen K und M^{I} ohne Licht seyn; weil bey Zunahme der Strahlen die Spectra mittlerer Art ihren Ort und Grösse verhältnissmässig nicht viel ändern.

Beym Gitter Nro. 9 ist M^{IV} unsichtbar, weil nahe dahin L^{I} fällt. Da bey diesem Gitter γ grösser ist als δ, so muss man letztere Grösse statt ersterer nehmen, um L^{I} zu berechnen; warum dieses so geschieht, wird man aus folgendem einsehen. Um Spectra äusserer Art hervorzubringen, sind zwey sich nahe liegende Ränder oder Schneiden nöthig, durch welche das Licht abgelenkt wird. Es ist eben nicht nöthig, dass diese zwey Schneiden gegen einander gekehrt sind; sie können auch von einander gekehrt seyn, wenn sie sich nur nahe liegen, was bei einem schmalen Metallstreifen, bey einem Faden oder Draht der Fall ist. In

diesen Fällen aber sind die Spectra äusserer Art nicht wohl zu beobachten, weil sie in ungebeugtes weisses Licht fallen. Mit einem Fernrohr kann man sich jedoch von ihrem Daseyn überzeugen. Ich spannte zu diesem Zwecke auf die Mitte der Oeffnung eines Schirmes, die $^1/_4$ Zoll breit war, einen Faden von 0,02287 Zoll Dicke, und stellte ihn so vor das Fernrohr, dass der Faden vertikal stund. Die Spectra äusserer Art, welche wegen der Breite der Oeffnung des Schirmes, $\gamma = {}^1/_4$ Zoll, entstehen müssen, können nur so klein seyn, dass sie kaum zu unterscheiden sind, und man muss also die Oeffnung am Heliostate durch das Fernrohr fast wie ohne den Schirm sehen; macht aber der auf den Schirm gespannte Faden Spectra, so müssen diese zu beyden Seiten der Oeffnung des Heliostat gesehen werden; dieses ist auch der Fall. Man sieht die Oeffnung am Heliostat wegen der Breite der Oeffnung des Schirmes so hell, dass man das Licht fast nicht ertragen kann, zu beyden Seiten derselben aber Spectra äusserer Art. Wegen der Stärke des Lichtes in der Mitte konnte L^I nicht gemessen werden, aber die folgenden zwey; ich fand nämlich $L^{II} = 6' 16''$ und $L^{II} = 9' 30''$. Nimmt man für den Werth von γ obige Dicke des Fadens, um L^{II} und L^{III} zu berechnen, so erhält man so nahe die eben angegebenen Winkel als unter den beschriebenen Umständen zu erwarten ist*). Um Spectra äusserer Art hervor zu bringen, ist es demnach nicht nöthig, dass die Ränder, welche das Licht beugen, gegen einander gekehrt sind, sondern sie können auch von einander gekehrt seyn, wie dieses bey einem Faden der Fall ist. Bey dem Gitter Nro. 9 sind die Ränder der Fäden sich näher, als jene der Zwischenräume; daher erstere zur Hervorbringung der Spectra äusserer Art zusammenwirken.

Die mittleren Spectra unvollkommener Art werden durch die Lage der Spectra äusserer Art sehr oft modifizirt, auch die Zu- oder Abnahme der Anzahl der gegenseitig einwirkenden Strahlen ändert sie etwas. Das Gesetz dieser kleinen Aenderungen ist aus den angeführten Versuchen noch nicht genau abzuleiten, und macht noch neue Versuche nöthig. So viel sehen wir jedoch aus Obigem, dass bey verschiedenen Gittern die

*) Diese Versuche verdienen noch weiter verfolgt zu werden; weil man in einigen Fällen auf Abweichungen kömmt, die ausserhalb der Gränzen der Genauigkeit liegen.

Abstände der Spectra mittlerer unvollkommener Art von der Axe, und ihre Grösse, sich nahe verhalten umgekehrt, wie $\gamma + \delta$; ferner, dass bey zwey Strahlen M^I bedeutend kleiner ist, als die Differenzen, d. i. als $M^{II} - M^I$, $M^{III} - M^{II}$ u. s. w. daher sich diese Spectra in Hinsicht der Folge der Abstände der farbigen Strahlen von der Axe sowohl von jenen, die durch eine runde Oeffnung entstehen, als auch von jenen, die durch eine lange schmale Oeffnung gesehen werden, auffallend unterscheiden. Bey Gittern, wo δ grösser ist als γ, ist es nicht schwer, ein Gesetz für die unvollkommenen Spectra mittlerer Art abzuleiten, wie beym Gitter Nro. 6 und 10.

Die Winkel L^I, L^{II} u. s. w. sind bey zwey, drey u. s. w. gebeugten Strahlen nicht wohl mit grosser Genauigkeit zu bestimmen, daher man aus den Veränderungen dieser Winkel bey drey, vier u. s. w. gebeugten Strahlen mit dem Gitter Nro. 10 eben keinen sicheren Schluss ziehen kann. Eine Ursache liegt darin, dass es fast nicht möglich ist, drey oder vier Zwischenräume vollkommen gleich zu machen, obschon die Mitten der Fäden gleichweit voneinander entfernt seyn können. Wir wissen aus den Versuchen mit einem gebeugten Strahle, wie gross die Veränderung des Abstandes der Spectra ist, wenn bey einer ohnediess kleinen Oeffnung, die Breite derselben sich nur sehr wenig ändert; daher man leicht bey drey gebeugten Strahlen den Abstand der Spectra äusserer Art von der Axe anders finden kann, als bey zwey u. s. w. Genannte Ungleichheit hat auf Spectra mittlerer und innerer Art ungleich weniger Einfluss.

Gegenseitige Einwirkung der im Wasser und anderen brechenden Mitteln gebeugten Strahlen.

Wenn ein Gefäss $a\,b\,d\,e$ Fig. 7, Tab. II auf jeder der zwey entgegengesetzten Seiten $a\,b$ und $d\,e$ mit gleichdicken Plangläsern begränzt ist, die unter sich genau parallel sind, und man stellt in dieses Gefäss, welches tief genug seyn muss, und mit irgend einem brechenden Mittel, z. B. mit Wasser gefüllt ist, ein Gitter $f\,g$, so ist klar, dass die Strahlen $k\,s$ und $k\,r$, in welche der auffallende Strahl $h\,k$ durch das Gitter getheilt wurde, bey dem Austritt aus dem brechenden Mittel von ihrem Wege abgelenkt werden müssen, und nach $m\,q$ und $n\,p$, nach dem Gesetz der Brechung, gebrochen werden. Stellt man dieses Gefäss auf die Mitte der Scheibe

des Theodolith, und misst den Winkel $p\,c\,q$, welchen die ausfahrenden Strahlen unter sich einschliessen, so muss man den Sinus desselben durch den Exponenten des Brechungsverhältnisses, für den farbigen Strahl, mit welchem man zu thun hat, dividiren, um den Sinus $r\,k\,s$ zu erhalten, d. i. den Winkel, welchen die durch gegenseitige Einwirkung *im* Wasser abgelenkten Strahlen unter sich einschliessen. Ich habe bey Wasser, Terpentinöl und Aniesöl mit mehreren Gittern die Ablenkung für die verschiedenen farbigen Strahlen bestimmt, wovon ich die allgemeinen Resultate hier folgen lasse. Ich erinnere noch, dass, wenn der Punkt c nicht in der Axe des Theodolith liegt, die gemessenen Winkel wegen der Entfernung dieses Punktes von der Axe corrigirt werden müssen, um ein richtiges Resultat zu erhalten. Die Bezeichnungen, die ich gebrauche, sind dieselben, deren ich mich oben bedient habe.

Im Wasser ist:

$$B = \frac{0{,}00001909}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001338}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001821}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001181}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001631}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00001082}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001368}{\gamma + \delta}$$

Im Terpentinöl:

$$B = \frac{0{,}00001730}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001208}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001648}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001064}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001475}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00000973}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001315}{\gamma + \delta}$$

Im Aniesöl:

$$B = \frac{0{,}00001651}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001144}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001573}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001003}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001405}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00000909}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001249}{\gamma + \delta}$$

Es ist demnach die Ablenkung des Lichtes von der Axe, durch ein Gitter, um so kleiner, je grösser das Brechungsvermögen des Mittels ist, von welchem das Mittel umgeben ist. Multiplicirt man die eben gefundenen Werthe mit dem Exponenten des Brechungsverhältnisses, für den entsprechenden farbigen Strahl und die angezeigten brechenden Mittel, so erhält man denselben Winkel, der gefunden wird, wenn das Gitter von Luft umgeben ist. Daraus folgt:

In verschiedenen brechenden Mitteln verhalten sich, bey gleichen Gittern, die Sinus der Winkel der durch gegenseitige Einwirkung abgelenkten Strahlen umgekehrt, wie die Exponenten der Brechungsverhältnisse.

Wenn man durch (Bn) den Exponenten des Brechungsverhältnisses für den Strahl B, durch (Cn) jenen für den Strahl C u. s. w. ausdrückt; so ist allgemein:

$$B = \frac{0{,}00002541}{(\gamma + \delta)(Bn)} \qquad F = \frac{0{,}00001789}{(\gamma + \delta)(Fn)}$$

$$C = \frac{0{,}00002425}{(\gamma + \delta)(Cn)} \qquad G = \frac{0{,}00001585}{(\gamma + \delta)(Gn)}$$

$$D = \frac{0{,}00002175}{(\gamma + \delta)(Dn)} \qquad H = \frac{0{,}00001451}{(\gamma + \delta)(Hn)}$$

$$E = \frac{0{,}00001943}{(\gamma + \delta)(En)}$$

Die übrigen Gesetze sind so, wie sie bey einem Gitter in Luft gefunden wurden. Auch für die Spectra innerer und äusserer Art gilt

obiges Gesetz*). Für die mittleren unvollkommenen bin ich jedoch noch nicht von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugt.

Gegenseitige Einwirkung der durch Reflexion gebeugten Strahlen.

Ein mit Goldblättchen auf einer Seite sorgfältig belegtes Planglas bildet auf der andern Seite einen Spiegel, der einen grossen Theil des auffallenden Lichtes zurückwirft. Sind in das Gold gleiche Parallellinien in gleichen Entfernungen radirt, und man stellt dieses Gitter so vor das Fernrohr, dass das von der schmalen Oeffnung am Heliostat kommende Sonnenlicht von den Goldstreifen auf das Objectiv reflectirt werden kann, so sieht man durch das Fernrohr alle Erscheinungen, welche gesehen werden, wenn man das Licht durch dieses Gitter fahren lässt; nämlich die mittleren Spectra vollkommener Art mit allen in denselben enthaltenen Linien und Streifen, und die Spectra äusserer Art. Da die beyden Flächen des Glases an allen Stellen einen Theil des auffallenden Lichtes zurückwerfen, welches blos in der Axe gesehen wird, so ist in A so viel Licht, dass man in dem ersten Spectrum die Linien etwas schwer erkennt; bey den übrigen aber sieht man sie so gut, dass man mit Sicherheit ihren Ort bestimmen kann. Wegen der Farbe des Goldes hat das Ganze einen etwas gelben Teint, und die Räume, welche bey durchfahrendem Lichte schwarz sind, werden durch Reflexion etwas gelb gesehen.

Damit das reflectirte Licht auf das Objectiv gelangt, muss das auffallende Licht gegen die Fläche des belegten Glases etwas geneigt seyn; je kleiner der Neigungswinkel ist, desto grösser sind die Farbenspectra und ihre Abstände von der Axe. Folgende Versuche machen näher mit dieser Erscheinung bekannt. Ich erinnere, dass bey diesen Versuchen, wie bey allen übrigen, die Oeffnung am Heliostat vertikal war, dass also auch die Goldfäden des belegten Glases vertikal liefen; ferner, dass die reflectirende Fläche auf der horizontalen Scheibe in der Axe des Theodolith stund. Den Auffallswinkel des Lichtes bezeichne ich mit φ.

---

*) Schon Biot und Pouillet hatten gefunden, dass die Farbensäume, von welchen der Schatten begränzt ist, wenn man das Licht durch eine schmale Oeffnung auf ein mattgeschliffenes Glas fallen lässt, im Wasser in dem angegebenen Verhältniss kleiner sind. *Biot traité de physique exp. et math. T. 4.*

Gitter Nro. 4.

$$\varphi = 25^0\ 48'$$

D^I	$= 21'\ 16''$	D^{III}	$= 1^0\ 3'\ 47''$
D^{II}	$= 42'\ 34''$	D^{IV}	$= 1^0\ 25'\ 4''$

Diese Winkel sind, wie man sieht, grösser, als sie oben bey vertikalem Durchfahren des Lichtes durch dasselbe Gitter gefunden werden. Die Ursache dieser Veränderung wird folgendes lehren. Es sey $a\,h\,g\,k$ Fig. 8, Tab. II ein Planglas dessen Dicke $a\,g = h\,k$. Die Fläche $g\,k$ sey mit Gold belegt. Der auffallende Strahl $m\,e$ wird nach $e\,f$ gebrochen und in f nach $f\,c$ reflectirt. Wenn in das Gold auf der Fläche $g\,k$ parallele Linien radirt sind, so wird durch dieselben das Licht abgelenkt, und ein Strahl wird nach $f\,b$, ein anderer symmetrischer nach $f\,d$ fahren; ersterer wird bey dem Austritt aus dem Glase nach $b\,n$ gebrochen; letzterer nach $d\,q$; die Axe dieser Strahlen aber, d. i. der unabgelenkte Strahl $f\,c$ nach $c\,p$. Für den auffallenden Strahl $e\,f$ wird die Entfernung der Mitten der Zwischenräume der radirten Linien im Verhältniss des Sinus des Winkels $e\,f\,g$ kleiner seyn, als bey vertikal auffallendem Lichte. Bezeichnet man wie oben den Exponenten des Brechungsverhältnisses für den Strahl D mit (D n); so wird für diesen Strahl die Rechnung folgenden Gang nehmen:

$$\frac{\cos.\ m\,e\,a}{(\mathrm{D\,n})} = \cos.\ b\,e\,f$$

$$b\,e\,f = e\,f\,g = c\,f\,k = e\,c\,f$$

Aus der oben für die in brechenden Mitteln allgemein gefundenen Ablenkung, und dem eben gesagten ist:

$$\sin.\ D^I = \frac{0{,}00002175}{(\gamma+\delta)\,(\mathrm{D\,n})\sin.\ e\,f\,g} = \sin.\ c\,f\,b = \sin.\ c\,f\,d$$

$$(\mathrm{D\,n})\cos.\,(e\,c\,f + D^I) = \cos.\ n\,b\,h;$$

$$(\mathrm{D\,n})\cos.\,(e\,c\,f - D^I) = \cos.\ q\,d\,h;$$

Berechnet man auf diesem Wege für das Gitter Nro. 4 bey dem angegebenen Auffallswinkel $r\,e\,m = \varphi$, und dem Brechungs-Vermögen des Crownglases, aus welchem das gebrauchte Planglas gefertigt war, die Ablenkung der Strahlen, so erhält man nahe die oben durch Versuche

gefundenen Winkel. Für farbige Strahlen anderer Art ist die Rechnung eben so.

Radirt man auf einem belegten Planglase alles Gold weg bis auf einen einzelnen schmalen Streifen, und lässt von diesem Licht auf das Fernrohr reflectiren, so sieht man dieselben Spectra, wie wenn das Licht durch eine schmale Oeffnung von derselben Breite gegangen wäre*); allein wegen des von den Glasflächen reflectirten Lichtes sind die Abstände dieser Spectra von der Axe schwer zu bestimmen.

Da bey der Reflexion die Goldfäden dasselbe zu thun haben, was bey durchfahrendem Lichte die Zwischenräume hervorbringen, und demnach γ aus δ wird, und dennoch bey der Reflexion die Spectra äusserer Art eben dahin fallen, wo sie sind, wenn das Licht durch das Gitter fährt; so sieht man auch daraus wieder, dass man von den beyden Grössen γ und δ immer die kleinere zu nehmen habe, um den Ort der äusseren Spectra zu berechnen.

Gegenseitige Einwirkung der durch runde und viereckige Oeffnungen gebeugten Strahlen.

In den Fällen, welche wir bis jetzt untersucht haben, wirken die nur in einem Sinne gebeugten Strahlen auch nur in demselben Sinne gegenseitig ein. Ich untersuche jetzt die Fälle, in welchen Strahlen, die auch nach anderen Richtungen gebeugt sind, gegenseitig aufeinander einwirken.

Um zwey durch runde Oeffnungen gebeugte Strahlen auf das Objectiv des Fernrohr fallen zu machen, bohrte ich in ein dünnes Messingblättchen zwey kleine runde Löcher von gleicher Grösse nebeneinander. Da, wie dünn das Messing auch ist, die Ränder der Löcher doch zu dick werden, so wurde der Rand konisch ausgerieben, so dass diese runden Oeffnungen fast schneidend waren. Ein solches Blättchen, in welchem jede der beyden runden Oeffnungen 0,02227 Zoll Durchmesser hatte, und deren Mittelpunkte 0,03831 Zoll voneinander entfernt waren, stellte ich vor das

*) Die Herrn Biot und Pouillet hatten schon früher gefunden, dass, wenn man einen Spiegel gegen das auffallende Licht so sehr neigt, dass nur ein sehr dünner Strahl von ihm zurückgeworfen wird, derselbe in Hinsicht der Farbensäume dem ähnlich ist, welcher durch eine schmale Oeffnung fuhr.

Fernrohr, und trug Sorge, dass kein anderes Licht auf das Objectiv fiel, als das, welches durch die runden Oeffnungen des Blättchens gieng. Am Heliostat fiel das Licht durch eine runde Oeffnung ein. In diesem Falle sah ich, bey intensivem Sonnenlichte, durch das Fernrohr die Erscheinung, deren Mitte auf Tab. III dargestellt ist. Es stellt in dieser Figur jedes kleine Feld ein besonderes Farbenspectrum dar, wo fast in jedem alle Farben enthalten sind. Wir wissen, dass bey einer einzelnen runden Oeffnung Farbenringe gesehen werden, und dass in deren Mitte eine weisse helle Kreisfläche ist, die am Rande roth wird. Diese Kreisfläche ist bey der oben angegebenen Entfernung der runden Oeffnungen, und dem angezeigten Durchmesser derselben, in fünf farbige Streifen abgetheilt, wovon der mittlere in der Mitte weiss ist; an den Enden, wo er an die nächsten Streifen gränzt, ist er roth, und verhält sich fast ganz so an diesen Enden wie bei mittleren Spectren unvollkommener Art M^{I}, wenn nur zwey Strahlen gegenseitig einwirken. Der nächste farbige Streifen ist gegen den mittleren zu blau, gegen den äussern roth. Dieses rothe Ende verhält sich, wie M^{II} bey mittleren Spectra unvollkommener Art, durch zwey Strahlen hervorgebracht. Aehnlich so verhält sich der nächstfolgende Streifen. Dass sie symmetrisch sind, zeigt die Figur. Es ist bemerkenswerth, dass die Entfernung des äusseren Endes des letztgenannten Streifens von demselben Ende des mit ihm symmetrischen in diesem Falle etwas grösser ist, als die Länge des mittleren Streifens, die dem Durchmesser der mittleren Kreisfläche gleich ist, welche bey den Farbenringen durch eine einzelne runde Oeffnung von derselben Grösse gesehen wird. Der Farbenring, welcher bey einer einzelnen runden Oeffnung der erste nach der mittleren Kreisfläche ist, ist bey zwey runden Oeffnungen von der angegebenen Entfernung ähnlich so in Spectra abgetheilt, wie die beschriebene Kreisfläche in der Mitte, d. i. die Entfernung der in diesem Kreis enthaltenen Spectra unter sich, in der Richtung vertikal auf die mittleren Streifen, ist dieselbe wie bey letzteren. Es verhalten sich demnach die Spectra im ersten Farbenring, in Hinsicht ihrer Entfernung, ähnlich so, wie die mittleren Spectra unvollkommener Art, wenn nur zwey Strahlen gegenseitig einwirken. Dasselbe ist es mit den im zweyten Farbenring enthaltenen Spectren. Weiter von der Mitte ab werden die Spectra immer schwächer, und haben ihre Lage in parallelen Streifen.

Bey der angegebenen Grösse und Entfernung der runden Oeffnungen sind fünf solche parallele Streifen *a a*, in welchen schwache Spectra liegen, kenntlich; sie laufen mit den zuerst beschriebenen Streifen in der Mitte parallel und sind symmetrisch. Drey andere Streifen, in welchen Spectra liegen, in den Richtungen *b b*, schliessen mit ersteren einen Winkel ein, und sind ebenfalls symmetrisch. Wenn die Erscheinung die in der Figur angegebene Lage haben soll, müssen die beyden runden Oeffnungen, durch welche das Licht fährt, vor dem Objectiv in der Richtung *c c* stehen, was man ohnediess aus dem Gesagten schliesst.

Wenn die Entfernung der beyden runden Oeffnungen bey gleichem Durchmesser grösser wird, so theilt sich die Kreisfläche in der Mitte und die Farbenringe in eine grössere Anzahl Spectra ab, die aber schmäler sind, ebenso wie bey Spectren mittlerer unvollkommener Art, wenn die Entfernung der zwey gegenseitig einwirkenden gebeugten Strahlen grösser wird; der Winkel aber, welchen die parallelen Streifen *b b* mit *a a* einschliessen, wird kleiner. Ist bey gleicher Entfernung der Mitten der runden Oeffnungen der Durchmesser derselben grösser, so sind die Durchmesser der Farbenringe im umgekehrten Verhältnisse kleiner, aber die Entfernung der Spectra, welche sie enthalten, ist nahe dieselbe; also die Zahl derselben in einem Ringe kleiner. Ist der Durchmesser irgend zweyer runden Oeffnungen und die Entfernung ihrer Mitten gegeben, so kann man sich die Durchmesser der Farbenringe in der Richtung parallel mit den Streifen *a a* mittelst der allgemeinen Ausdrücke, die oben Seite 65 bey der Beugung durch eine einzelne runde Oeffnung gefunden wurden, vorher berechnen; die Abtheilungen dieser Ringe, in der Richtung vertikal auf die Streifen *a a*, sind aus den Versuchen für die mittleren Spectra unvollkommener Art bey gegenseitig einwirkenden Strahlen leicht zu finden; letzteres jedoch für die der Mitte zunächst gelegenen nur näherungsweise. Man kann sich demnach die Figur, welche die durch irgend zwey bey runden Oeffnungen gebeugten Strahlen durch gegenseitige Einwirkung entstandenen Spectra und Ringe bilden, ziemlich richtig berechnen.

Hat man in dem Blättchen, welches vor das Objectiv gestellt ist, drey runde Oeffnungen, in einer geraden Linie und in gleicher Entfernung, so ist die Erscheinung, welche durch das Fernrohr gesehen wird, in der

Hauptsache nahe dieselbe, wie bey zwey runden Oeffnungen von derselben Entfernung ihrer Mitten, mit dem Unterschiede, dass der mittlere parallele Streifen in der Kreisfläche von dem nächsten Streifen etwas mehr abgesondert ist, d. i., dass er schmäler ist. Diese Veränderung ist der ähnlich, welche wir oben beobachtet haben, als wir vorher zwey, dann drey, durch schmale Oeffnungen gebeugte Strahlen, gegenseitig einwirken liessen. Mit vier runden Oeffnungen in einer geraden Linie, bey gleicher Entfernung ihrer Mitten, geschieht diese Absonderung noch mehr, und auch die übrigen Spectra werden in der Richtung vertikal auf die Streifen *a a* schmäler, die Farben aber lebhafter. Bey Zunahme der Anzahl der durch gleiche runde Oeffnungen, die in einer geraden Linie liegen, gebeugten Strahlen, wird diese Absonderung immer kenntlicher.

Sind in das Blättchen, welches vor das Objectiv gestellt ist, vier Oeffnungen gebohrt, deren Mittelpunkte die Ecken eines Quadrates bilden, so ist die Kreisfläche in der Mitte, welche bey zwey runden Oeffnungen in parallele Streifen abgetheilt ist, in der Richtung vertikal auf diese Streifen eben so abgetheilt, so dass die Figur wie Tab. IV entsteht. In dem Blättchen, welches ich brauchte, als ich die Figur der Spectra erhielt, welche die Zeichnung darstellt, war der Durchmesser jeder runden Oeffnung 0,01596 Zoll, und ihre Mittelpunkte waren 0,02897 Zoll voneinander entfernt*). Bey diesen Blättchen verhalten sich in der durch dieselben entstandenen Erscheinung die Abtheilungen der Kreisfläche in der Mitte, nach zwey Richtungen, die sich durchkreuzen, eben so, wie bey zwey runden Oeffnungen die Abtheilungen dieser Kreisfläche in parallele Streifen. Es entstehen demnach bey dem gebrauchten Blättchen in der Mitte der Figur neun Quadrate, die durch Querdurchschnitte der drey mittleren Streifen entstehen, die wir bey zwey runden Oeffnungen beobachtet haben. Die Ecken dieser Quadrate sind abgerundet. Das mittlere Quadrat ist in der Mitte weiss, und nur an den Rändern roth, die übrigen Quadrate sind gegen das mittlere blau, nach aussen roth. Die Farbenspectra ausserhalb

*) Es ist sehr schwer, vier Löcher zu bohren, dass ihre Mittelpunkte so genau ein Quadrat bilden, als es nöthig ist. Auf einen Theil der auf diese Weise entstandenen Spectra hat eine kleine Ungleichheit in der Grösse und Entfernung der Oeffnungen sehr merklichen Einfluss. Bey den gebrauchten Blättchen waren die Masse eben nicht vollkommen gleich.

der Kreisfläche, in der Richtung parallel mit den Streifen *a a*, verhalten sich ungefähr so, wie die in den Farbenringen bey zwey runden Oeffnungen in derselben Richtung, und man kann daher die Grösse dieser Spectra, so wie die in der Mitte, ungefähr wie bey zwey Oeffnungen berechnen, wenn die Grösse der Oeffnungen und ihre Entfernungen bekannt sind. Die Lage der Spectra in der Richtung parallel mit den Streifen *c c* ist aus dem angeführten noch nicht mit Sicherheit abzuleiten. Auf diese Spectra hat eine kleine Ungleichheit in der Entfernung der runden Oeffnungen grossen Einfluss, und es sind daher noch mehr Versuche nöthig. Weiter von der Mitte ab liegen die immer schwächer werdenden Spectra in parallelen Streifen, wovon fünf kenntliche in der Richtung wie die Streifen *a a* fortlaufen; fünf schmälere laufen in der Richtung wie *c c* fort, und schliessen mit ersteren einen Winkel von 45^0 ein. Zwischen ersteren und letzteren sind noch drey Streifen *b b* sichtbar, in welchen Spectra liegen; der Winkel, welchen sie mit *a a* einschliessen, ändert sich jedoch, wenn die Entfernung der runden Oeffnungen sich ändert.

Wird bey derselben Grösse der runden, ein Quadrat bildenden, Oeffnungen ihre Entfernung grösser; so theilt sich die Kreisfläche in der Mitte in eine grössere Anzahl Quadrate ab, die daher kleiner sind; eben so, wie bey zwey runden Oeffnungen die Abtheilungen der Kreisfläche in parallele Streifen kleiner werden, wenn die Entfernung der runden Oeffnungen wächst. Aehnlich so verhält es sich mit den Spectren in den Farbenringen. Ist bey einerley Entfernung der Mitten der runden Oeffnungen ihr Durchmesser kleiner, so bleibt zwar die Grösse der einzelnen Quadrate in der mittleren Kreisfläche nahe dieselbe, da aber der Durchmesser der Kreisfläche, welche diese Quadrate enthält, in diesem Falle grösser ist, so enthält sie mehr derselben.

Enthält der Schirm, der vor das Objectiv gestellt ist, mehrere gleiche runde Oeffnungen, welche die Lage haben, dass die Mitten von je vier derselben ein Quadrat bilden, und es sind alle Quadrate gleich; so bleibt die Erscheinung ungefähr dieselbe, wie wenn man blos vier Oeffnungen hat, mit dem Unterschiede, dass die Spectra, die sie bilden, besonders in der Mitte, um so mehr abgesondert und lebhafter erscheinen, je mehr der Schirm runde Oeffnungen enthält, deren Mitten zusammenhängende Quadrate bilden. Diese Veränderung ist der ganz ähnlich, welche entsteht,

wenn man vorher zwey, dann mehrere gleiche runde Oeffnungen in gleicher Entfernung in einer geraden Linie hat.

Die Gruppirung der Farbenspectra, welche Tab. V. darstellt, entsteht wenn das Licht durch drey gleiche runde Oeffnungen fährt, deren Mittelpunkte ein gleichseitiges Dreyeck bilden. Der Durchmesser der runden Oeffnungen, bey welchen ich diese Figur erhielt, war 0,0175 Zoll, und die Entfernung ihrer Mittelpunkte von einander 0,0302 Zoll. Die Fläche, welche bey einer einzelnen runden Oeffnung in der Mitte der Farbenringe gesehen wird, enthält bey drey runden Oeffnungen von der angegebenen Grösse, Lage und Entfernung, sieben kleine runde Flächen, die da, wo sie sich berühren, etwas abgeplattet erscheinen. Die mittlere runde Fläche ist weiss, und nur am Rande etwas roth; die übrigen sind gegen erstere zu blau, nach aussen roth. Wenn die Entfernung der runden Oeffnungen, bey einerley Durchmesser derselben, grösser wird, so sieht man in der Mitte eine grössere Anzahl runder Flächen, die aber kleiner sind. Die Veränderungen dieser runden Flächen, so wie auch die der Spectra in den Farbenringen, verhalten sich ähnlich so, wie die bey vier runden Oeffnungen, die ein Quadrat bilden. Bey einer grossen Anzahl runder Oeffnungen, wo immer drey ein gleichseitiges Dreyeck bilden, sind die Spectra in Hinsicht ihrer Breite völlig abgesondert, und aus den sechs runden Flächen, die im angegebenen Falle um die mittlere runde Fläche herum liegen, entstehen sechs schmale lebhafte symmetrische Farbenspectra, die nicht mehr zusammenhängen. Auch die übrigen Spectra werden schmäler und lebhafter. Eine ähnliche Art schmaler aber vollkommener Spectra werden wir unten beschrieben sehen. Wenn die Spectra die Lage haben sollen, wie in der Figur, so müssen die drey runden Oeffnungen vor dem Fernrohr die Stellung wie *a b c* haben. Bey drey runden Oeffnungen, die ein Dreieck bilden, liegen weiter von der Mitte die Spectra in parallelen Streifen, die im ganzen Bilde nach zwölf Richtungen auslaufen.

Eine der schönsten optischen Erscheinungen ist die, welche Tab. VI. darstellt. Sie entsteht, wenn man das Licht, welches am Heliostat durch eine runde Oeffnung einfällt, durch eine grosse Anzahl viereckiger Oeffnungen, die gleich gross und gleich weit von einander entfernt sind, auf das Objectiv des Fernrohrs fahren lässt. Die Mittelpunkte der Oeffnungen bilden demnach Quadrate. Solche viereckige Oeffnungen entstehen z. B.

auch, wenn man zwey gleiche Gitter aus parallelen Fäden quer übereinander legt. Jeder Streifen, z. B. $H^{II}_{II}\,C^{II}_{II}$ stellt ein vollkommenes Farbenspectrum dar, wovon das violete Ende nach der Mitte, das rothe Ende nach Aussen gekehrt ist. An einigen Orten fallen die Spectra ineinander; an sehr vielen sind sie isolirt und vollkommen symmetrisch. Die Ursache der Entstehung dieser Figur wird folgendes lehren. Wir wissen aus den Versuchen mit den Spectren mittlerer vollkommener Art, dass, wenn man ein Gitter aus parallelen Fäden vor dem Fernrohr stehen hat, und das Licht durch eine runde Oeffnung am Heliostat einfällt, die Farbenspectra um so schmäler sind, je kleiner die Oeffnung am Heliostat ist. Man wird demnach durch das Fernrohr in der Mitte die runde Oeffnung am Heliostat, und zu beyden Seiten derselben die symmetrischen Spectra wie Tab. VI. das erste Spectrum $H^{II}_{I}\,C^{II}_{I}$, das zweyte $H^{III}_{I}\,C^{III}_{I}$, das mit diesem zusammenhängende dritte $H^{IV}_{I}\,C^{IV}_{I}$ u. s. w. sehen. Die folgenden Spectra decken sich gegenseitig immer mehr, wie wir wissen. Nach dem Gesetze, welches wir oben gefunden haben, ist die Entfernung von der Axe (der Mitte) bis zum violeten Ende des ersten Spectrum gleich der Differenz, welche man erhält, wenn man genannte Entfernung von der Entfernung des violeten Endes des zweyten Spectrum von der Axe abzieht, und man erhält dieselbe Differenz, wenn man von der Entfernung des violeten Endes des dritten Spectrum von der Axe, jene des zweyten Spectrum abzieht u. s. w., das ist, die Differenzen sind gleich; also sind in der Figur die Entfernungen $H^{II}_{I}\,H^{III}_{I}$, $H^{III}_{I}\,H^{IV}_{I}$, $H^{IV}_{I}\,H^{V}_{I}$ u. s. w. gleich. Dasselbe ist es für jede andere Art farbiger Strahlen; also auch für die rothen, und daher sind auch die Entfernungen $C^{II}_{I}\,C^{III}_{I}$, $C^{III}_{I}\,C^{IV}_{I}$, $C^{IV}_{I}\,C^{V}_{I}$ u. s. w. gleich. Die Grösse eines solchen Abstandes von einem rothen Ende eines Spectrum bis zum rothen Ende des nächsten werde ich C nennen; für die violeten Strahlen sey diese Bezeichnung H. Demnach ist der Abstand des violeten Endes des ersten Spectrum von der Axe, das ist $H^{II}_{I} = H$; der des zweyten $H^{III}_{I} = 2\,H$; der des dritten $H^{IV}_{I} = 3\,H$ u. s. w. Für die rothen Strahlen ist eben so $C^{II}_{I} = C$; $C^{III}_{I} = 2\,C$; $C^{IV}_{I} = 3\,C$ u. s. w. Nehmen wir an, es fallen auf das Objectiv Lichtstrahlen, die das *homogene* Farbenspectrum $H^{II}_{I}\,C^{II}_{I}$ bilden, dessen Lage im Fernrohr horizontal ist. Bringt man in diesem Falle vor das Objectiv ein Gitter aus parallelen Fäden in der Lage, dass die Fäden horizontal laufen, so wird dieses Gitter seine Spectra

in vertikaler Richtung haben. Bey der Voraussetzung des auffallenden Lichtes wird das Gitter den violeten Strahl des ersten Spectrum in $H^{II}_{II} = H$ haben; den des zweyten in $H^{II}_{III} = 2\,H$; den des dritten in $H^{II}_{IV} = 3\,H$; den des vierten $H^{II}_{V} = 4$ H. u. s. w. Die rothen Strahlen werden ebenfalls in der Verlängerung einer vertikalen geraden Linie liegen; nämlich in $C^{II}_{II} = C$ für das erste Spectrum; in $C^{II}_{III} = 2\,C$ für das zweyte; in $C^{II}_{IV} = 3\,C$ für das dritte u. s. w. Die zwischenliegenden Strahlen z. B. die grünen werden ihre Lage nach demselben Gesetze haben, und daher wird $H^{II}_{II}\,C^{II}_{II}$ ein vollständiges Farbenspectrum seyn, welches wegen des Gesetzes, nach welchem das Gitter auf die verschiedenfarbigen Strahlen wirkt, eine schiefe Lage hat. Das zweyte Farbenspectrum, welches durch das angenommene Gitter entsteht, wird $H^{II}_{III}\,C^{II}_{III}$ seyn; es ist, weil $C^{II}_{III} = 2\,C$ und $H^{II}_{III} = 2\,H$, länger als das erste, und hat aus denselben Gründen eine gegen die Horizontallinie weniger geneigte Lage. Das dritte Spectrum $H^{II}_{IV}\,C^{II}_{IV}$ ist aus derselben Ursache länger als das zweyte, und weniger geneigt u. s. w. Fallen mit den Strahlen, die als auffallend angenommen wurden, noch andere auf, die ohne Gitter mit horizontalen Fäden die sich theilweis deckenden Spectra $H^{III}_{I}\,C^{III}_{I}$, $H^{IV}_{I}\,C^{IV}_{I}$, $H^{V}_{I}\,C^{V}_{I}$ u. s. w. bilden, so werden durch das Gitter mit den horizontalen Fäden z. B. die Strahlen $H^{III}_{I}\,C^{III}_{I}$ ihr erstes Spectrum in $H^{III}_{II}\,C^{III}_{II}$, ihr zweytes in $H^{IIII}_{III}\,C^{IIII}_{III}$, ihr drittes in $H^{III}_{IV}\,C^{III}_{IV}$ u. s. w. haben, die ebenfalls länger werden, und ihre schiefe Lage ändern. Die auffallenden Strahlen, welche $H^{IV}_{I}\,C^{IV}_{I}$ bilden, werden durch das Gitter ihr erstes Spectrum in $H^{IV}_{II}\,C^{IV}_{II}$, ihr zweytes in $H^{IV}_{III}\,C^{IV}_{III}$, ihr drittes in $H^{IV}_{IV}\,C^{IV}_{IV}$ u. s. w. haben, und werden, so wie die vorher beschriebenen, symmetrisch seyn. Dasselbe geschieht den übrigen, als auffallend angenommenen Strahlen. Hat man vor dem Fernrohr ein Gitter mit parallelen vertikal-laufenden Fäden stehen, so fallen bekanntlich die Strahlen auf das Objectiv, so wie wir sie uns in obigen Fällen als auffallend gedacht haben; stellt man hinter dieses Gitter ein gleiches mit horizontallaufenden Fäden, so ist die Bedingniss erfüllt, und es muss mit diesen beyden Gittern die Lage der verschiedenen Spectra gesehen werden, wie sie Tab. VI. darstellt. Es ist ganz gleichgiltig, ob man das eine oder das andere Gitter vornhin stellt, oder dahin gestellt sich denkt, und daher ist z. B. $H^{II}_{III}\,C^{II}_{III}$ das zweyte Spectrum in vertikaler Richtung und zugleich das erste in horizontaler Richtung; $H^{V}_{IV}\,C^{V}_{IV}$ ist das dritte vertikal, das

vierte horizontal u. s. w., was auch die Ursache ist, wesswegen die Spectra an ihren Enden nicht schief sind, sondern vertikal abgeschnitten scheinen. Die Figur auf Tab. VI. entsteht demnach durch zwey Masse H und C, welche die Differenzen der Glieder einer arithmetischen Reihe sind, wo jede nach zwey unter einem rechten Winkel sich durchschneidenden Richtungen symmetrisch fortläuft. Das erste Glied dieser Reihe ist, wie wir wissen, der Differenz gleich. Genanntes Verhältniss ist die Ursache der Regelmässigkeit in der Lage der verschiedenen Spectra; hierin ist auch der Grund zu suchen, warum z. B. die Spectra H^{III}_{III} C^{III}_{III}, H^{IV}_{IV} C^{IV}_{IV}, H^{V}_{V} C^{V}_{V} u. s. w. in eine gerade Linie fallen.

Bey verschiedenen Gittern von der beschriebenen Art verhalten sich die Abstände der Farbenspectra von der Mitte, oder die Grösse derselben, umgekehrt wie die Entfernungen der Mitten der Zwischenräume des Gitters.

Die beschriebenen Spectra sind, wie wir aus ihrer Entstehung sehen, mittlere vollkommener Art, mit dem Unterschiede, dass in ihnen die Linien und Streifen nicht gesehen werden können; theils weil die runde Oeffnung am Heliostat nicht zu klein gemacht werden darf, damit in dem grossen Raume noch Licht genug ist, und bey grosser Oeffnung die Linien aus bekannten Gründen nicht gesehen werden können; theils weil bey einer sehr kleinen Oeffnung die Spectra auch sehr schmal sind, also nur eine Linie bilden, in einer Linie aber nicht wieder Querlinien gesehen werden können. Auch die Spectra äusserer Art sieht man mit Quergittern, die nicht sehr fein sind; sie bilden meist eine eigene sonderbare Figur. Ich habe zu diesen Versuchen gewöhnlich zwey Gitter, wie Nro. 10. gebraucht.

Wenn man zwey ungleiche Gitter quer hintereinander stellt, so ist die Grösse der Farbenspectra nach einer Richtung anders, als nach der anderen. Sind z. B. die Entfernungen der Mitten der Zwischenräume desjenigen Gitters, dessen Fäden horizontal laufen, grösser als die, welche vertikal laufen, so werden die Masse H und C in horizontaler Richtung grösser seyn, als in vertikaler, und zwar in umgekehrtem Verhältniss der Entfernung der Mitten der Zwischenräume. Die Lage der Farbenspectra ändert sich demnach im angegebenen Verhältnisse, und sie bleiben doch symmetrisch.

Stellt man zwey Gitter so hintereinander, dass die Fäden sich nicht

unter einem Winkel von 90^0 durchschneiden, sondern unter irgend einem andern; so werden die viereckigen Oeffnungen, welche durch diese beyden Gitter gebildet werden, Rauten seyn, und die Lage der Farbenspectra, die in diesem Falle gesehen werden, weicht um so mehr von jener ab, welche Tab. VI. darstellt, je mehr genannter Winkel von 90^0 abweicht; doch ist diese Lage in allen Fällen symmetrisch.

Die Erscheinungen durch gegenseitiges Einwirken des durch runde und eckige Oeffnungen gebeugten Lichtes können ins Unendliche abgeändert werden, aber immer lassen sie sich auf dieselben Gesetze zurückführen.

Der dünne Theil des Bartes der meisten Vogelfedern enthält, mit dem Mikroskope besehen, regelmässige kleine Zwischenräume. Schon wenn man mit unbewaffnetem Auge durch diesen Bart nach einem nicht zu nahe gelegenen stark leuchtenden Punkte sieht, erkennt man Farbenspectra, die eine eigene Lage haben. Bringt man einen solchen Bart vor das Fernrohr, und lässt Sonnenlicht durch denselben fahren, welches durch eine runde Oeffnung am Heliostat einfällt, so sieht man Spectra äusserer und mittlerer Art, die eine sonderbare Lage haben. Die Spectra, welche man schon mit unbewaffnetem Auge durch den Bart der Federn sieht, sind die äusserer Art, die sehr gross sind, aber schwaches Licht haben, wesswegen sie durch das stark vergrössernde Fernrohr leicht übersehen werden, wenn man nicht auf ihre Entfernung von der Axe aufmerksam ist.

Bey einigen Gittern aus parallelen Fäden glaubt man ausserhalb des Raumes, den die Breite der Spectra einnimmt, also im dunklen Felde, die Fäden des Gitters selbst durch das Fernrohr zu sehen, was doch, wenn man den Weg des Lichtes verfolgt, nicht möglich ist; man könnte vielleicht glauben, dieses Licht gelange durch innere Reflexion an den Flächen des Objectivs dahin. Aber diess ist nicht der Fall, denn man kann das Okular, selbst einen Zoll hineinschieben oder herausziehen, und die Fäden bleiben immer sichtbar. Diese Fäden haben auch eine eigene Farbe; es ist nämlich immer einer rothgelb, der andere blaugrün, der dritte wieder rothgelb u. s. w. Ich werde bey einer andern Gelegenheit auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Interessant ist auch die Erscheinung, welche man durch ein Fernrohr beobachtet, wenn man das Licht durch eine dreyeckige gleichseitige Oeffnung auf das Objectiv fallen lässt.

Es möchte auffallen, wie den Naturforschern bis jetzt so viele Erscheinungen entgehen konnten, und dass sie z. B. das einfache Gesetz, nach welchem bey einer einzelnen Oeffnung, die Ablenkung des Lichtes sich umgekehrt verhält, wie die Breite der Oeffnung, nicht fanden, sondern von diesem weit abweichende Resultate erhielten. Die Ursache liegt in der Beobachtungsweise. Man würde in ähnliche Irrthümer gerathen, wenn man z. B. den Weg des farbigen Lichtes durch Glaslinsen dadurch bestimmen wollte, dass man das durch dieselben gebrochene Licht in verschiedenen Entfernungen auffängt und misst. Diese Beobachtungsweise ist schuld, dass den Naturforschern die Erscheinungen durch gegenseitige Einwirkungen der Strahlen entgiengen*), welche erst mit den Gesetzen der Beugung genau bekannt machen; denn wenn man das Licht, welches z. B. durch ein Gitter gefahren ist, mit einer weissen Fläche oder einem mattgeschliffenen Glase auffängt, so sieht man auch nicht in kleinem Massstab das, was man durch ein Fernrohr mit dem Gitter beobachtet, und erkennt überhaupt nichts; die Ursache davon ist leicht einzusehen.

Es ist merkwürdig, dass die gefundenen Gesetze der gegenseitigen Einwirkung und Beugung der Strahlen sich aus den Prinzipien der wellenförmigen Bewegung (Undulation) folgern lassen; dass man blos aus dem Winkel der Ablenkung des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und der Entfernung, in welcher die Strahlen gegenseitig einwirkten, die Grösse einer Schwingung des Lichtes für jede Farbe desselben durch eine äusserst einfache Gleichung ableiten kann, und dass diese Bestimmungen in den verschiedensten Fällen im hohen Grad genau übereinstimmen; ferner, dass dieselben Prinzipe eine Erklärung der Ursache der Entstehung der Linien und Streifeu, die in dem durch ein Prisma gebildeten Farbenspectrum gesehen werden, zulassen u. s. w. Ich werde bey einer andern

---

*) T. Young hatte schon beobachtet, dass die Farbensäume, welche man im Innern des Schattens eines Haares beobachtet, verschwinden, wenn man einen Rand zudeckt, so dass also die beyden an den Rändern des Haares vorbeygehenden Strahlen zur Hervorbringung der inneren Farbensäume zusammenwirken müssen.

Gelegenheit die Theorie der gegenseitigen Einwirkung und Beugung der Lichtstrahlen bekannt machen.

Die Erscheinungen durch gegenseitige Einwirkung und Beugung des Lichtes sind, wie wir aus den gefundenen Gesetzen sehen, unzählig mannigfaltig, und was man bisher davon kannte, sind nur wenige spezielle Fälle. Die Theorie wird uns auch mit denjenigen Erscheinungen bekannt machen, welche man auf dem von mir eingeschlagenen Wege keiner weitern Untersuchung unterwerfen kann*).

Ich kann nicht oft genug wiederholen, dass alles, was man zu diesen Versuchen braucht, im hohen Grade vollkommen seyn soll; man kann das z. B. aus dem Verhalten der Dimensionen eines Gitters zur Grösse der Spectra u. s. w. leicht abnehmen. Eine unbedeutend scheinende Ungleichheit oder Unvollkommenheit kann grosse Undeutlichkeit oder ein ganzes Verlöschen der Erscheinungen hervorbringen; daher man wohl überlegen muss, was von schädlichem Einflusse ist. Mehr als bey allen übrigen optischen Erscheinungen muss man sich bey diesen vor Täuschungen zu schützen suchen.

Es wird mir Belohnung genug seyn, wenn ich durch Bekanntmachung gegenwärtiger Versuche die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf diesen Gegenstand gelenkt haben werde, der für die physische Optik noch viel verspricht, und ein neues Feld zu eröffnen scheint.

---

*) Dahin gehören: die Farbensäume, die im Schatten eines einzelnen Randes eines Körpers gesehen werden; auch die Erscheinungen, welche Hr. Hofrath Mayer unlängst beobachtet und in den Göttinger Commentaren Vol. IV. pag. 49 beschrieben hat.

Uebersicht des Inhalts der Abhandlung:

Neue Modification des Lichtes
durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben.

Einleitung.

I. Abtheilung.

Beugung des Lichtes durch eine einzelne Oeffnung.

Beobachtung der Erscheinungen der Beugung des Lichtes durch eine einzelne schmale Oeffnung mittelst eines Fernrohrs.

Darstellung der auf diese Weise gesehenen Farbenspectra durch Fig. III Tab. I und Beschreibung der Abwechslung der Farben und Symmetrie der Spectra.

Beschreibung des Theodolith mittelst welchen die Winkel der Abstände der verschiedenen Spectra gemessen wurden.

Beschreibung des Instrumentes, mit welchem die Breite der Oeffnung, durch welche das Licht gebeugt wird, bestimmt wurde.

Tabelle über die Bestimmungen der Abstände der durch eine schmale Oeffnung entstandenen Farbenspectra bey verschiedenen Breiten dieser Oeffnung.

Gesetze der Beugung durch eine schmale Oeffnung. Allgemeine Ausdrücke für die Winkel-Abstände der verschiedenen Spectra bey jeder Breite der Oeffnung. Untersuchung über die Homogenität des durch eine einzelne Oeffnung gebeugten farbigen Lichtes. Untersuchung der Beugung an zwey Rändern die vom leuchtenden Punkt ungleich entfernt sind, und Beschreibung der dadurch entstandenen nicht symmetrischen Spectra und ihr Verschwinden. Beweis, dass das Licht welches auffällt nicht

schon modificirt ist. Beugung des Lichtes durch eine einzelne viereckige Oeffnung und Beschreibung der dadurch entstandenen Farbenspectra dargestellt durch Fig. 2 Tab. II.

Allgemeine Ausdrücke für die Abstände dieser Spectra. Beugung des Lichtes durch eine runde Oeffnung und die dadurch entstandenen Farbenringe. Tabelle über die Bestimmungen der Winkelabstände der verschiedenen Farbenringe bey verschiedenen Durchmessern der runden Oeffnungen. Gesetze der Beugung durch runde Oeffnungen. Allgemeine Ausdrücke für die Winkelabstände der Farbenringe bey jedem Durchmesser der Oeffnung. — Beugung des Lichtes durch eine Kreislinie und Entstehung vollständiger und unvollständiger Farbenringe durch dieselben, dargestellt durch Fig. 3 Tab. II.

Allgemeine Ausdrücke für die Grösse dieser Ringe.

II. Abtheilung.

Gegenseitige Einwirkung einer grossen Anzahl gebeugter Strahlen.

Vorrichtung, um eine grosse Anzahl gleichstark gebeugter Strahlen auf das Objectiv eines Fernrohres fallen zu machen.

Modification des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung vieler gebeugten Strahlen.

Beschreibung der durch gegenseitige Einwirkung entstandenen homogenen Farbenspectra und die in denselben enthaltenen fixen Linien durch Fig. I Tab. I dargestellt.

Gegenseitiges theilweises Decken der aufeinander folgenden Spectra.

Verhalten der Grösse der neuen Spectra zur Entfernung in welcher die gebeugten Strahlen gegenseitig einwirken.

Sichtbarkeit der Spectra erster Art, wie sie durch Beugung bey einer einzelnen Oeffnung gesehen werden, bey gegenseitiger Einwirkung sowohl ausserhalb als in den homogenen Spectra. Entmischung der sich deckenden Theile der homogenen Spectra durch Brechung der ungleich brechbaren Strahlen.

Bestimmungen der Winkelabstände der durch gegenseitige Einwirkung entstandenen Spectra mittelst der in denselben enthaltenen fixen Linien, bey verschiedenen in gleicher Entfernung einwirkenden Strahlen.

Einfluss einer Ungleichheit in der Entfernung der gegenseitig einwirkenden Strahlen. Ort der Spectra erster Art bey gegenseitiger Einwirkung. Theilweises Verlöschen der homogenen Spectra in einigen Fällen.

Gesetze der gegenseitigen Einwirkung gebeugter Strahlen. Allgemeine Ausdrücke für die Winkelabstände der verschiedenen farbigen Strahlen bey gegenseitiger Einwirkung.

Verhalten der Räume, welche in einem Spectrum die homogenen Farben einnehmen, in Vergleich mit jenen durch ein Prisma hervorgebrachten Spectrum. Divergenz der farbigen Strahlen.

Versuche über die gegenseitige Einwirkung der Strahlen in verschiedenen Entfernungen vom Fernrohr.

III. Abtheilung.

Gegenseitige Einwirkung von zwey, drey u. s. w. gebeugten Strahlen.

Entstehung einer dritten Art Farbenspectra durch gegenseitiges Einwirken zweyer gebeugten Strahlen und Sichtbarkeit der Spectra erster Art ausserhalb den ebengenannten.

Entstehung einer vierten Art Farbenspectra durch gegenseitiges Einwirken von drey, vier u. s. w. gebeugten Strahlen.

Sichtbarkeit der Spectra erster, dritter und vierter Art zugleich. Verminderung der Grösse der Spectra vierter Art bey Zunahme der Anzahl der gegenseitig einwirkenden Strahlen. Verhalten der Grösse der Spectra dritter und vierter Art zur Entfernung in welcher die Strahlen gegenseitig einwirken.

Allmählicher Uebergang der Spectra dritter Art in die zweiter Art bey Zunahme der Anzahl der gegenseitig einwirkenden Strahlen.

Bestimmung der Winkelabstände der Spectra dritter und vierter Art in verschiedenen Fällen. — Gesetze der Spectra vierter Art und allgemeine Ausdrücke für die Winkelabstände derselben.

Hervorbringung der Spectra erster Art durch besondere Mittel.

Modifikation der Spectra dritter Art durch die erster Art.

IV. Abtheilung.

Gegenseitige Einwirkung der im Wasser und andern brechenden Mitteln gebeugten Strahlen.

Weg des gebeugten Lichtes in brechenden Mitteln.

Bestimmung der Winkelabstände der durch gegenseitige Einwirkung abgelenkten Strahlen, im Wasser, im Terpentinöl, im Aniesöl.

Gesetz der gegenseitigen Einwirkung in brechenden Mitteln.

Allgemeine Ausdrücke für die Winkelabstände der verschiedenfarbigen Strahlen für Spectra zweyter Art in brechenden Mitteln.

V. Abtheilung.

Gegenseitige Einwirkung der durch Reflexion gebeugten Strahlen.

Entstehung der Spectra zweyter Art durch Reflexion.

Bestimmung der Winkelabstände der durch Reflexion gegenseitig einwirkend abgelenkten Strahlen. Weg der Strahlen bey gegenseitiger Einwirkung durch Reflexion.

VI. Abtheilung.

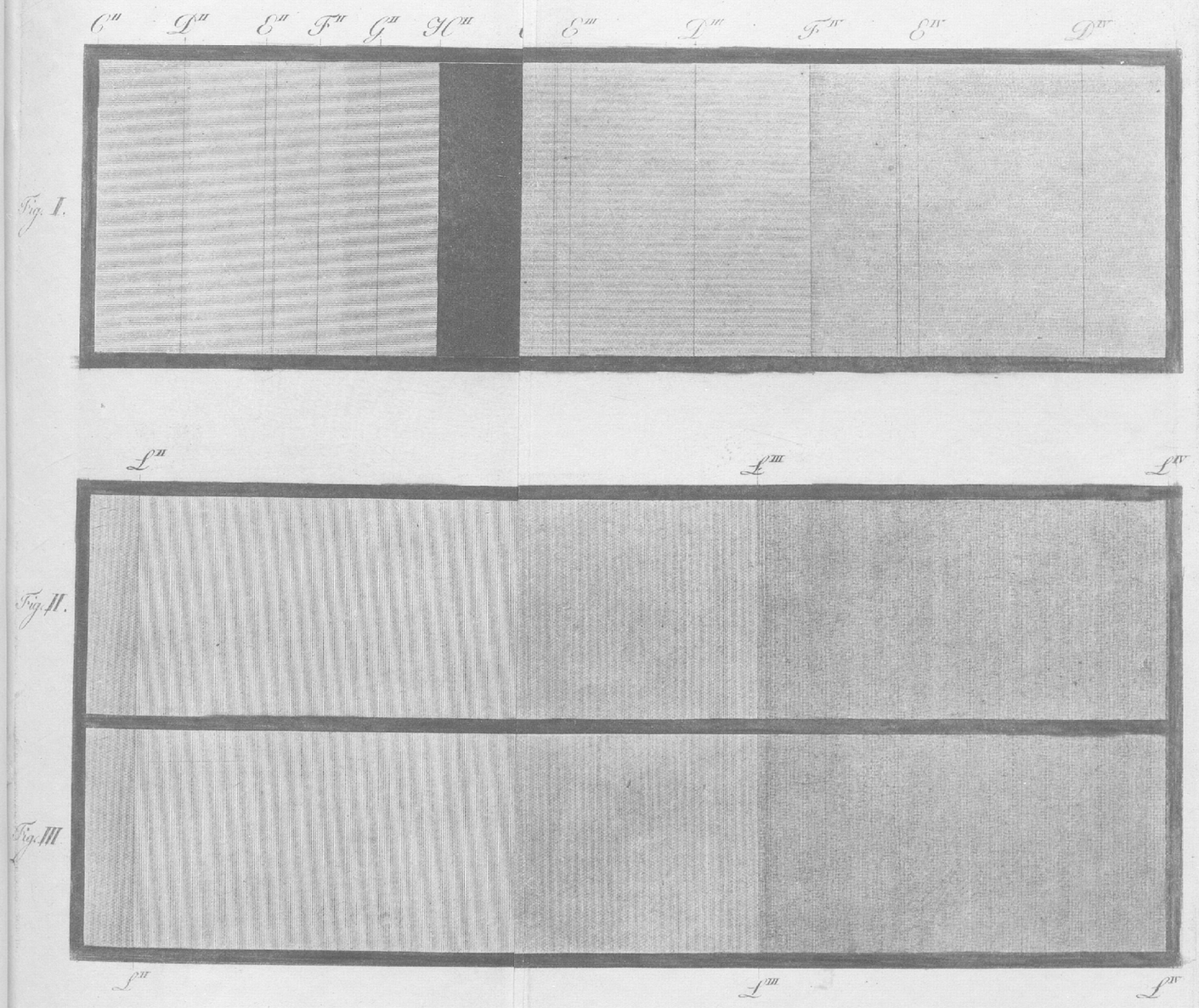
Gegenseitige Einwirkung der durch runde und viereckige Oeffnungen gebeugten Strahlen.

Erscheinung hervorgebracht durch gegenseitige Einwirkung zweyer durch runde Oeffnungen gebeugten Strahlen, dargestellt durch Tab. III. Veränderung dieser Erscheinung mit der Grösse der runden Oeffnungen und ihrer Entfernung.

Erscheinung wenn vier durch runde Oeffnungen gebeugte Strahlen gegenseitig einwirken, durch Tab. IV dargestellt. — Veränderungen mit der Grösse der runden Oeffnungen und der Entfernung derselben. Gegenseitige Einwirkung dreyer durch runde Oeffnungen gebeugten Strahlen. Darstellung dieser Erscheinung durch Tab. V, Veränderungen derselben. Erscheinung durch Einwirkung einer grossen Anzahl durch viereckige Oeffnungen gebeugten Strahlen hervorgebracht, durch Tab. VI dargestellt. Gesetze dieser Erscheinung.

Anhang.

Tab. I.



Fraunhofer del et sculpt

Fig. I.

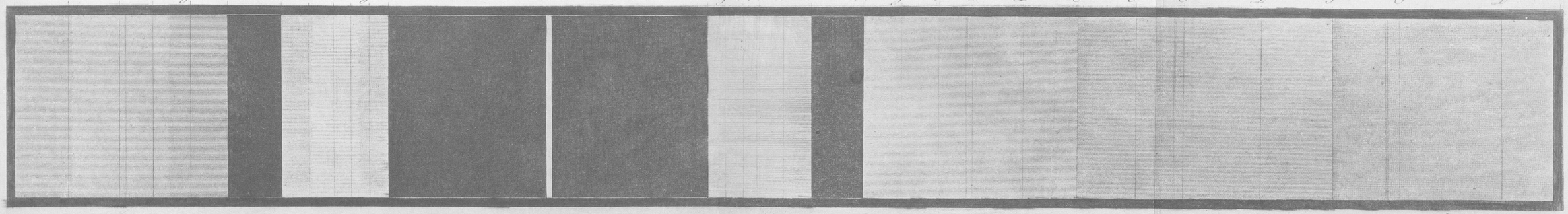


Fig. II.

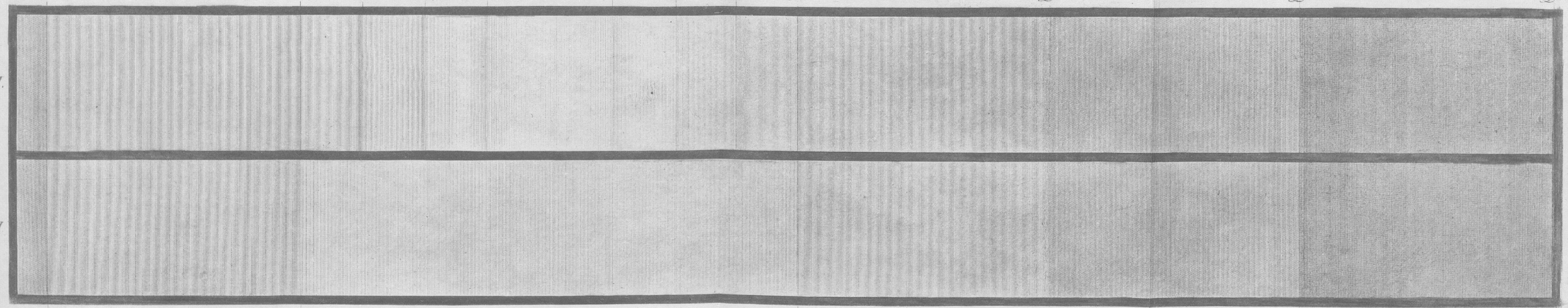
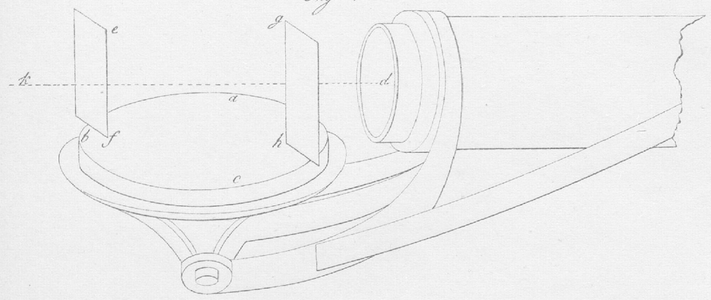


Fig. III

Zu Fraunhofer's Gesetze der Beugung des Lichtes. Denksch. B. VIII.

Fraunhofer del et sculpt

Fig. 1.



Figs. 4.

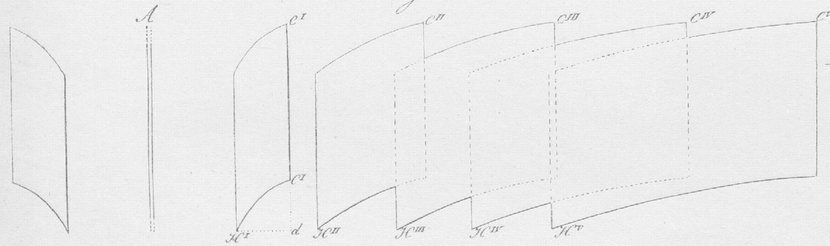


Fig. 5.

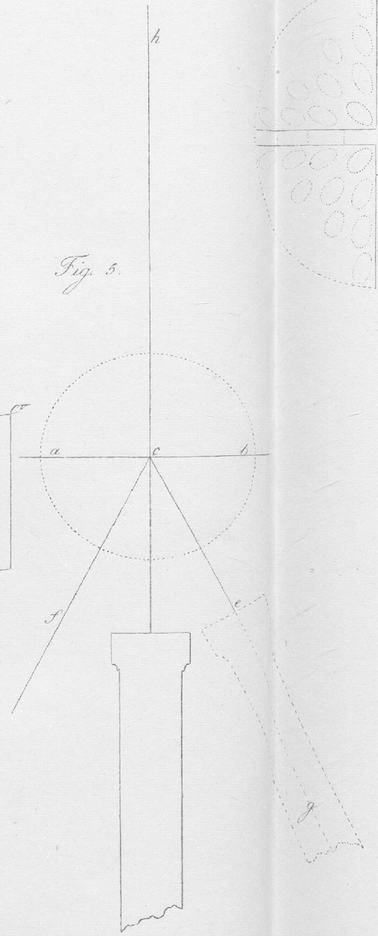
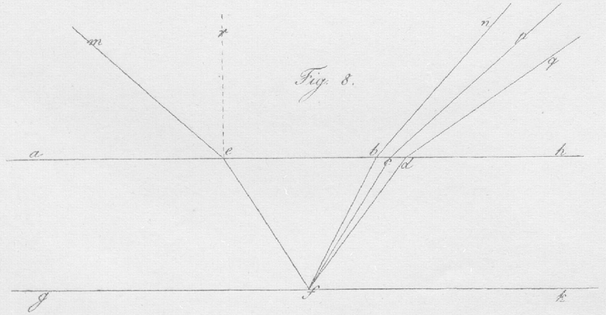


Fig. 8.



Fraunhofer del.

Zu Fraunhofers Gesetze der Beugung des Lichtes.

Fig. 2.

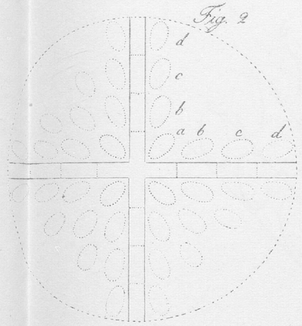


Fig. 6.

Fig. 3.

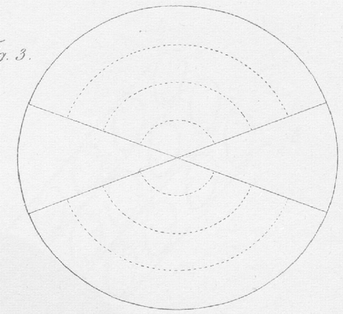


Fig. 7.

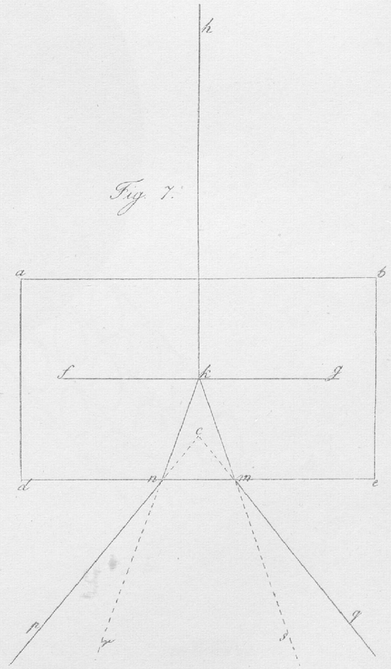


Fig. 1.

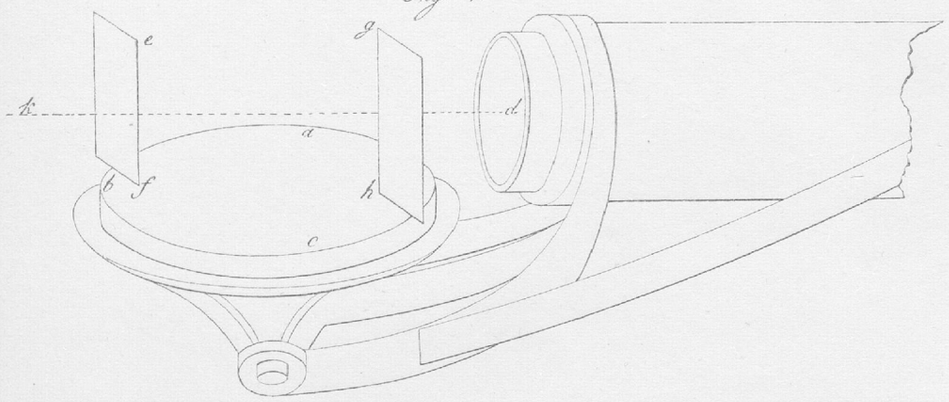


Fig. 5.

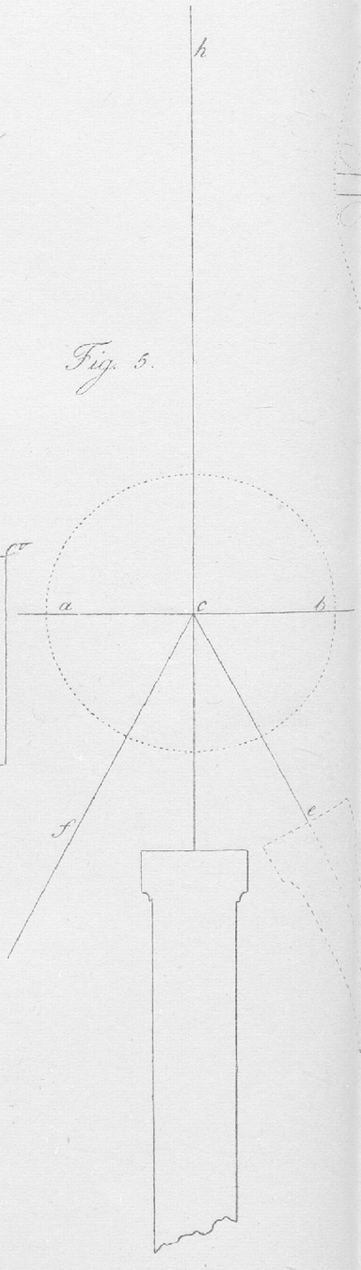


Fig. 4.

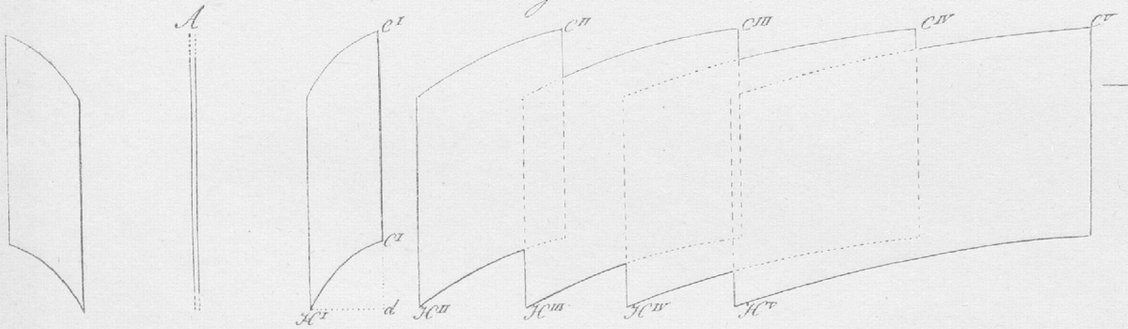
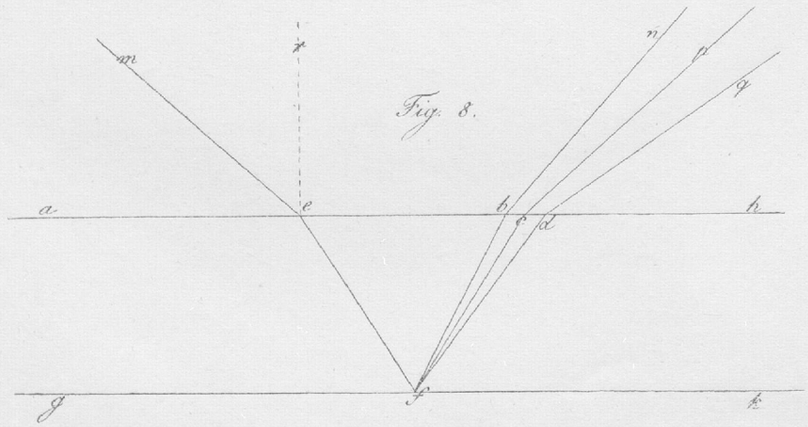


Fig. 8.



Fraunhofer del.

Zu Fraunhofers Gesetze der Beugung des L

Tab. II.

Fig. 2

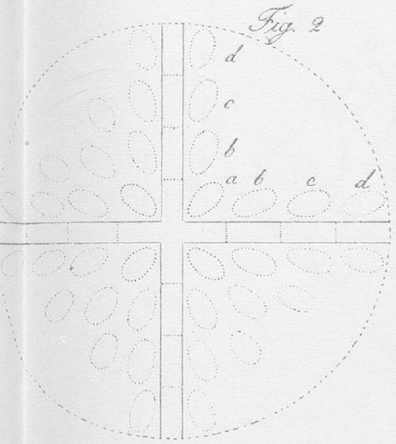


Fig. 3.

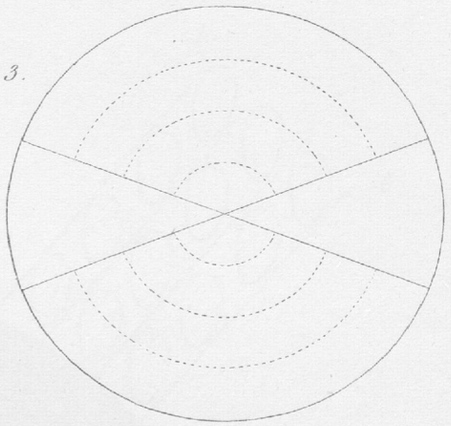


Fig. 6

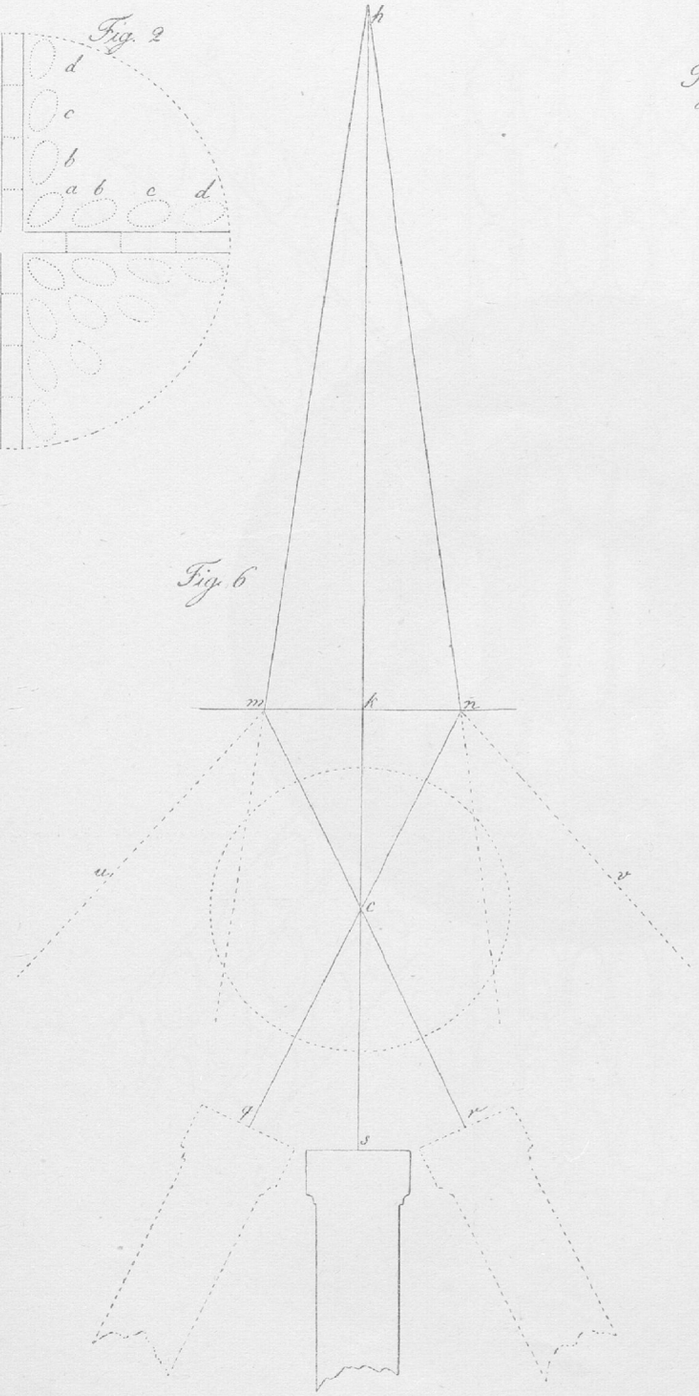
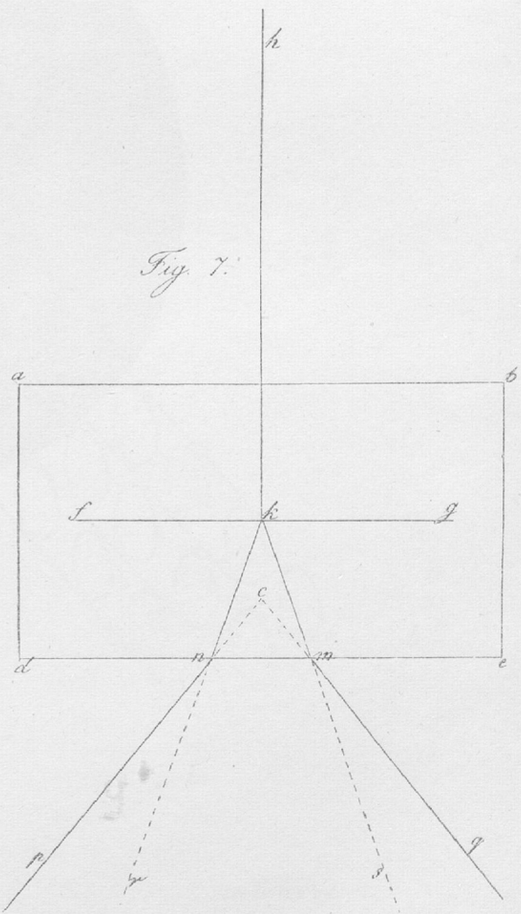
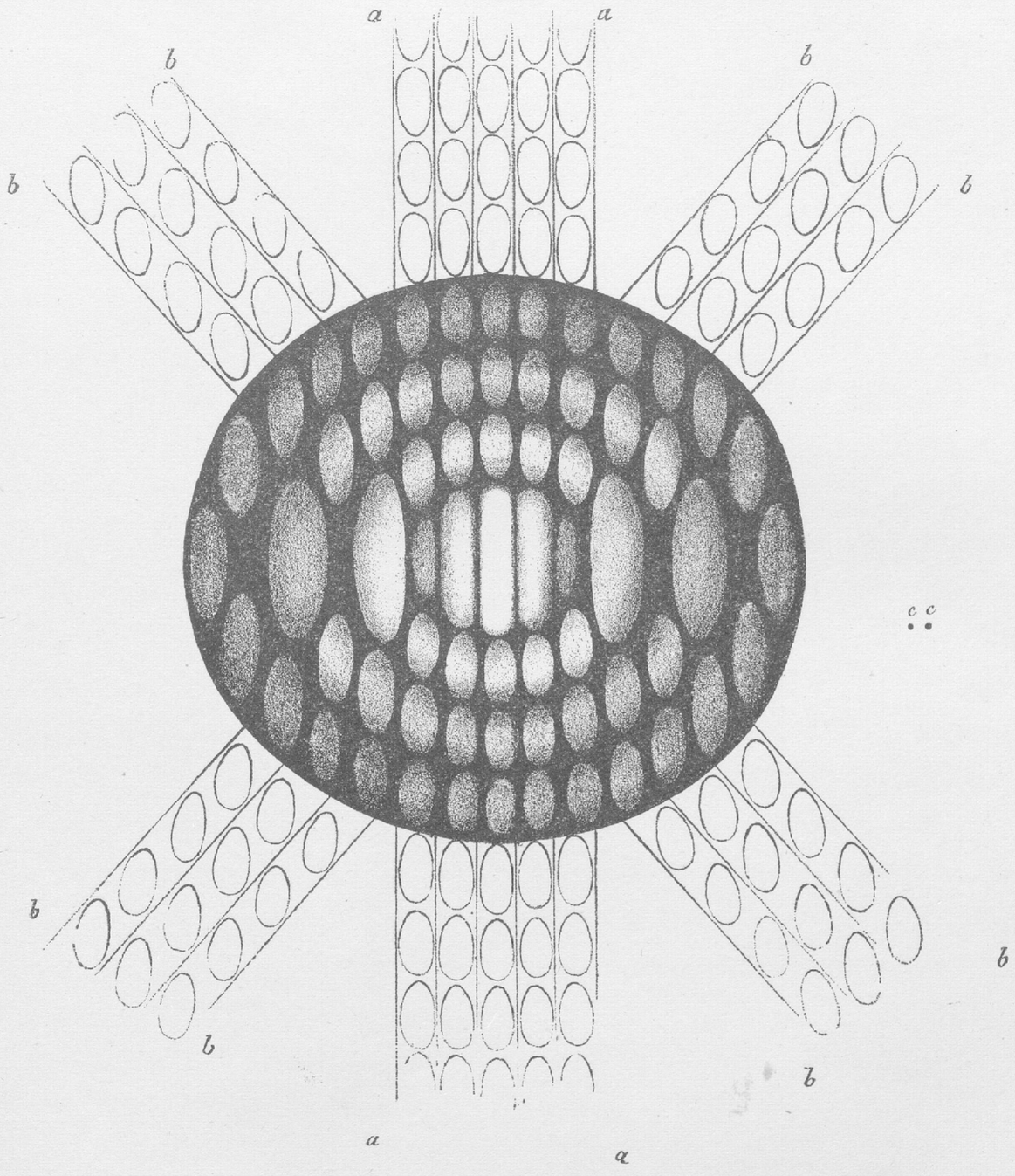


Fig. 7.



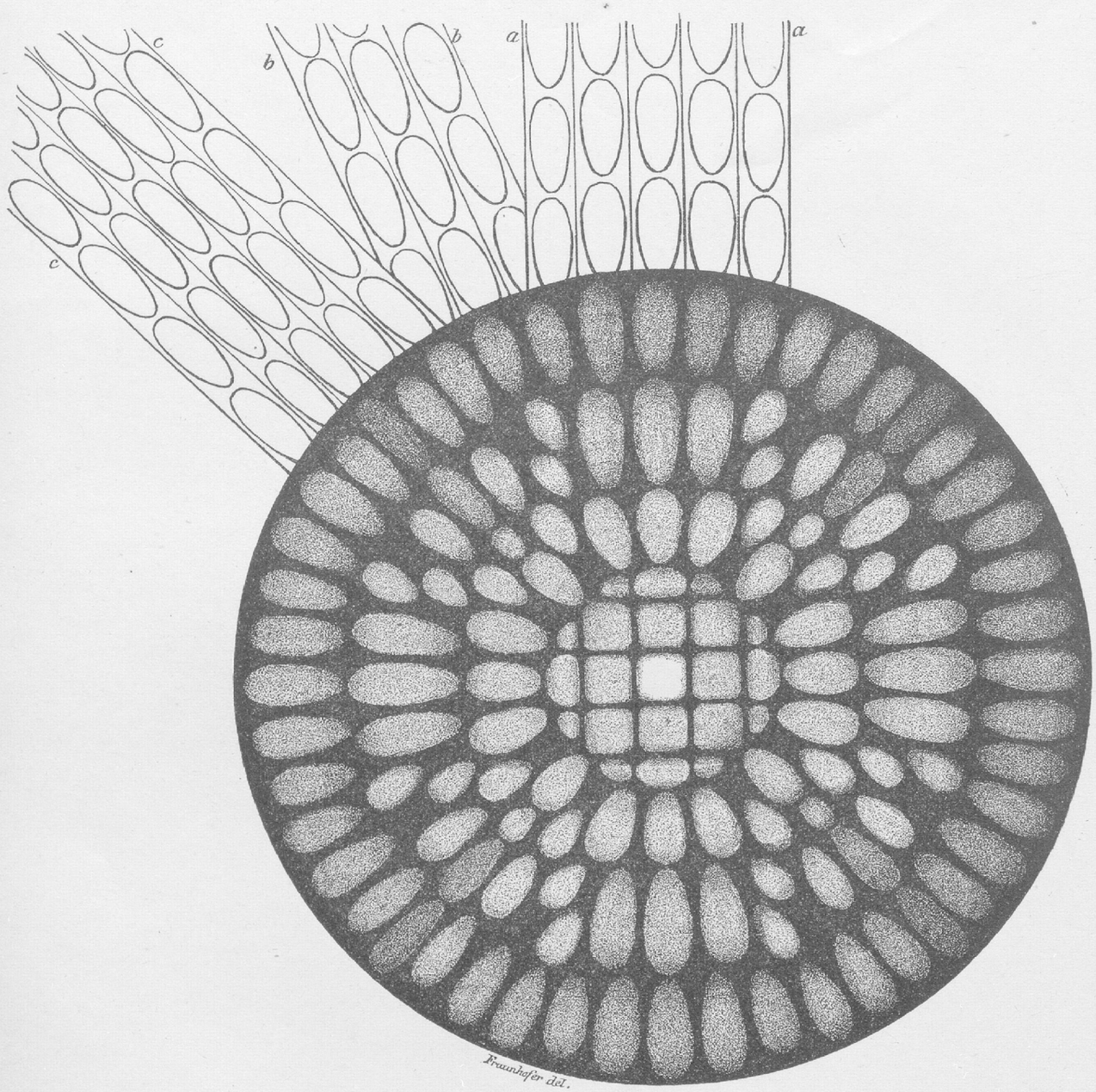


Bezeichnung des Lichtes.

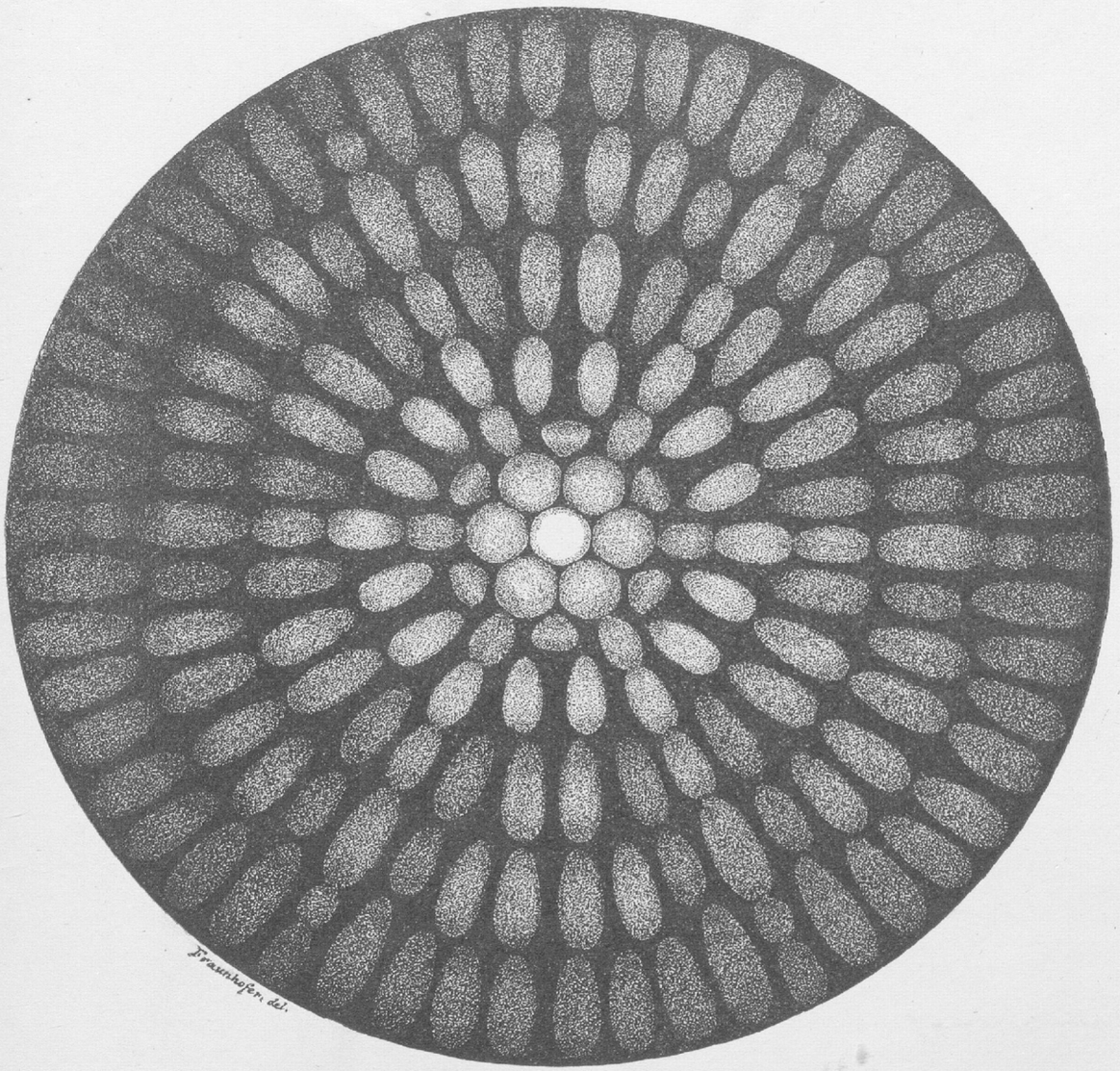


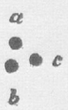
Fraunhofer del.

Zu Fraunhofer's Gesetze der Beugung des Lichtes.



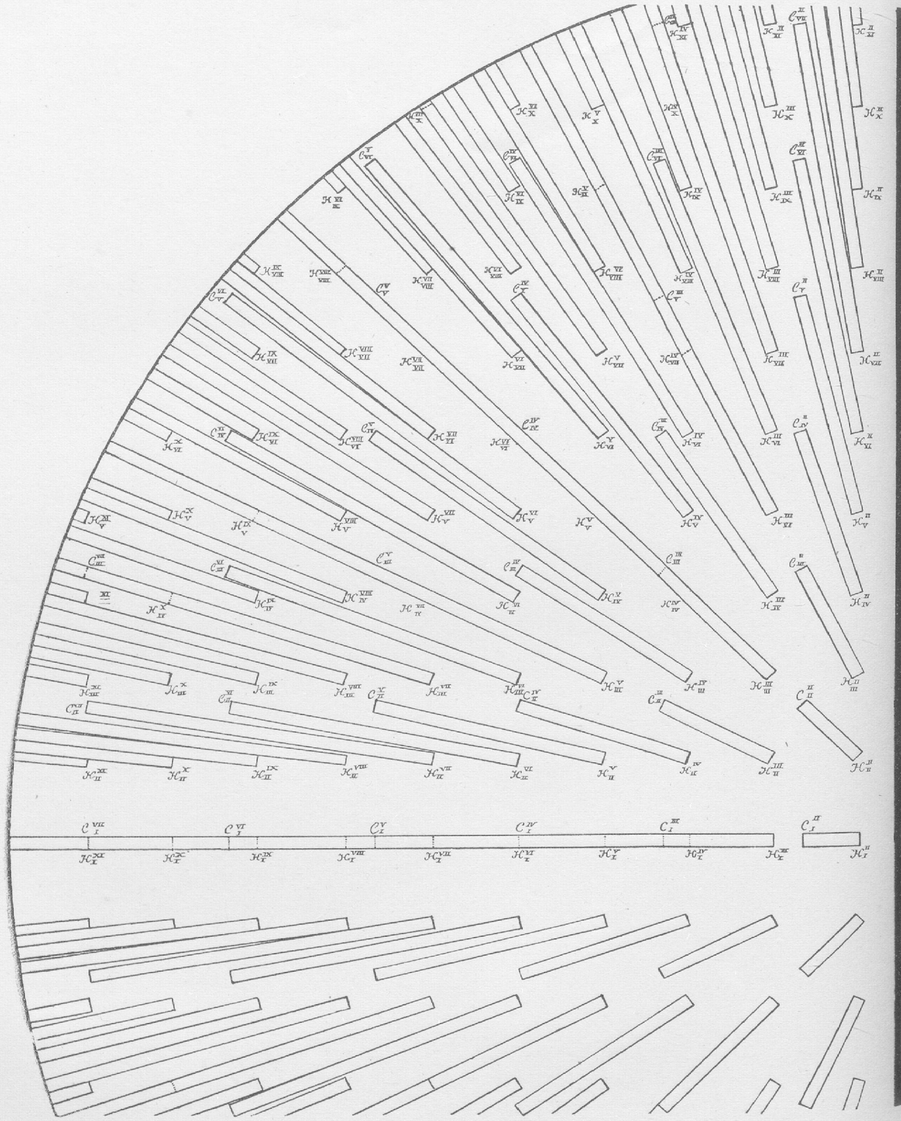
Zu Fraunhofer's Gesetze der Beugung des Lichtes.

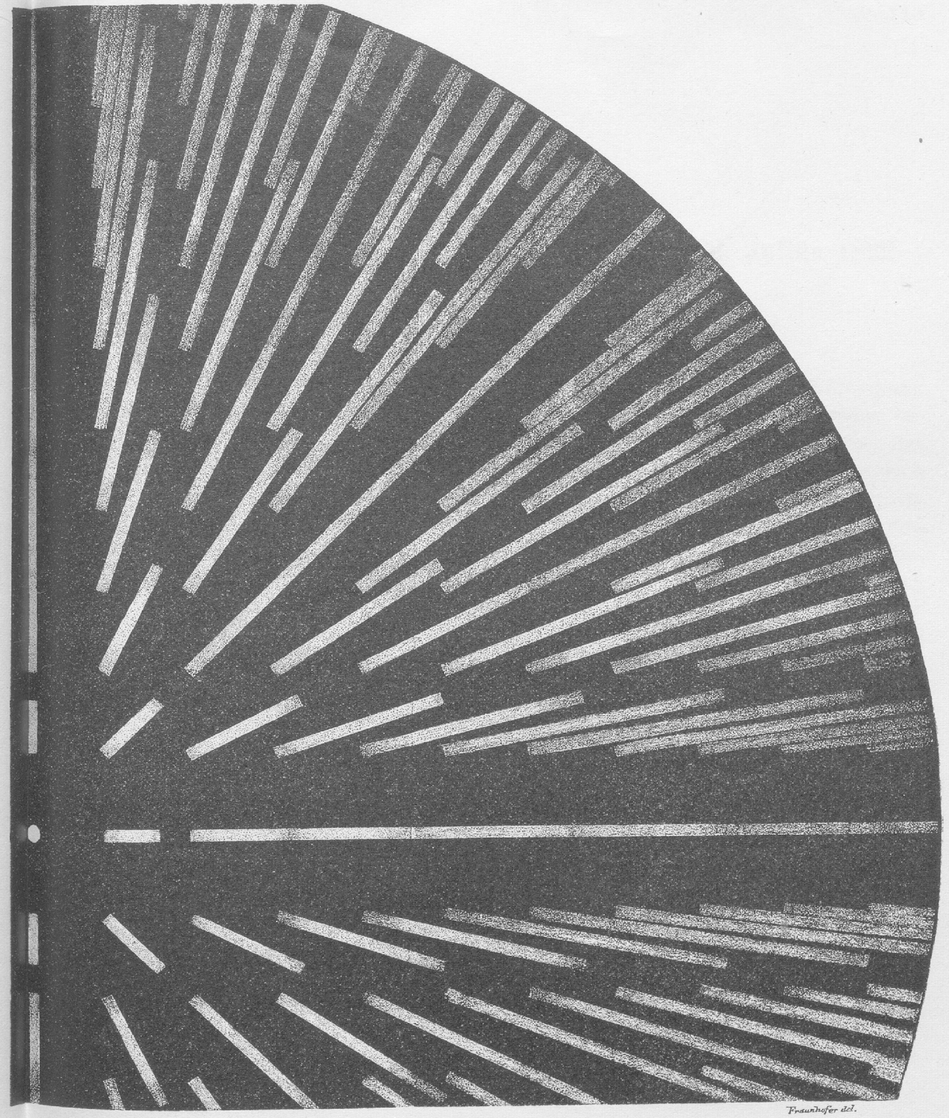




Zu Fraunhofer's Gesetze der Beugung des Lichtes.

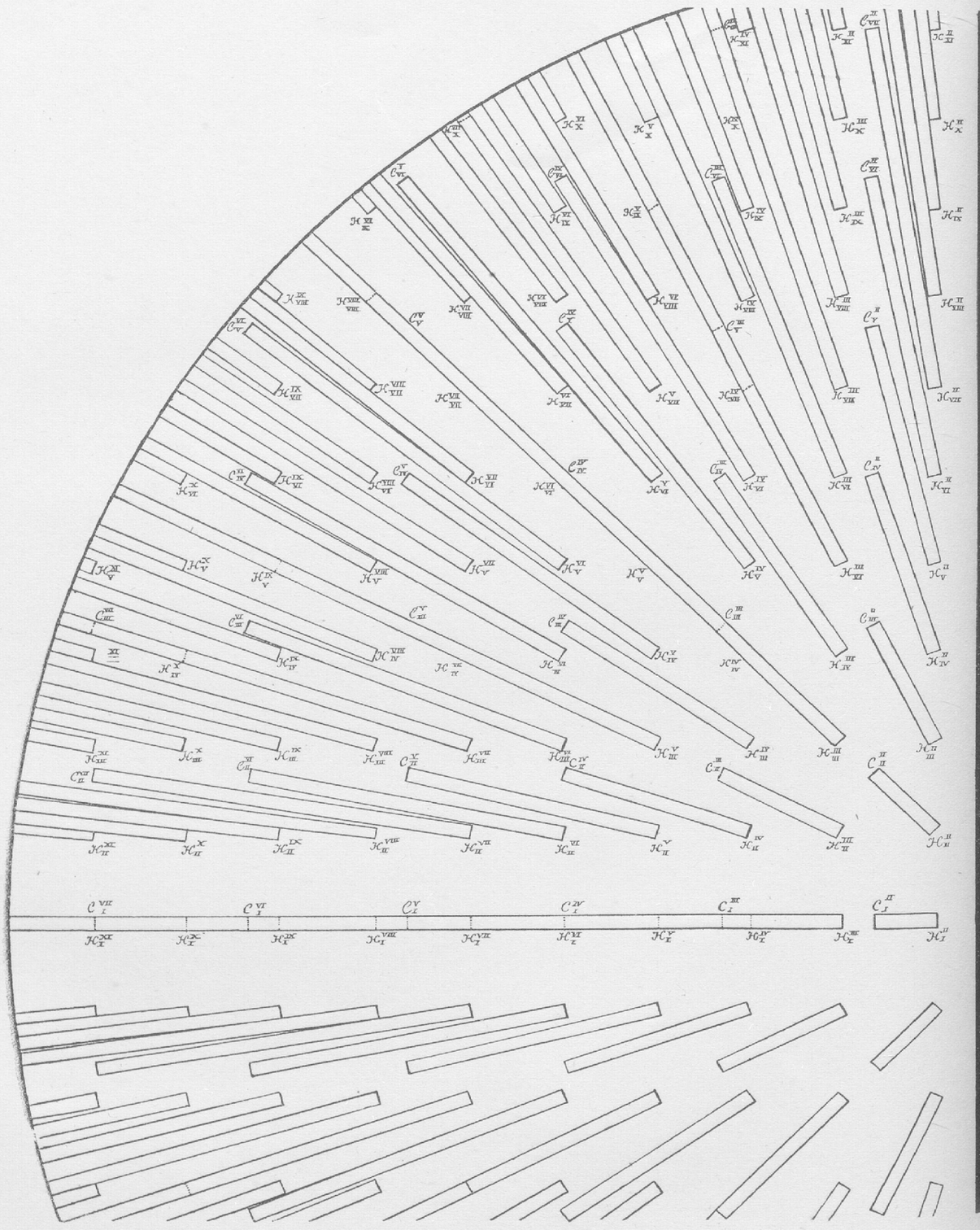




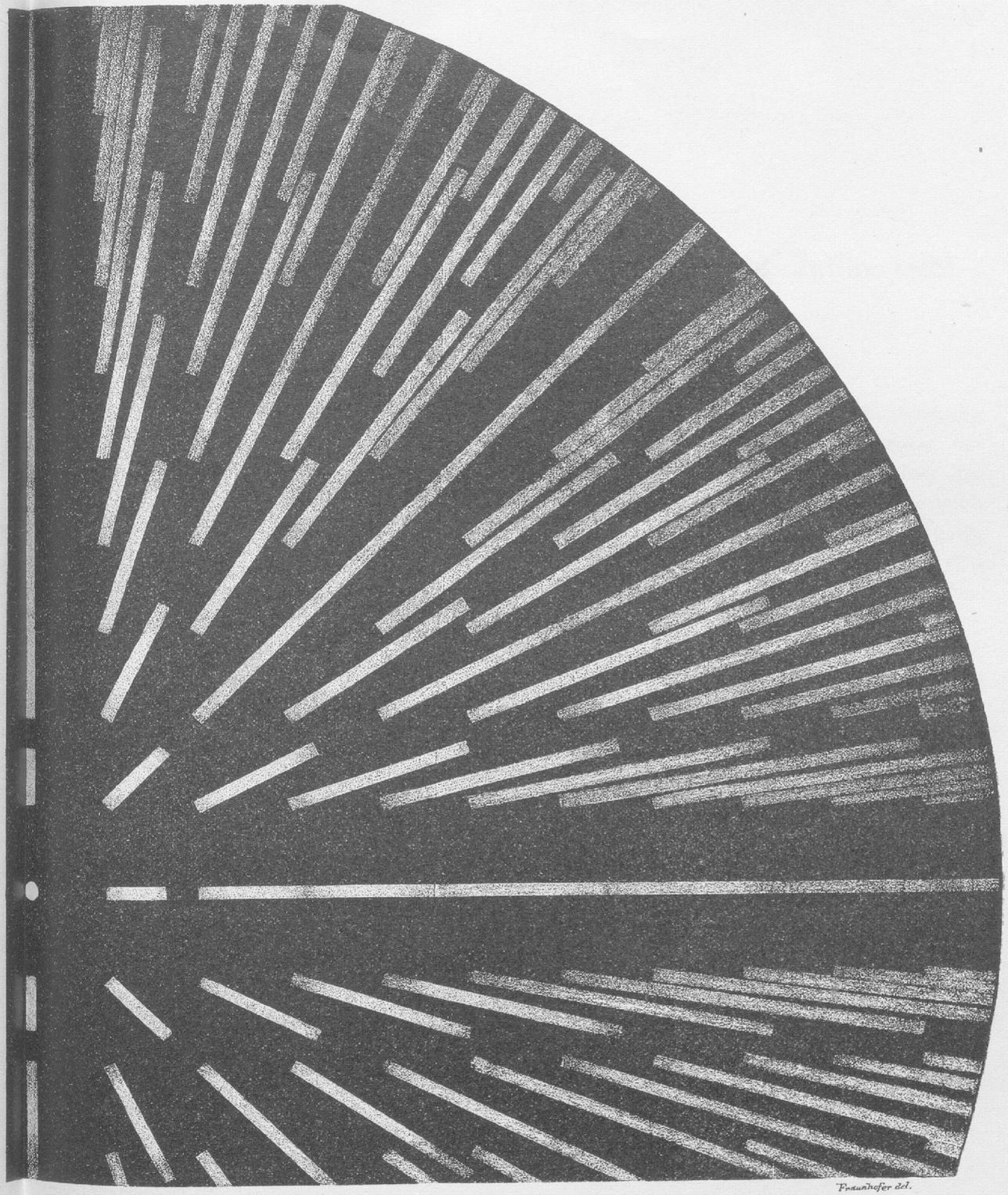


Fraunhofer del.

Zu Fraunhofer's Gesetze der Beugung des Lichtes.



Zu Fraunhofer's Gesetze der



Fraunhofer del.

setze der Beugung des Lichtes.

Aus einem Briefe Fraunhofers vom 22. Julius 1822 an Schumacher.

(Schuhmacher's Astronomische Nachrichten Bd. I. col. 295.)

Durch meine neueren Versuche über die gegenseitige Einwirkung der Strahlen, mit welchen ich mich gegenwärtig in freien Stunden beschäftige, ist es mir gelungen, Farbenspectra mittlerer vollkommener Art (wie ich sie in meiner Abhandlung nannte) hervorzubringen, welche noch sechsmal grösser sind, als die grössten in der Abhandlung beschriebenen. Diese machen näher mit den Gesetzen dieses Phänomens bekannt, und beweisen unter andern direct, dass die Sinus der Abstände der verschiedenen Spectra von der Axe sich wie die Zahlen 1, 2, 3, u. s. w. verhalten, was der Theorie entspricht, und was schon Dr. T. Young vor 20 Jahren in seiner Theorie der Beugung des Lichts gefolgert hat. Bei dem Gitter, welches ich zu diesem Zwecke auf eine eigene Art machte, sind die Entfernungen je zweyer Zwischenräume 0,000285 eines Pariser Zolls, was, wenn man bedenkt, dass sie im Mittel nicht um den hundertsten Theil dieser Grösse ungleich seyn dürfen, vielleicht durch Menschenhände nicht viel weiter gesteigert werden kann. Die Farbenspectra, welche durch dieses Gitter hervorgebracht wurden, sind so gross, als die durch Prismen, und man erkennt die fixen Linien und Streifen der Farben so gut, wie durch diese.

Fraunhofer.

Auszug aus einem Schreiben Fraunhofers an Schumacher.

München 1823. Januar 21.

(Schumachers astron. Nachrichten Bd. II. col. 51—54. 1824.)

Ein Kreismikrometer, wo zwey Ringe im Gesichtsfelde sind, habe ich vollendet; die Beobachtungen werden bey beyden Ringen gleich gut, so dass dieses Mikrometer als gelungen zu betrachten ist.

Die Ursache, weshalb mit sehr guten Kreismikrometern die verschiedenen Beobachtungen weniger unter sich harmoniren, als man erwarten sollte, mag wohl zum Theil darin ihren Grund haben, dass es schwer zu beurtheilen ist, ob der Comet, der fast immer ohne begränzten Kern und von Nebel umgeben scheint, gerade zur Hälfte ein- oder ausgetreten ist; weil man die andere Hälfte nicht sieht. Eine andere Ursache ist, dass ein Stern, indem er gegen den scharfen Rand eines etwas breiten Ringes kömmt, wegen des Nichtachromatismus der Oculare, aufhört rund zu seyn. Man könnte vielleicht glauben, dass, weil diese Verlängerung des Sterns beym Ein- wie beym Austritte geschieht, ihr Nachtheil wegfalle; allein da sich der Stern immer in der Richtung auf den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes verlängert, und er bey den verschiedenen Beobachtungen bald grössere bald kleinere Segmente des Ringes schneidet, so ist diese Abweichung nicht ohne Nachtheil für die Uebereinstimmung der verschiedenen Beobachtungen in Bezug auf Declinations-Differenzen. Diese, und einige andere Nachtheile, würden wegfallen, wenn man im Gesichtsfelde des Fernrohres einen, oder besser mehrere, dünne genau kreisrunde Fäden hätte, welche nicht dicker als Spinnefäden wären. Mit einem Mikrometer dieser Art sollten alsdann die Beobachtungen, wie es scheint, eben so grosse Genauigkeit haben, als die am Passagen-Instrument

gemachten; weil man mit Sicherheit eben so kleine Theile einer Zeitsecunde schätzen könnte. Da aber im dunkeln Gesichtsfeld dünne Fäden nicht gesehen werden, und nur selten ein Comet die Erleuchtung des Gesichtsfeldes verträgt, so müssten die kreisrunden Fäden selbst, im dunkelen Gesichtsfelde, erleuchtet seyn. — Nach einigen Versuchen gelang mir ein Mikrometer dieser Art dadurch, dass ich auf ein gutes dünnes Planglas Kreislinien ätzte und es an den Ort stellte, wohin das durch das Objectiv hervorgebrachte Bild des Gegenstandes fällt. An der Seite des Ocularrohres ist eine zu diesem Zwecke eingerichtete Lampe, durch welche, mittelst eines Collectivglases, die Kreislinien erleuchtet werden; das übrige von der Lampe kommende Licht trifft das Auge nicht. Man sieht demnach im dunkelen Gesichtsfelde die scheinbar freyschwebenden kreisrunden erleuchteten Fäden. Das Planglas stört die Beobachtung nicht; man sieht mit wie ohne demselben gleich gut. Der Stern scheint selbst in dem Augenblick nicht zu verschwinden, wo ihn der Faden schneidet. Bey dem Mikrometer, welches ich habe, sind die Kreise nicht so genau rund, als es zu guten Beobachtungen nöthig ist. Ich habe aber eine Maschine in Arbeit, die dieser Tage fertig wird, mit welcher die Linien genau rund und concentrisch werden. Das neue Mikrometer dieser Art, welches ich eben mache, erhält zwei Oculare zu verschiedener Vergrösserung; mit dem stärkeren sieht man drey erleuchtete Kreislinien, mit dem schwächeren sechs. Die verschiedenen Kreislinien stehen, für Sterne von geringerer Declination, ohngefähr 10 Zeitsecunden von einander ab. Genau in die Mitte des Gesichtsfeldes mache ich ein Kreischen von einem sehr kleinen Durchmesser, mittelst welches man, bey Sternen, welche nahe durch die Mitte des Gesichtsfeldes gehen, noch erkennt, ob sie südlich oder nördlich durchgegangen sind. Dieses Kreischen hat noch den Vortheil, dass mittelst desselben der Werth des Durchmessers jeder Kreislinie leicht und mit grosser Genauigkeit zu bestimmen ist; man braucht nämlich nur den Polarstern in die Mitte des kleinen Kreischens zu stellen und die Zeit seines Durchganges durch die verschiedenen Kreislinien zu beobachten.

Fraunhofer.

Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben;

von

Dr. **Jos. Fraunhofer,**

Mitglied der k. Baier. Akad. d. Wiss. in München.

(Vorgelesen in den math.-phys. Klasse d. Akad. den 14. Juni 1823.)

(Gilberts Annalen der Physik, Bd. 74. p. 337—378.)

Es sind von mir im vorigen Jahre, in einer Abhandlung, welche für den 8 ten Band der Denkschriften der königl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften gedruckt ist, neue Versuche über die *Beugung* des Lichtes und über die Erscheinungen, welche durch gegenseitige Einwirkung gebeugter Lichtstrahlen auf einander entstehen, bekannt gemacht, und die *Gesetze*, welche sich aus diesen Versuchen ableiten lassen, entwickelt worden.[1]) Ich habe seitdem, durch die Folgerungen, welche ich gezogen hatte, geleitet, diese Versuche fortgesetzt, und das Folgende ist eine Anzeige derjenigen unter den von mir erhaltenen Resultaten, welche sich zur Mittheilung in einem kurzen Berichte eignen. Ich muss jedoch das, was die genannte Abhandlung über diesen Gegenstand enthält, grösstentheils als bekannt voraussetzen.

1) Diese Abhandlung führt den Titel: „Neue Modification des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben.“ Im 2 ten Hefte von „Schumacher's astronom. Abhandlungen“ ist die Abhandlung in französischer Sprache abgedruckt.

Betrachtet man die Erscheinung, welche entsteht, wenn das Licht durch eine *einzelne schmale Oeffnung* gebeugt wird, mittelst eines Fernrohrs, so sieht man Farben-Spectra, die in Hinsicht der Folge der Farben den Newtonischen Farbenringen ähnlich sind, und deren Licht, wie das dieser Ringe, nicht homogen ist. Ich hatte in meiner Abhandlung diese Spectra, welche durch eine einzelne Oeffnung gesehen werden, Spectra *äusserer Art* genannt, um sie von denen zu unterscheiden, welche auf eine andere Weise hervorgebracht werden; hinfüro aber werde ich sie mit der Benennung: *Spectra der ersten Klasse*, bezeichnen, um leichter von diesem Gegenstande sprechen zu können.[1])

Wird dagegen das Licht durch eine *grosse Anzahl schmaler Oeffnungen*, deren Entfernungen von einander *genau gleich* sind, gebeugt, so entstehen durch die gegenseitige Einwirkung der gebeugten Strahlen auf einander, wenn man sie mit einem Fernrohre beobachtet, Spectra von einer andern Art, deren Licht, wenn die schmalen Oeffnungen in hinlänglich grosser Zahl vorhanden sind, vollkommen homogen ist, und in denen man dieselben fixen Linien und Streifen gewahr wird, welche sich in einem durch ein Prisma erzeugten und mit einem Fernrohr betrachteten Spectrum zeigen.[2]) Dadurch sind diese letzteren Spectra zur Auffindung des Gesetzes dieser Modification des Lichtes besondert geeignet, indem mittelst dieser Linien und Streifen sich das Gesetz aus den Beobachtungen in einem hohen Grade genau ableiten lässt. — Ein solches Gitter aus gleichen schmalen parallelen Zwischenräumen kann man sich am besten verschaffen, wenn man entweder dünnen Silber- oder Golddraht in die Gänge einer sehr feinen Schraube spannt, oder wenn man in ein mit Goldblättchen belegtes Planglas Parallel-Linien radirt. Das Sonnenlicht muss bei diesen Versuchen in das verfinsterte Zimmer durch eine verticale Oeffnung im Fensterladen treten, deren scheinbare Breite

---

1) Man kömmt nämlich bei der ersten Benennung nicht selten in den Fall, von einem äussern Spectrum äusserer Art sprechen zu müssen, welches den Begriff, wo nicht verwirren, doch erschweren könnte. Meine Aenderung der an sich willkürlichen Benennung wird sich dadurch rechtfertigen; man findet sie schon in der französischen Uebersetzung gebraucht.

2) Ich habe diese Linien und Streifen in einer Abhandlung beschrieben und dargestellt, welche im 5ten Bande der Denkschriften der kön. Baier. Akademie, im 56sten Bande von Gilbert's Annalen d. Phys. (J. 1817 St. 7), und in französischer Sprache im 2ten Hefte von Schumacher's astronom. Abhandlungen, abgedruckt ist.

sehr klein ist, und auf das Objectiv eines am entgegengesetzten Ende des Zimmers aufgestellten Fernrohrs fallen, in der Richtung der Axe desselben. Hat der Beobachter das Ocular des Fernrohrs so weit herausgezogen, dass er die Oeffnung am Fensterladen möglichst deutlich sieht, und bringt nun das aus parallelen Fäden bestehende Gitter in eine solche Lage vor das Objectiv, dass die Fäden lothrecht laufen, so sieht er die Oeffnung selbst unverändert wie ohne das Gitter; zugleich aber erscheinen ihm in einiger Entfernung von dieser Oeffnung im Fensterladen, in horizontaler Richtung, symmetrisch zu beiden Seiten derselben, sehr intensive Farbenspectra, die sich wiederholen, und um so breiter werden, je weiter sie von der Mitte (der Axe) abstehen, so dass das zweite 2 Mal so breit, das dritte 3 Mal so breit als das erste ist, und so ferner; und in eben dem Verhältnisse werden ihre Abstände von der Axe immer grösser. Diese Spectra habe ich in meiner Abhandlung mit dem Namen *vollkommene mittlerer Art* bezeichnet, hinfüro aber werde ich sie *vollkommene Spectra zweiter Klasse* nennen. Dagegen nenne ich diese letzteren Spectra *unvollkommene*, wenn ihr Licht nicht homogen ist; und das ist stets der Fall, wenn nur wenige gebeugte Strahlen in *gleichen* Entfernungen gegenseitig aufeinander einwirken.

Es sollen mir ferner bezeichnen in diesem Aufsatze die grossen lateinischen Buchstaben *B*, *C* . . . *H* *farbige Strahlen* von verschiedener Art: *B* ist ein rother Strahl, welcher gegen das Ende des Spectrums liegt; *C* ist tiefer im Rothen, *D* orangefarben, *E* grün, *F* blau, *G* von Indigo-Farbe, *H* violet. In jedem Spectrum von Sonnenlicht, welches aus *vollkommen homogenen* Strahlen besteht, finden sich an den bezeichneten Stellen fixe Linien oder Streifen, welche sich, entweder durch ihre Stärke, oder durch ihre Lage von den übrigen zahlreichen fixen Linien des Spectrums auszeichnen.[1]) Ich bezeichne die Winkel, um welche in

1) Man darf indess nicht glauben, dass das Spectrum, welches erhalten wird, wenn man das durch ein Prisma gebrochene Licht an einer Wand, oder mit einer weissen Fläche auffängt, aus *homogenem* Lichte bestehe. Ein solches Spectrum würde nur dann aus vollkommen homogenen Farben bestehen, wenn die Fläche, mit welcher man es auffängt, vom Prisma unendlich weit entfernt wäre, oder wenn man sich eines unendlich schmalen Prismas bedienen könnte; in beiden Fällen aber würde das Licht nun unendlich schwach seyn, also kein Spectrum gesehen werden können. Ist z. B. das Prisma 2 Zoll breit, so müssen die äussersten rothen Strahlen in dem aufgefangenen Spectrum ebenfalls in den Raum von ungefähr 2 Zoll verbreitet seyn; einen

dem durch ein Fadengitter modificirten Lichte, die Strahlen B, C .... von der Axe abgelenkt sind, in dem *ersten* Spectrum, das der Axe am nächsten ist, mit B^{I}, C^{I}...., in dem *zweiten* Spectrum mit B^{II}, C^{II}...., in dem *dritten* Spectrum von der Axe mit B^{III}, C^{III} .... und so ferner.

---

eben so grossen Raum müssen die nächsten rothen einnehmen, also grösstentheils in die vorigen fallen; und dasselbe muss mit den verschiedenen Nuancen der übrigen farbigen Strahlen Statt finden. Dieses ist der Grund, warum alle farbigen Strahlen durch ein solches Prisma nothwendig untereinander gemengt erscheinen; zwar um so weniger, je weiter ab vom Prisma man das Spectrum auffängt, oder je schmaler das Prisma ist, aber doch nie in so geringer Menge, dass sie vollkommen homogene Farben darstellen können, welche noch Intensität genug haben, um wahrgenommen zu werden. Die Farben des Spectrums sind, diesem zu Folge, um so weniger entwickelt, je näher man mit der weissen Fläche an das Prisma kömmt, und man sieht hier zugleich die Ursach, warum man, wenn diese Fläche zunächst an dem Prisma ist, ganz weisses Licht erhält; weil nämlich dann schon die äussersten violetten Strahlen in die äussersten rothen fallen, und die verschiedenen farbigen Strahlen durchgehends gemengt sind. Käme das auf das Prisma fallende weisse Licht von einer leuchtenden *Fläche*, so würden die Farben, selbst wenn sie durch ein unendlich schmales Prisma erzeugt, oder in unendlicher Entfernung aufgefangen würden, aus eben diesen Gründen nicht homogen seyn können; es muss daher der scheinbare Durchmesser der Oeffnung, oder des Gegenstandes, von welchem die weissen Strahlen kommen, sehr klein seyn. Der scheinbare Durchmesser der Sonne ist, so z. B., zu bedeutend, als dass die Farben des Regenbogens vollkommen homogen seyn könnten. — Fallen dagegen die weissen Strahlen unter einem gewissen Neigungswinkel, und zwar allesammt unter demselben, auf ein Prisma, so müssen die äussersten rothen, nach der Brechung, nach der ganzen Breite das Prismas ebenfalls alle unter ein und demselben Winkel ausfahren; und dasselbe muss mit jeder der folgenden Arten farbiger Strahlen der Fall seyn. Nun aber hat ein vollkommenes Objektiv die Eigenschaft, alle unter sich parallele unter irgend einem Winkel auffallende Strahlen in einen Punkt im Focalabstande zu vereinigen; es muss daher ein solches prismatisches Spectrum in einem vollkommenen Fernrohr aus *vollkommen homogenen* Farben bestehen, vorausgesetzt, dass die weissen Strahlen von einem Gegenstand kommen, dessen scheinbarer Durchmesser *sehr* klein ist. Diese Umstände, welche nichts räthselhaftes enthalten, und sehr einfach aus der Natur der Sache folgen, werden bei optischen Experimenten sehr oft zu wenig, oder gar nicht beachtet; und es sind daher bei diesen Versuchen häufig Täuschungen entstanden, welche zu unrichtigen Schlüssen verleitet haben. — Das Gesagte gilt nicht blos bei den Phänomenen durch Brechung, sondern auch bei denen durch Beugung und gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen auf einander, und ist die Ursach, wesswegen man, wenn man das durch ein Gitter modificirte Licht mit einer weissen Fläche auffängt, nichts von den Phänomenen sieht, welche mittelst eines Fernrohrs darin beobachtet werden. Dass eine Loupe nicht die Dienste eines Fernrohrs versehen kann, sieht man leicht ein. Wünschte man auf einer Wand oder weissen Fläche ein Spectrum zu haben, dessen Farben aus vollkommen homogenem Lichte bestehen, so müsste man das von einem sehr guten Prisma unter dem gehörigen Winkel ausfahrende Licht mit einem sehr guten Objectiv von langer Brennweite auffangen, und genau in den Focus desselben die weisse Fläche stellen; in einem solchen Spectrum würden dann ebenfalls die fixen Linien und Streifen sichtbar seyn. Prisma und Objectiv dürften hierbei jedoch nicht klein seyn, um hinreichende Helligkeit zu haben, weil das farbige Licht von der weissen Fläche nach allen Richtungen ausgesendet wird, und nur ein sehr kleiner Theil desselben das Auge des Beobachters treffen kann.

Aus den Versuchen, welche in meiner zweiten Abhandlung im Detail beschrieben sind, hat sich ergeben, dass wenn man mit γ die Breite der einzelnen Zwischenräume des Gitters, und mit δ die Dicke der einzelnen Fäden desselben, in Theilen eines Pariser Zolles ausgedrückt bezeichnet, bei allen Gittern die Bogen dieser Winkel folgende sind, den Radius = 1 gesetzt:

$$B^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00002541}{\gamma + \delta}$$

$$C^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00002425}{\gamma + \delta}$$

$$D^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00002175}{\gamma + \delta}$$

$$E^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00001943}{\gamma + \delta}$$

$$F^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00001789}{\gamma + \delta}$$

$$G^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00001585}{\gamma + \delta}$$

$$H^{\mathrm{I}} = \frac{0{,}00001451}{\gamma + \delta}$$

Und dass ferner ist:

$$B^{\mathrm{II}} = 2\,B^{\mathrm{I}}$$
$$C^{\mathrm{II}} = 2\,C^{\mathrm{I}}$$

$$B^{\mathrm{III}} = 3\,B^{\mathrm{I}}$$
$$C^{\mathrm{III}} = 3\,C^{\mathrm{I}}$$

u. s. f.

Der Zähler in diesen allgemeinen Ausdrücken ist für jeden bestimmten farbigen Strahl zwar eine andere absolute, jedoch, so verschieden auch die Fälle seyn mögen, unveränderliche Zahl, die sich, wie man leicht einsieht, auf ein bestimmtes absolutes Maass, hier den Pariser Zoll, bezieht. Bezeichnet man diese Zahl allgemein, für jeden farbigen Strahl, mit ω, und den Winkel der Ablenkung eines und desselben farbigen Strahls im ersten Spectrum mit ϑ^{I}, im zweiten mit ϑ^{II}, im dritten mit ϑ^{III}, und so ferner, so ist allgemein:

$$\vartheta^{\mathrm{I}} = \frac{\omega}{\gamma + \delta};\ \vartheta^{\mathrm{II}} = \frac{2\omega}{\gamma + \delta}\ \text{u. s. w.}$$

Und wenn folglich ν die Zahl bedeutet, welche angiebt, für das wievielte Spectrum der Werth gelten soll, (da dann ν für die Axe = 0, für das erste Spectrum = 1, für das zweite = 2 u. s. w. ist, und nie eine ge-

brochene Zahl seyn kann), und man setzt überdem zur Abkürzung, die Summe der Breiten eines Zwischenraums und eines Strichs des Gitters, oder $\gamma + \delta = \varepsilon$, so haben wir allgemein

$$(\text{I.}) \qquad \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon}.$$

Den Resultaten der obengenannten Versuche zu Folge, verhalten sich also, wie auch der aus ihnen abgeleitete allgemeine Ausdruck (I.) zeigt, in den auf einander folgenden durch das Gitter von der Axe abgelenkten Spectren, die Ablenkungswinkel derselben farbigen Strahlen wie die Zahlen 0, 1, 2, 3 etc. Es gaben aber die Versuche, aus welchen diese Resultate hergeleitet sind, so kleine Winkel, dass für sie Sinus, Tangente und Bogen noch nicht merklich von einander abweichen. Bei meinem feinsten Gitter, wo $\varepsilon = 0{,}001952$ Zoll ist, war $D^{\text{I}} = 38' 19{,}3''$. Dass bei grösseren Winkeln, d. i. bei vielmal feineren Gittern, nicht die Bögen, sondern vielleicht eine der trigonometrischen Linien dieser Winkel das angeführte Verhältniss haben werden, wird man bei einiger Ueberlegung für wahrscheinlich halten. Der Theorie zu Folge, von welcher unten die Rede seyn wird, sollen bei vertical auf das Gitter fallendem Lichte, die *Sinus* der Winkel das genannte Verhältniss haben. Theils um dieses direct durch Versuche bestätigen zu können, theils weil man aus grösseren Spectren die Gesetze dieser Modification des Lichtes genauer ableiten, und mit grösserer Sicherheit Schlüsse für die Theorie dieser Phänomene ziehen kann, war es, wie es mir schien, sehr zu wünschen, dass es gelänge, noch vielmal feinere Gitter hervorzubringen, als die waren, deren ich mich bei meinen frühern Versuchen bedient habe; es müssten aber bei solchen feineren Gittern die Entfernungen der Striche oder Drähte in so hohem Grade genau gleich seyn, dass sich die fixen Linien der Spectra darstellten, ohne welche die Abstände der Farben von der Axe nicht gemessen werden könnten.

Eine beträchtlich feinere Schraube zu verfertigen als die war, welche ich zu meinen früheren Versuchen machte, wird derjenige, der die Schwierigkeiten dieser Arbeit kennt, nicht wohl für möglich halten. Mit einer eigenen Vorrichtung konnte ich, auf ein mit sehr dünnem Blattgold belegten Planglase, Parallellinien noch in solcher Entfernung von

einander radiren, dass $\varepsilon = 0{,}00114$ Zoll war. Will man Linien in kleineren Entfernungen von einander radiren, so bleibt kein Gold mehr am Glase, und es sind folglich keine Zwischenräume übrig. Die durch ein solches Gitter, wo $\varepsilon = 0{,}00114$ ist, hervorgebrachten Spectra sind zwar bedeutend grösser als die früher erhaltenen, und die fixen Linien werden in ihnen sehr deutlich gesehen; allein die Resultate, die sich mit ihnen erhalten liessen, waren noch weit davon entfernt über das, was in Frage steht, zu entscheiden.

Es ist bei einem Gitter, welches zu diesen Versuchen gebraucht wird, einerlei, ob die Fäden, aus welchen es besteht, undurchsichtig, oder ob sie durchscheinend oder durchsichtig sind. Ein Gitter aus Glasfäden z. B. bringt dieselben Phänomene hervor, wie eines aus Metalldrähten. Ich belegte daher eine Seite eines guten Planglases so dünn mit einer Schichte Fett, dass sie mit freiem Auge nur schwer zu erkennen war; in das Fett radirte ich Parallellinien, welche eine um die Hälfte kleinere Entfernung von einander hatten, als die feinsten in Blattgold radirten. Mit diesem Gitter entstanden Spectra, in welchen die fixen Linien sehr deutlich zu erkennen, und die daher ganz dazu geeignet waren, die Abstände von der Axe genau zu messen. In keiner Fett- oder Firniss-Schicht lassen sich Parallellinien, welche genau gleiche Entfernungen haben, feiner radiren.

Nur mittelst des Diamanten gelangte ich zu noch feineren Gittern, nachdem eine eigens zu diesem Zwecke eingerichtete Maschine mich in den Stand gesetzt hatte, mit einer Diamantspitze, Parallellinien in möglichster Vollkommenheit unmittelbar in die Oberfläche eines Planglases zu radiren. Wenn man so glücklich ist, eine gute Diamantspitze zu finden, so können mit dieser Maschine so feine Linien radirt werden, dass man sie mit dem stärksten zusammengesetzten Mikroskope nicht gewahr werden kann. Es ist jedoch nicht genug, dass man es dahin bringt, in einen bestimmten Raum eine sehr grosse Anzahl Linien zu radiren, welche noch Zwischenräume zwischen sich lassen, sondern es kömmt darauf an, dass diese Linien auch in so hohem Grade gleiche Entfernung von einander haben, dass die mehrsten nicht um den hundertsten Theil dieser kleinen Entfernung einander näher oder ferner sind. Mit Hülfe meiner Maschine habe ich ein Gitter erhalten, bei

welchem $\varepsilon = 0{,}0001223$ Zoll ist, und dessen Linien noch in einem so hohem Grade gleiche Entfernung von einander haben, dass man die fixen Linien des ersten und zweiten Spectrums, welche durch dasselbe gesehen werden, noch sehr deutlich erkennt.[1]) Durch dieses Gitter entstehen Spectra, welche so gross sind, als die durch grosse Prismen hervorgebrachten, und schon im ersten Spectrum erkennt man die Linie D (im Orange) so gut als doppelt, so dass die Breite des Zwischenraums gemessen werden kann. Und da bei diesem Gitter z. B. schon $D^{I} = 10^{0}\ 14'$ ist, so lässt sich das Gesetz dieser Modification des Lichtes aus den Versuchen mit demselben mit sehr grosser Genauigkeit ableiten.

In dem Fall, wenn das Licht vertical auf dieses Gitter fiel, in welchem $\varepsilon = 0{,}0001223$ ist, erhielt ich:

$C^{I} = 11^{0}\ 25'\ 20''$	$F^{I} = 8^{0}\ 26'\ 6''$
$C^{II} = 23^{0}\ 19'\ 42''$	$F^{II} = 17^{0}\ 3'\ 34''$
$D^{I} = 10^{0}\ 14'\ 31''$	$G^{I} = 7^{0}\ 27'\ 19''$
$D^{II} = 20^{0}\ 49'\ 44''$	$G^{II} = 15^{0}\ 3'\ 9''$
$E^{I} = 9^{0}\ 9'\ —$	$H^{I} = 6^{0}\ 52'\ 36''$
$E^{II} = 18^{0}\ 32'\ 34''$	

Es sind diese Winkel so gross, dass sie für Bogen, Sinus und Tangente schon sehr bedeutend von einander abweichen. Da das Instrument,

1) Man kann mit dieser Maschine Parallellinien mit Zwischenräumen, die so breit als sie selbst sind, in so kleinen Entfernungen von einander radiren, dass 32000 auf einen Pariser Zoll gehen; allein ihnen so gleiche Abstände von einander zu geben, dass in ihrer Entfernung, welche 0,00003125 Zoll betragen soll, nicht viele Fehler von einem Hundertel, d. i. von 0,00000031 vorkommen, ist mir bis jetzt nicht gelungen, und möchte vielleicht auch für Menschenhände, welcher Maschine man sich auch bedienen mag, nicht wohl möglich seyn. Da mit 100 oder 200 Parallellinien nicht viel gedient ist, und man, bei so feinen Gittern, immer einige Tausend haben muss, um intensive vollkommene Spectra zu erhalten, so gehört schon bei $\varepsilon = 0{,}0001223$ sehr viel Glück dazu, eine Diamantspitze zu finden, welche einige tausend so sehr feiner Linien radirt, ohne sich zu ändern. Es ist mir bis jetzt nur Ein so feines Gitter gelungen. Aendert sich während des Radirens die Spitze des Diamants, so ist die vorhergegangene Arbeit verloren. Ohne dass man eine Veranlassung kennt, macht die Spitze oft mit einem Mal stärkere oder schwächere Linien. Mit dem stärksten Mikroskop kann man es nicht erkennen, ob die Spitze geeignet ist die rechten Linien zu radiren. Ein Diamant, welcher weniger spitzig scheint als ein anderer, radirt manchmal feinere Linien als der andere; daher nur durch Versuche eine brauchbare Spitze gefunden werden kann. Was die Sache noch mehr erschwert, ist, dass eine kleine Veränderung der Neigung oder der Stellung des Diamants, in Bezug auf die Ebene des Planglases, die Stärke der Linie beträchtlich ändert. Da jede Linie einzeln und mit grosser Sorgfalt gezogen werden muss, so kann man leicht beurtheilen, wie viel Zeit und Geduld erfordert wird, um ein Paar tausend Linien mit der gehörigen Genauigkeit zu radiren.

womit die Winkel gemessen wurden, ohne Repetition 4″ giebt, so kann man ungefähr beurtheilen, wie weit sie zuverlässig sind.

Das dritte Spectrum, das vierte und die folgenden wurden bei den Versuchen mit diesem Gitter zwar gut gesehen, allein die fixen Linien in den verschiedenen Farben liessen sich nicht mit hinlänglicher Precision erkennen, um die Abstände derselben von der Axe eben so genau, wie die im ersten und zweiten bestimmen zu können.[1]) Die angegebenen Masse, für das erste und zweite Spectrum, sind indess hinreichend, um auf das Gesetz dieser Modification schliessen zu lassen.

Da die Entfernung der radirten Parallellinien des *Glasgitters*, wie ich es nennen will, einer von der andern im hohen Grade genau bekannt seyn muss, diese Linien aber selbst mit dem stärksten Mikroskope schwer zu erkennen sind, wenigstens nicht gezählt werden können, so suche ich die erste und letzte Linie des Gitters etwas stärker zu radiren als die übrigen, und messe mit dem zu diesem Zwecke eingerichteten mikroskopischen Apparate die Entfernung der ersten Linie von der letzten. Die Radirmaschine zählt die Linien, welche radirt werden, selbst; ich weiss also genau, wie viel ihrer in dem radirten Raume enthalten sind; so z. B. enthält das Glasgitter, von welchem bisher die Rede war, 3601 Linien. Man lernt daher aus der Entfernung der ersten Linie von der letzten die Entfernung der Mitte je zweier, d. i. ε, in hohem Grad genau kennen. Auch das Verhältniss der Dicke einer Linie zur Breite eines Zwischenraumes, der zwischen zwei Linien ist, kann sehr nahe bestimmt werden. Wenn die Linien so dick wären, dass eine die andere

---

1) Wie gross auch die Genauigkeit, in Hinsicht der gleichen Entfernungen der Parallellinien des Gitters, seyn mag, so hat sie, wie natürlich, doch ihre Gränzen, und von gänzlicher Vollkommenheit kann, so wie bei allem was Menschenhände hervorbringen, nicht die Rede seyn. Welchen Einfluss eine kleine Ungleichheit in der Entfernung der Parallellinien eines Gitters auf die Verrückung oder Verwirrung der fixen Linien der verschiedenen Spectra hat, lässt sich aus der Gleichung (I) $\vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon}$ beurtheilen. Da nämlich aus ihr folgt $d\vartheta^{(\nu)} = -d\varepsilon\frac{\nu\omega}{\varepsilon^2}$, so muss bei obigem Gitter eine Ungleichheit, welche nur den hundertsten Theil dieser ohnediess sehr kleinen Entfernung ε beträgt, (also $d\varepsilon = 0{,}00000122$ Zoll), eine Verrückung hervorbringen der fixen Linie D, im ersten Spectrum von 6′ 5″, im zweiten von 12′ 10″, im dritten von 18′ 15″ u. s. w. Dieses ist die Ursache, wesswegen im ersten und zweiten Spectrum die fixen Linien noch begränzt seyn können, während sie es im dritten, vierten u. s. w. nicht sind. Wer mit kleinen Grössen nicht blos in Zahlen, sondern bei Experimenten zu thun hatte, wird diese Genauigkeit zu würdigen wissen, und einen Begriff haben, wie sehr schwer sie zu erreichen ist.

berührte, und folglich keine Zwischenräume übrig wären, so könnte von der radirten Fläche kein Licht regelmässig zurückgeworfen werden, sondern würde, wie von jeder matten Fläche, zerstreut. Wären die Zwischenräume eben so breit als die Linien, so könnte die radirte Fläche nur halb so viel Licht regelmässig zurückwerfen als eine nicht radirte Glasfläche von derselben Grösse. Es verhält sich daher die Menge des von einer radirten Glasfläche regelmässig reflectirten Lichtes, zur Menge des Lichtes, welches von einer eben so grossen nicht-radirten Glasfläche zurückgeworfen wird, wie die Breite der Zwischenräume je zweier nächster Linien zur Breite dieser Linien.[1]) Dass man bei den diesem gemäss anzustellenden Versuchen dafür sorgen muss, dass von der zweiten Glasfläche kein Licht reflectirt wird, ist zu erinnern kaum nöthig.

Mit einem anderen Glasgitter, wo $\varepsilon = 0{,}0005919$ Zoll war, erhielt ich, bei vertical auffallendem Lichte:

C^{I}	$= 2^{0}\,20'\,57''$	E^{V}	$= 9^{0}\,28'\,3''$
D^{I}	$= 2\;\;6\;30$	F^{I}	$= 1\;44\;19$
D^{II}	$= 4\;13\;\;7$	F^{II}	$= 3\;28\;45$
D^{III}	$= 6\;20\;\;7$	F^{III}	$= 5\;13\;23$
D^{IV}	$= 8\;27\;43$	F^{IV}	$= 6\;58\;18$
D^{V}	$= 10\;35\;53$	G^{I}	$= 1\;32\;22$
E^{I}	$= 1\;53\;\;7$	G^{II}	$= 3\;\;4\;57$
E^{II}	$= 3\;46\;17$	G^{III}	$= 4\;37\;30$
E^{III}	$= 5\;39\;50$	H^{I}	$= 1\;25\;-$
E^{IV}	$= 7\;33\;41$	H^{II}	$= 2\;50\;11$

Sämmtliche Beobachtungen mit den beiden Glasgittern werden sehr nahe durch folgende Gleichung dargestellt:

$$\text{(II.)} \qquad \sin \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon}$$

Bei *vertical* auffallenden Strahlen verhalten sich daher die *Sinus* der

1) Selbst wenn die Menge des reflectirten Lichtes in hohem Grade genau bestimmt werden könnte, wäre, aus Gründen, von welchen unten die Rede seyn wird, dieser Schluss nur als genähert zu betrachten. Bei Gittern, wo ε noch viel kleiner ist als hier, wäre er wenig genau. Bei den Versuchen, von welchen hier die Rede ist, ist jedoch nichts an der Bestimmung dieses Verhältnisses gelegen, sondern einzig nur an der Grösse ε.

Abstände eines farbigen Strahles von der Axe, in den verschiedenen aufeinanderfolgenden Spectren, wie die Zahlen 0, 1, 2, 3 u. s. w.[1])

Das Glasgitter $\varepsilon = 0{,}0005919$ hat die sonderbare Eigenschaft, dass die durch dasselbe hervorgebrachten Spectra auf einer Seite der Axe mehr als doppelt so intensiv sind, als die, welche auf der andern Seite der Axe liegen. Die Linien dieses Gitters sind zwar mit dem Mikroskope sichtbar, allein man kann keine besondere Form derselben erkennen. Ich suchte den Grund daher darin, dass beim Radiren der Linien die Diamantspitze eine solche Lage gegen das Planglas gehabt habe, dass ein Rand jeder Linie scharf, der andere weniger begränzt werden musste, und glaube, dass dieses durch folgenden Versuch bewährt werde. Ich radirte nämlich in ein mit einer dünnen Schicht Fett belegtes Planglas Parallellinien auf eine solche Weise, dass bei jeder Linie das Fett auf einer Seite scharf, auf der andern Seite weniger begränzt sein musste, und erhielt in der That durch dieses Gitter eine ähnliche Erscheinung, wie durch das genannte Glasgitter.

Wenn der auffallende Strahl nicht vertical auf das Gitter fällt, sondern in der Ebene, welche die Parallellinien vertical durchschneidet, gegen dasselbe *geneigt* ist, so erfolgt die Wirkung so, als wenn für diese auffallenden Strahlen die Entfernung der Parallellinien von einander, das ist ε, in dem Verhältniss des Radius zum Cosinus des Einfallswinkels kleiner wäre, als bei vertical auffallendem Lichte. Es müssen daher dann die Abstände der Spectra von der Axe (ϑ) um so grösser werden, je grösser der Einfallswinkel ist; weil, (wie die Gleichung II zeigt), die

---

1) Hätten nicht die Sinus, sondern die Winkel der Ablenkung eines farbigen Strahles in den verschiedenen Spectren, das angeführte Verhältniss, so müsste bei dem feineren Glasgitter, wo $D^{\mathrm{I}} = 10^0\,14'\,31''$ ist, $D^{\mathrm{II}} = 20^0\,29'\,2''$ seyn; es ist aber, den Versuchen zu Folge, $D^{\mathrm{II}} = 20^0\,49'\,44''$, also um 20 Minuten grösser; dagegen haben die Sinus der Winkel dieses Verhältniss. In den Secunden kömmt man bei der Berechnung noch auf eine kleine Differenz, die jedoch grösser ist als dass man sie einem Fehler der Beobachtung zuschreiben könnte. Ob diese Differenz in einer kleinen Unvollkommenheit des Gitters zu suchen sey, oder ob sie in der Natur dieser Erscheinungen liege, lässt sich nur durch eine grössere Anzahl Versuche mit sehr feinen verschiedenen Gittern entscheiden. Ich gebe aber hier die Winkel ganz treu wie ich sie durch die Versuche erhielt, ohne mir eine Correction zu erlauben. Ich hatte diese Winkel öfters, und stets durch sechsmalige Repetition, bestimmt, erhielt aber, für die helleren Farben, fast immer auf eine Secunde genau denselben Winkel; dessen ungeachtet könnten kleine constante Fehler obige Differenz in den Secunden verursachen.

Sinusse dieser Abstände in demselben Verhältnisse wachsen, als ε abnimmt. Bezeichnet daher σ den *Einfallswinkel*, d. i. den Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Perpendikel, welches auf die Ebene des Gitters errichtet ist, einschliesst, so könnte man glauben mit Sicherheit schliessen zu dürfen, dass aus der Gleichung (II), das ist $\sin \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon}$, folgende werde: $\sin \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon \cdot \cos \sigma}$. Allein aus der Theorie dieser Erscheinungen, von welcher unten die Rede seyn wird, lässt sich vorher sagen, dass in diesem Falle die Spectra zu beiden Seiten der Axe nicht mehr symmetrisch seyn werden, dass demnach z. B. D^{I} auf der einen Seite der Axe grösser seyn muss als D^{I} auf der andern Seite. Und dieses bestätigt auch die Erfahrung, wie die unten stehenden Versuche zeigen. Bei Gittern, in denen ε nicht sehr klein ist, ist zwar der Unterschied nicht auffallend [1]); ungemein gross dagegen ist er bei dem Gitter, in welchem $\varepsilon = 0{,}0001223$ Zoll ist. Denn es findet sich bei diesem z. B. für $\sigma = 55^0$ auf der einen Seite der Axe $D^{\text{I}} = 15^0\,6'$, und auf der andern Seite derselben $D^{\text{I}} = 30^0\,33'$.

Sind schon die nicht-symmetrischen Spectra der ersten Klasse, welche aus nicht-homogenen Farben bestehen, und keine fixen Linien enthalten [2]), für die Theorie dieser Phänomene wichtig, so sind für sie von noch ungleich grösserem Interesse die *nicht-symmetrischen Spectra der zweiten Klasse*, weil sie die fixen Linien zeigen, und sich daher das Gesetz dieser Modification des Lichtes aus ihnen in hohem Grade genau ableiten, und die Theorie dieser Phänomene auf das schärfste bewähren lässt [3]). Ich gebe hier das Resultat aus mehreren Versuchen mit den farbigen Strahlen D und F. Um anzuzeigen, an welcher Seite von der Axe der Winkel ϑ

---

1) In der That kann man bei groben Gittern, wenn σ nicht sehr gross ist, sich mit hinreichender Genauigkeit des Ausdrucks $\sin \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon \cdot \cos \sigma}$ bedienen, wie ich das in meiner Abhandlung: „Neue Modification des Lichtes“ S. 95 gethan habe; wir werden aber unten einen eben so einfachen genaueren Ausdruck finden.

2) Neue Modification des Lichts u. s. w. S. 60 und der französischen Uebersetzung p. 55.

3) Allen einfachen Gesetzen lässt sich leicht eine Hypothese anpassen. So könnten z. B. die Gesetze der Brechung und Zurückwerfung des Lichts aus einer grossen Anzahl ganz verschiedener Hypothesen abgeleitet werden. Es ist daher ein Glück, wenn man ein neues Gesetz findet, welches, dem Anschein nach, sehr complicirt ist, weil es mindestens den Vortheil bringt, das Feld der Hypothesen über das Licht in engere Gränzen einzuschliessen.

liegt, der den Abstand des farbigen Strahls von der Axe misst, bezeichne ich mit $-$I, $-$II .... diejenigen Spectra, welche auf der Seite der Axe liegen, wohin der einfallende Strahl gegen die Ebene des Gitters sich neigt, dagegen mit $+$I, $+$II .... die Spectra an der entgegengesetzten Seite der Axe, wo der schief einfallende Strahl stumpfe Winkel mit dem Gitter macht; so dass D^{-I}, D^{+I}, oder D^{-II}, D^{+II} .... die angegebenen entgegengesetzten Lagen der Strahlen D im ersten Spectrum, oder im zweiten Spectrum etc. bedeuten. Unter σ ist hier der Einfallswinkel in eben dem Sinn wie oben zu verstehen, d. h. der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe einschliesst.

Versuche mit dem Glasgitter, in welchem $\varepsilon = 0{,}0001223$ ist.

$\sigma = 55^0$

$D^{-I} = 15^0\ 6'\ 36''$	$F^{-I} = 12^0\ 44'\ 40''$
$D^{+I} = 30^0\ 33'\ 10''$	$F^{+I} = 19^0\ 58'\ 54''$
$D^{-II} = 27^0\ 23'\ 18''$	$F^{-II} = 23^0\ 16'\ 50''$

$\sigma = 50^0$

$D^{-I} = 13^0\ 58'\ 12''$	$F^{-I} = 11^0\ 43'\ 53''$
$D^{+I} = 20^0\ 42'\ 51''$	$F^{+I} = 15^0\ 53'\ 10''$
$D^{-II} = 25^0\ 46'\ 20''$	$F^{-II} = 21^0\ 47'\ 36''$

$\sigma = 45^0$

$D^{-I} = 13^0\ 2'\ 37''$	$F^{-I} = 10^0\ 54'\ 55''$
$D^{+I} = 17^0\ 14'\ 14''$	$F^{+I} = 13^0\ 37'\ 38''$
$D^{-II} = 24^0\ 25'\ 30''$	$F^{-II} = 20^0\ 33'\ 39''$

$\sigma = 40^0$

$D^{-I} = 12^0\ 17'\ 34''$	$F^{-I} = 10^0\ 15'\ 29''$
$D^{+I} = 15^0\ 8'\ 52''$	$F^{+I} = 12^0\ 8'\ 12''$
$D^{-II} = 23^0\ 18'\ 54''$	$F^{-II} = 19^0\ 32'\ 57''$

$\sigma = 30^0$

$D^{-I} = 11^0\ 12'\ 22''$	$F^{-I} = 9^0\ 18'\ 36''$
$D^{+I} = 12^0\ 40'\ 30''$	$F^{+I} = 10^0\ 17'\ 34''$
$D^{-II} = 21^0\ 42'\ 5''$	$F^{-II} = 18^0\ 4'\ 35''$
$D^{+II} = 28^0\ 50'\ 5''$	$F^{+II} = 22^0\ 30'\ 10''$

$\sigma = 20^0$

$D^{-I} = 10^0\ 33'\ 2''$	$F^{-I} = 8^0\ 44'\ 10''$
$D^{+I} = 11^0\ 19'\ 23''$	$F^{+I} = 9^0\ 15'\ 22''$
$D^{-II} = 20^0\ 46'\ 54''$	$F^{-II} = 17^0\ 12'\ 45''$
$D^{+II} = 24^0\ 14'\ 30''$	$F^{+II} = 19^0\ 27'\ —''$

In diesen Versuchen liess sich das Instrument bei dem ersten Winkel nicht als repetirend benutzen; diese ersten Winkel sind daher, was die Secunden betrifft, etwas weniger genau, als die bei vertical auffallendem Lichte erhaltenen; da jedoch die Unterschiede diesseits und jenseits der Axe schon mehrere Grade betragen, so kommen einige Secunden nicht mehr in Anschlag.

Bei sämmtlichen Versuchen dieser Art hat sich also, wie man hier sieht, D^{-I} von D^{+I} verschieden ergeben, so auch F^{-I} von F^{+I}; und dasselbe war bei den übrigen farbigen Strahlen der Fall, für die ich hier die Versuche nicht hergesetzt habe. Wenn das Licht nicht vertical ausfällt, sind demnach die durch das Gitter hervorgebrachten Spectra nichts weniger als symmetrisch zu beiden Seiten der Axe, vielmehr ist der Unterschied in ihrer Lage bei grossen Einfallswinkeln so bedeutend, dass wenn er auch nur den hundertsten Theil so viel betrüge, man ihn schon beachten könnte. Unmittelbar aus den Ergebnissen dieser Versuche ein *Gesetz* für diese Phänomene abzuleiten, möchte auch dem scharfsinnigsten Physiker schwerlich gelingen.

Es bezeichne τ den Winkel, welchen ein farbiger Strahl nach der Modification mit der Ebene des Gitters macht, (bei vertical auffallenden Strahlen also das Complement von ϑ), und y eine von dem Mikrometerfaden des zum Beobachten dienenden Fernrohrs senkrecht auf die Ebene des Gitters gezogene gerade Linie [1]). Sämmtliche von mir angestellte Beobachtungen lassen sich dann, mit aller bei Versuchen dieser Art zu erreichenden Genauigkeit, darstellen durch die folgende Gleichung:

$$\text{(III.)} \qquad \operatorname{tng} \tau^{(\pm\nu)} = \frac{\sqrt{[\varepsilon^2 - (\varepsilon \cdot \sin\sigma \pm \nu\omega)^2] \cdot [4y^2 + \varepsilon^2 - (\varepsilon \cdot \sin\sigma \pm \nu\omega)^2]}}{2y(\varepsilon \cdot \sin\sigma \pm \nu\omega)}$$

Diese Gleichung habe ich, ohne Näherung, nach den Principien der

1) Ist also a die Entfernung des Mikrometerfadens (und mithin die Entfernung des Ortes, wo das Bild dieses Phänomens entsteht), vom Gitter, so ist $y = a \cdot \sin\tau$.

Interferenz entwickelt, welche schon im Jahr 1802 von Dr. Thom. Young aufgestellt, und nachher zuerst von den HH. Arago und Fresnel der verdienten Aufmerksamkeit gewürdigt worden sind. Es bedeutet hier ω allgemein die *Länge einer Lichtwelle.* Obschon diese Grösse ungemein klein ist, so können wir sie doch schon in hohem Grade genau ableiten aus den Versuchen, welche in meiner Abhandlung: Neue Modif. des Lichts u. s. w. beschrieben, und deren Resultate hier S. 126 f. in allgemeinen Ausdrücken für die verschiedenen farbigen Strahlen angegeben sind. Aus den Versuchen mit den Glasgittern lernen wir diese Grösse so genau kennen, dass für die helleren Farben fast nicht der tausendste Theil von ω ungewiss sein kann. Aus den Versuchen mit dem feineren Glasgitter erhält man, mittelst der Winkel für das erste Spectrum bei vertikal auffallendem Lichte, wenn $(C\omega)$ die Länge einer Lichtwelle für den Strahl C, $(D\omega)$ für den Strahl D etc. bezeichnet:

$$\left.\begin{array}{l}(C\omega) = 0{,}00002422\\ (D\omega) = 0{,}00002175\\ (E\omega) = 0{,}00001945\\ (F\omega) = 0{,}00001794\\ (G\omega) = 0{,}00001587\\ (H\omega) = 0{,}00001464\end{array}\right\} \text{ in Theilen eines Pariser Zolles}^{1}).$$

Es wird aus der Gleichung (III) auffallen, dass der Werth von τ in etwas von y abhängt, d. i. von der Entfernung, in welcher das Bild dieses Phänomens entsteht, dass also dieses so modificirte Licht, nach den Principien der Interferenz, nicht mathematisch vollkommen in einer geraden,

1) Die fixe Linie B, gegen das Ende von Roth, war, der grossen Ausdehnung des Bildes wegen, nicht so gut zu sehen, dass man ihren Ort mit Sicherheit hätte bestimmen können. Ich werde noch eine grössere Anzahl feiner Glasgitter zu machen suchen, um den Werth von ω für die verschiedenen farbigen Strahlen, wo möglich, noch genauer zu bestimmen; jedoch ist er schon jetzt hinreichend genau bekannt, um darüber gewiss zu seyn, ob die Versuche die Theorie bestätigen. Leitet man aus den Versuchen mit dem gröberen Glasgitter die Werthe von $(D\omega)$, $(E\omega)$ u. s. w. ab, so erhält man sie in der achten Decimalstelle etwas weniges grösser als sie sich aus den Versuchen mit dem feineren Glasgitter ergeben; diese kleine Differenz kann indess nur in einer weniger genauen Bestimmung des Werthes von ε zu suchen seyn, welche ich bei dem feineren Gitter für genauer halten möchte. Ich brauche nicht zu erinnern, dass die Genauigkeit in Hinsicht der Bestimmung des Werthes von ε ihre Gränzen hat, so ausserordentlich weit sie auch durch Hülfe der Mittel, deren ich mich bediene, reicht; ich habe Hoffnung, sie in der Folge noch weiter zu steigern.

sondern in einer gekrümmten Linie fort geht. Die Gleichung für diese krumme Linie, ohne Näherung entwickelt, ist:

$$(\text{IV.})\; x^2[4\varepsilon^2 - 4(\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega)^2] = 4y^2(\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega)^2 + [\varepsilon^2 - (\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega)^2](\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega)$$ [1]

Da diese Phänomene nur mit einem Fernrohr beobachtet werden können, welches, wenn man die Abstände mit einiger Genauigkeit bestimmen will, grosse Wirkung haben muss, also nicht sehr kurz seyn kann, so ist y im Vergleich mit ω und ε sehr gross. Bei meinem Instrument ist die Entfernung des Mikrometer-Fadens von dem Gitter = 21,43 Zoll. Nur wenn y im Vergleich mit ω nicht sehr gross wäre, könnte der Werth von τ bei verschiedenen y etwas verschieden gefunden werden; allein wenn man in die Gleichung (III) y auch einmal $\frac{1}{2}$, und dann 2 und 3 Mal so gross setzt, als es bei meinen Versuchen wirklich war, so erhält man doch immer denselben Werth für τ [2]). Es verschwindet also, wie das die Gleichung ohnediess deutlich genug zeigt, der Werth von $\varepsilon^2 - (\varepsilon\,.\,\sin.\,\sigma \pm \nu\omega)^2$ gegen $4y^2$; daher man ihn vernachlässigen kann. Man erhält also genähert:

$$\text{tang}\,\tau^{(\pm\nu)} = \frac{\sqrt{[\varepsilon^2 - (\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega)^2]}}{\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega}$$

oder:

$$(\text{V.}) \qquad \cos\tau^{(\pm\nu)} = \frac{\varepsilon\cdot\sin\sigma \pm \nu\omega}{\varepsilon}$$

Diese Gleichung stellt die S. 129 angeführten Versuche mit nicht-symmetrischen Spectren eben so genau dar, als es die Gleichung (III) thut. In beiden Gleichungen giebt das Zeichen + die Lage der auf der einen,

---

1) Die Gleichungen (III) und (IV) sind für den Fall entwickelt, wenn die auffallenden Strahlen als unter sich parallel betrachtet werden können. Wäre die Entfernung des leuchtenden Punktes im Vergleich mit ε nicht sehr gross, so hätte man in beiden Gleichungen, statt $\varepsilon\cdot\sin\sigma$, zu setzen $\frac{\varepsilon\cdot\sin(\sigma + \frac{1}{2}\beta)}{\cos\frac{1}{2}\beta}$, wo β durch die Gleichung $\sin\beta = \frac{\varepsilon\cdot\cos\sigma}{a}$ ausgedrückt wird. In letzterer bezeichnet a die Entfernung des leuchtenden Punktes vom Gitter.

2) Ich hatte auch mit einem Fernrohr von 4 Zoll Brennweite diese Winkel gemessen, aber, was der Gleichung zu Folge zu erwarten war, keine anderen Unterschiede gefunden, als die, welche dem geringeren Sehvermögen zugeschrieben werden mussten, und bald positiv, bald negativ waren. Wenn eine Krümmung des modificirten Strahls wahrzunehmen wäre, so möchte es in dem Fall seyn, wo die Entfernung des leuchtenden Punktes nicht gross ist; allein dann sind diese Versuche vielen Schwierigkeiten unterworfen, und fordern einen veränderten im hohen Grade vollkommenen Apparat.

und das Zeichen — die Lage der auf der entgegengesetzten Seite der Axe gelegenen farbigen Strahlen in den verschiedenen Spectren. Bei Vergleichungen muss man nicht vergessen, dass in den Versuchen die Abstände von der Axe gemessen worden sind, dass τ aber den Abstand von der Ebene des Gitters ausdrückt. Kaum dürfte es nöthig seyn noch zu bemerken, dass in den speciellen Fällen, wenn man z. B. obige Gleichung für den Strahl C benutzt, statt ω, $(C\omega)$ zu setzen ist; eben so wenn man sie für den Strahl D benutzt, $(D\omega)$ etc. In diesen Fällen bezeichne ich für den Strahl C die Grösse τ mit $(C\tau)$, für D mit $(D\tau)$ etc. Die Gleichung (V) wird demnach in diesen Fällen:

$$\cos\,(C\tau)^{(\pm\nu)} = \frac{\varepsilon \cdot \sin\sigma \pm \nu(C\omega)}{\varepsilon}$$

$$\cos\,(D\tau)^{(\pm\nu)} = \frac{\varepsilon \cdot \sin\sigma \pm \nu(D\omega)}{\varepsilon} \text{ u. s. w.}$$

Wenn die Strahlen *vertical* auf das Gitter fallen, so ist $\sin\sigma = 0$ und die Gleichung (V) wird:

$$\cos\tau^{(\pm\nu)} = \frac{\pm\nu\omega}{\varepsilon}$$

Da in diesem Falle $\cos\tau = \sin\vartheta$, so ist dieses die S. 126 direct aus den Versuchen abgeleitete Gleichung (II); daher auch jene Versuche die Theorie bestätigen.

In einem *anderen Medium* als Luft bezeichne ich den Exponenten des Brechungs-Verhältnisses, z. B. für den Strahl C mit (Cn), für den Strahl D mit (Dn) etc. Dass man für ein solches in obige Gleichung statt $(C\omega)$ zu setzen habe $\frac{(C\omega)}{(Cn)}$, statt $(D\omega)$, $\frac{(D\omega)}{(Dn)}$ etc., lässt sich aus den Versuchen folgern, mit dem in brechenden Mitteln durch gegenseitige Einwirkung modificirten Lichte.[1])

Wird die nicht-radirte Fläche eines Glasgitters mit *schwarzem Harzfirniss* belegt, welcher im Brechungsvermögen dem des Glases nahe gleich kömmt, so kann bekanntlich von dieser belegten Seite kein Licht im Innern des Glases reflectirt werden, und es wirft dann blos die radirte Glasfläche Licht zurück. Fällt von einer scheinbar sehr schmalen Oeff-

1) Neue Modif. des Lichts etc. S. 93; der französischen Uebersetzung p. 94.

nung am Fensterladen kommendes, und auf diese Art blos *von der radirten Fläche reflectirtes Licht* auf das Objectiv des Fernrohrs, so zeigt sich genau dieselbe Erscheinung, als wenn das Licht unter demselben Neigungswinkel *durch* das Gitter fährt; man sieht nämlich nicht-symmetrische vollkommene Spectra der *zweiten* Klasse. Die Intensität dieser Spectra ist noch so gross, dass man die Abstände der verschiedenen fixen Linien mit grosser Genauigkeit bestimmen kann. Ich habe eine grosse Reihe von Versuchen über die Abstände dieser durch *Reflexion* entstandenen Spectra, unter verschiedenen Einfallswinkeln, gemacht, deren Detail ich hier übergehe. Die Gleichung (V) stellt sämmtliche Beobachtungen so genügend dar, als es zu erwarten ist. Bei Entwickelung der allgemeinen Gleichung für die durch die Reflexion entstandenen Phänomene nach den Principien der Interferenz, erhält man denselben Ausdruck wie für durchfahrendes Licht, nämlich, ohne Näherung, die Gleichung (III). Es wird daher auch auf diesem Wege die Theorie durch die Erfahrung bestätigt.

Sehr merkwürdig ist es, dass unter einem gewissen Einfallswinkel ein Theil eines durch Reflexion entstandenen Spectrums aus *vollständig polarisirtem Lichte* besteht. Dieser Einfallswinkel ist für die verschiedenen Spectra sehr verschieden, und selbst noch sehr merklich für die verschiedenen Farben ein und desselben Spectrums. Mit dem Glasgitter $\varepsilon = 0{,}0001223$ ist polarisirt: $(E\tau)^{(+\mathrm{I})}$, d. i. der *grüne* Theil dieses ersten Spectrums, wenn $\sigma = 49^0$ ist; $(E\tau)^{(+\mathrm{II})}$, oder der grüne Theil in dem zweiten auf derselben Seite der Axe liegenden Spectrum, wenn $\sigma = 40^0$ beträgt; endlich $(E\tau)^{(-\mathrm{I})}$, oder der grüne Theil des ersten auf der entgegengesetzten Seite der Axe liegenden Spectrums, wenn $\sigma = 69^0$. Wenn $(E\tau)^{(+\mathrm{I})}$ vollständig polarisirt ist, sind es die übrigen Farben dieses Spectrums noch unvollständig. Dieses ist bei $(E\tau)^{(+\mathrm{II})}$ weniger der Fall, und σ kann merklich geändert werden, indess diese Farbe noch polarisirt bleibt. $(E\tau)^{(-\mathrm{I})}$ ist unter keinem Einfallswinkel so ganz vollständig polarisirt, wie $(E\tau)^{(+\mathrm{I})}$. Bei einem Gitter, in welchem ε grösser ist, als in dem, wovon hier die Rede war, müssen die Einfallswinkel ganz andere seyn, wenn die genannten Spectra polarisirt seyn sollen [1]).

1) Es wäre unzeitig aus einer geringen Anzahl von Beobachtungen schon auf ein Gesetz dieses Phänomens schliessen zu wollen; dieses kann nur aus einer grösseren Anzahl Gitter, bei

Man sieht aus der Gleichung (V), dass, wenn $\varepsilon < \varepsilon \cdot \sin \sigma \pm \nu\omega$ wird, $\cos \tau^{(\pm\nu)} > 1$, also unmöglich ist. Bei vertical auffallenden Strahlen muss $\varepsilon > \nu\omega$ seyn, wenn $\tau^{(\nu)}$ noch sichtbar, d. i. möglich sein soll. Ist $\varepsilon < \omega$, so ist *kein farbiger Strahl mehr sichtbar*, wie das Licht auch auffallen mag, und es bleibt nur das weisse Licht in der Axe übrig, nämlich $\cos \tau^{(0)} = \sin \sigma$. Und dieses gilt sowohl für durchfahrende, als für reflectirte Strahlen, weil die Gleichung für beide dieselbe ist. Wenn $\varepsilon = \omega$, so wäre schon $\tau^{(1)} = 90^0$. Wenn man demnach ein Gitter macht, bei welchem die Entfernung der Mitten je zweier Parallellinien kleiner als ω ist, so kann mittelst desselben in keinem Falle ein Spectrum, sondern nur der weisse Strahl (die Axe) sichtbar werden.

Es ist nicht wohl denkbar, dass die Politur, welche wir durch Kunst auf Glas etc. hervorbringen können, mathematisch vollkommen sey. Besteht diese Politur aus *Unebenheiten*, welche, in Hinsicht ihrer Entfernung von einander, kleiner als ω sind, so sind sie sowohl für durchfahrendes als zurückgeworfenes Licht ohne Nachtheil, und es können dadurch keine Farben irgend einer Art entstehen; auch wäre es durch kein Mittel möglich, diese Unebenheiten sichtbar zu machen [1]). Wirkten die kleinen Unebenheiten auf das Licht, z. B. bei der Zurückwerfung nach dem Gesetze der Reflexion, so müssten die Strahlen im höchsten Grade unregelmässig zerstreut werden, weil die Krümmungs-Halbmesser dieser kleinen Unebenheiten nicht anders als sehr klein seyn können, und eine regelmässige Zurückwerfung wäre nicht möglich. Besteht eine reflectirende Fläche aus Unebenheiten, deren Entfernungen von einander

---

welchen ε sehr verschieden ist, mit einiger Sicherheit abgeleitet werden. Da es bei diesen Versuchen eben nicht nöthig ist, dass die fixen Linien der Spectra gut erkannt werden, so kann man Gitter machen, bei welchen ε noch beträchtlich kleiner ist, als bei dem feinsten Glasgitter, dessen ich mich bis jetzt bediente. — Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Principe der Interferenz vielleicht noch zu einer Theorie der Polarisation des Lichtes führen werden. Meine Ansicht hierüber mitzutheilen ist hier weder der Ort, noch gegenwärtig schon die Zeit. Glücklicher Weise sind noch Versuche anderer Art möglich, welche auf diesen Gegenstand Bezug zu haben scheinen; doch sind sie, so wie der grössere Theil sämmtlicher diesen Gegenstand betreffender Versuche, sehr delicater Art.

1) Man kann daraus schliessen, was möglicher Weise durch Mikroskope noch zu sehen ist. Ein mikroskopischer Gegenstand z. B., dessen Durchmesser $= \omega$ ist, und der aus zwei Theilen besteht, kann nicht mehr als aus zwei Theilen bestehend erkannt werden. Dieses zeigt uns eine Gränze des Sehvermögens durch Mikroskope.

kleiner als ω sind, so ist, wie gesagt, kein Spectrum möglich, und es kann nur das Licht in der Axe zurückgehen. Für diesen Strahl ist bekanntlich $\nu = 0$, in welchem Fall die Gleichung (V) zugleich auch das *Gesetz der Reflexion* darstellt; es ist nämlich $\cos \tau^{(0)} = \sin \sigma$. Auch dieses Gesetz folgt also aus der Interferenz, ohne dass man eine zurückstossende Kraft, welche auf die reflectirende Ebene vertical ist, anzunehmen braucht [1]). — Dass bei einem grösseren Einfallswinkel mehr Licht

---

1) Dieselbe Ansicht möchte vielleicht auch auf die Oberfläche jeder *Flüssigkeit* angewendet werden dürfen. Sind die kleinsten Theilchen, aus welchen eine Flüssigkeit besteht (die Atome), nicht unendlich klein, und haben sie, wie klein sie auch gedacht werden mögen, irgend eine Grösse, so kann die Oberfläche nicht mathematisch eben seyn, und das Licht kann von dieser Fläche nur nach den Principen der Interferenz regelmässig reflectirt werden. Man braucht dabei, so wie auch bei den künstlichen Flächen, nicht anzunehmen, dass zwischen diesen Unebenheiten wieder ebene Flächen seyn müssen; es ist weiter nichts nöthig, als dass die Lichtwellen von jedem einzelnen Punkte aus divergiren, so werden sie durch gegenseitige Einwirkung das hervorbringen, was die Gleichung ausdrückt. Man wird diese Annahme nicht gewagt finden, wenn man bedenkt, dass z. B. von den beiden schneideartigen Rändern einer schmalen Oeffnung die Lichtwellen, in einem Sinne, eben so divergiren müssen, um, nach der Interferenz, die Spectra hervorbringen zu können, welche durch eine einzelne Oeffnung gesehen werden, und dass diese schneideartigen Ränder, wie die Erfahrung lehrt, eben nicht mathematisch vollkommen zu seyn brauchen. — Auch die *Farben dünner Blättchen* (die Newtonischen *Farbenringe*) können, bei derselben Voraussetzung, dass die Flächen aus kleinen Unebenheiten bestehen, aus der Theorie der Interferenz abgeleitet werden. Ich habe eine Anzahl neuer Versuche über diese Farbenringe gemacht, die jedoch zur Mittheilung in diesem kurzen Berichte nicht geeignet sind, auch noch weiter fortgesetzt werden müssen. — Es ist nicht unwahrscheinlich, dass der *Polarisationswinkel* eines brechenden Mittels vielleicht noch Aufschluss über die Grösse der kleinsten Theilchen dieser Materie geben könne. — Wie die Versuche zeigten, ist in brechenden Mitteln ω kleiner als im leeren Raume; daraus kann man das *Gesetz der Brechung* sehr einfach ableiten, wie man es bisher schon nach dem Undulationssysteme erklärt hat. Da die Lichtwellenschläge von einer bestimmten Art sich unter allen Umständen in gleicher Zeit wiederholen müssen, in einem brechenden Mittel aber diese Wellen kleiner sind, so braucht das Licht in einer brechenden Materie in demselben Verhältniss mehr Zeit zur Fortpflanzung. — Nach jeder Hypothese, wo man die Materie als anziehend oder abstossend auf das Licht wirken lässt, ist es schwer zu erklären, warum die Oberfläche eines brechenden Mittels einen Theil des Lichtes *anzieht*, während sie einen andern Theil *zurückstösst*, und selbst die Hülfshypothese der Anwandlungen der Lichttheilchen zum leichteren Durchgehen oder Zurückgehen lässt noch sehr viele Schwierigkeiten, wenn man bedenkt, dass ein und dieselbe brechende Fläche um so viel mehr Licht zurückwirft, je grösser der Einfallswinkel der auffallenden Strahlen ist, und dass jede brechende Materie, wenn der Einfallswinkel 90^0 nahe kömmt, fast alles auffallende Licht reflectirt. — Dass eine ebene, übrigens *rauhe* Fläche, welche das vertikal auffallende Licht ganz unregelmässig zerstreut, bei grossen Einfallswinkeln regelmässig reflectirt, erklärt sich sehr einfach durch die Interferenz. — Die *Farben der Perlmutter* sind von derselben Natur wie die, welche durch Reflexion des Lichtes von der Oberfläche eines Glasgitters entstehen. Würde man sie auch nicht durch andere Mittel leicht als solche erkennen, so bewiese es schon die Entdeckung des Herrn Brewster, dass auch ein guter Abdruck der Perl-

zurückgeworfen werden muss, als bei einem kleinern, folgt eben so einfach, und entspricht der Erfahrung. — Merkwürdig ist es, dass der nicht-genäherten Gleichung (III) zu Folge, in Entfernungen von der reflectirenden Ebene, welche im Vergleich mit ω nicht gross sind, d. i. in sehr kleinen Entfernungen, der Reflexionswinkel merklich von dem Einfallswinkel verschieden seyn kann. Dass in den Entfernungen, wo man noch genau beobachten kann, der Unterschied so klein ist, dass nicht daran gedacht werden kann, ihn durch einen Versuch zu finden, wird man bei genauer Betrachtung dieser Gleichung leicht einsehen; daher die gewöhnlichen Versuche zur Bestimmung des Gesetzes der Reflexion, auch nichts gegen die Ableitung desselben aus der Theorie der Interferenz beweisen können.

Aus allen Versuchen mit den verschiedenen Gittern geht klar hervor, dass die Abstände der Spectra von der Axe um so grösser sind, je kleiner die Entfernung der Mitten je zweier Zwischenräume, d. i. ε, ist, und dass wenn die Spectra homogen seyn sollen, diese ε im ganzen Gitter in hohem Grade gleich seyn müssen. Sind diese Entfernungen ungleich, so werden die grösseren ε kleine Spectra, die kleineren ε hingegen grosse Spectra hervorbringen, die sich dem Grade der Unregelmässigkeit entsprechend mit einander vermengen. Bei sehr grosser Unregelmässigkeit können selbst gar keine heterogenen Farben mehr gesehen werden, und das Licht muss dann im ganzen Raume weiss seyn; wie das

---

mutter dieselben Farben zeigt, und dass folglich die Ursache an der Oberfläche liegt; sie besteht also aus Theilchen oder Schichten, welche nach einer Richtung grösser als ω sind, und ihre Grösse kann, sehr nahe, aus dem Winkel, unter welchem man die Farben irgend einer Art sieht, abgeleitet werden.

Selbst diejenigen, welche sich nicht zum Undulationssysteme bekennen, werden, wenn sie die Resultate der Versuche für sich betrachten, zugestehen, dass ω eine reale absolute Grösse ist. Was man übrigens auch unter dieser Grösse sich denke, so muss sie in jedem Falle von der Natur seyn, dass die eine Hälfte derselben in Hinsicht der Wirkung der andern Hälfte entgegengesetzt ist, so dass, wenn eine vordere Hälfte mit einer hintern Hälfte genau zusammentrifft, oder sie auf diese Weise unter einem kleinen Winkel schneidet, die Wirkung sich aufhebt, indess sie sich verdoppelt, wenn z. B. zwei vordere oder auch zwei hintere Hälften in einem Sinne zusammentreffen. Dieses ist bei der Interferenz zum Grunde gelegt. Wer etwas anderes als eine Welle mit dieser Eigenschaft sich denken kann, mag es seiner Ansicht anpassen. Die *Interferenz* wird immer feststehen; weil nur aus ihr diese ausserordentlich mannigfaltigen Phänomene, welche so sehr genauer Bestimmungen fähig sind, sich genügend erklären. Es ist sehr wahrscheinlich, dass uns in der Folge die Versuche auch noch mit anderen Eigenschaften von ω, als die hier genannte, bekannt machen werden, worauf, unter andern, die *Polarisation des Lichtes* hinzuweisen scheint.

die Erfahrung auch bestätigt. Es ist jedoch interessant zu wissen, welche Phänomene entstehen würden, wenn die Grössen der *Zwischenräume regelmässig ungleich* wären, d. i., wenn die Ungleichheit der Entfernungen, wie sie immer seyn mag, sich regelmässig in gleichen Partien wiederholte. Ich habe zu diesem Zwecke in mehrere mit Blattgold belegte Plangläser Parallellinien auf verschiedene Weise regelmässig-ungleich radirt. Hier kann ich nur einige der Resultate dieser Versuche, die übrigens auch noch weiter fortgesetzt werden müssen, in Kürze anführen. Die Spectra, welche durch diese Art Gitter mittelst des Fernrohrs gesehen werden, bestehen aus homogenem Lichte, und die fixen Linien derselben werden in hohem Grade deutlich erkannt, so dass ihre Abstände von der Axe genau gemessen werden können. Werden die Entfernungen der Mitten der Zwischenräume eines regelmässig-ungleichen Gitters durch ε', ε'' u. w. bezeichnet, und wird eine der gleichen Partien, welche aus ungleichen ε besteht, durch $\varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''' \ldots + \varepsilon^n$ ausgedrückt, so werden, den Resultaten der Versuche zu Folge, bei *vertical* auffallendem Lichte, die Abstände der verschiedenen Spectra von der Axe durch folgende Gleichung dargestellt:

$$\sin \vartheta^{(\nu)} = \frac{\nu\omega}{\varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''' \ldots + \varepsilon^n}$$

Wie auch die ε in der aus ungleichen Theilen bestehenden Partie, welche durch den Divisor der Gleichung dargestellt ist, aufeinander folgen mögen, selbst wenn einige darunter gleich sind, bleibt die Gleichung doch immer dieselbe, wenn nur diese Partei nicht wieder in kleinere gleiche Partien abgetheilt werden kann, in welchen die ε genau auf gleiche Weise und in demselben Sinne aufeinander folgen. Merkwürdig ist dieses durch regelmässig-ungleiche Gitter entstandene Phänomen wegen des Verhältnisses der Intensität der verschiedenen Spectra, worüber jedoch hier in Kürze, und ohne Figur, nichts allgemeines angeführt werden kann. Bei einigen Gittern dieser Art können mehrere Spectra, oder Theile derselben, gänzlich mangeln, oder so geringe Intensität haben, dass sie sich schwer bemerken lassen, während die folgenden wieder sehr intensiv sind. Dieses hat den grossen Vortheil, dass sich hier die fixen Linien derjenigen Spectra beobachten lassen, welche bei Gittern,

die aus gleichen ε bestehen, aus dem Grunde nicht zu sehen sind, weil sie durch die benachbarten Spectra gedeckt werden. So ist z. B. bei keinen aus gleichen ε bestehenden Gittern C^{XII} und F^{XII} zu sehen; bei einem regelmässig-ungleichen Gitter dagegen, wo jede Partie aus drei unter sich verschiedenen ε besteht, die sich verhalten wie 25:33:42, werden C^{XII}, D^{XII}, E^{XII} und F^{XII} so deutlich gesehen, dass man die Abstände von der Axe mit Sicherheit messen kann. Denn bei einem solchen Gitter mangelt das zehnte und eilfte Spectrum fast gänzlich. Mit diesem Gitter sah ich selbst E^{XXIV} noch so bestimmt, dass der Abstand von der Axe gemessen werden konnte. Das Verhältniss der Intensität der verschiedenen Spectra hängt von dem Verhältniss der in einer Partie aufeinander folgenden ε ab, welches in manchen Fällen sehr complicirt ist[1]). Aehnliche regelmässig-ungleiche Gitter erhält man, wenn man zwei verschiedene Gitter, d. i. zwei in deren jedem die ε unter sich gleich, aber in dem einen grösser als in dem andern sind, mit den radirten Flächen so zusammenlegt, dass die Linien genau parallel laufen.

Es muss von einigem Interesse seyn, vollkommene Spectra der zweiten Klasse hervorzubringen, welche *concentrische Kreise* bilden, und in denen folglich die fixen Linien kreisförmig erscheinen. Man kann aus dem Bekannten leicht folgern, dass solche Spectra in dem Falle entstehen müssen, wenn das Gitter aus genau kreisförmigen, concentrischen, radirten Linien besteht, bei welchen die Entfernungen der Mitten je zweier Linien in hohem Grade gleich sind. Mit einer Maschine, welche über die nöthige Genauigkeit keinen Zweifel lässt, habe ich ein solches aus radirten Kreislinien bestehendes Gitter verfertigt, das, wenn es vor das Objectiv des Fernrohrs gestellt wird, und wenn von einer

1) Man kann aus dem erwähnten, so wie aus mehreren der übrigen Versuche, schon schliessen, dass viele dieser Erscheinungen, wenigstens dem Anschein nach, so sehr zusammengesetzt sind, dass man in Kürze nicht füglich von ihnen sprechen kann; daher ich auch mehreres, was von Interesse seyn möchte, unberührt lassen muss. — Je weiter man in diesen Versuchen kömmt, um so grösser wird das Feld, welches sich zu neuen Forschungen darbietet. Es ist sehr zu bedauern, dass sie nur selten von Jemand wiederholt werden können, da sie sehr grossen, zum Theil kostbaren Apparat, und sehr viel Zeit fordern. Dass zu diesen Versuchen der Himmel recht günstig seyn muss, macht mehr Zeit verlieren, als man vielleicht glaubt, welches ich um so härter fühle, da mir Berufsgeschäfte nur wenige bestimmte Tage im Monat zu diesen Forschungen frei lassen.

runden Oeffnung im Fensterladen kommendes Licht senkrecht auf dasselbe fällt, kreisförmige concentrische Spectra im Fernrohre zeigt, welche die fixen Linien enthalten [1]). Ihre Abstände von der Axe verhalten sich eben so, wie in den Spectren, welche durch ein aus geraden Parallelen bestehendes Gitter hervorgebracht werden; daher sie sich durch dieselbe Gleichung als diese darstellen lassen.

Zusatz,

die Farbenspectra vom Flammen-, Mond- und Sternenlichte, und vom elektrischen Lichte betreffend.

Bekanntlich zeigt das *Farbenspectrum*, welches von dem Lichte des *Feuers (Lampenlicht)* mittelst des Prismas entsteht, nicht die dunkeln fixen Linien, welche im Spectrum vom Sonnenlicht enthalten sind; statt ihrer aber hat es im Orange eine helle Linie, welche sich vor dem übrigen Theil des Spectrums auszeichnet, doppelt ist und sich an dem Orte befindet, wo im Spectrum vom Sonnenlichte die dunkle Doppellinie *D* steht [2]). — Das Spectrum, welches von dem Lichte einer Flamme entsteht, die mit einer *Blasröhre* angeblasen wird, enthält mehrere ausgezeichnet helle Linien. Noch von grösserem Interesse für optische Versuche ist es, dass, bei vortheilhaftem Anblasen der Flamme, das Licht der *vorderen Hälfte* derselben durch das Prisma nicht weiter zerlegt wird, und folglich *einfaches homogenes* Licht ist. Dieses Licht hat, soweit ich

---

1) Mit dem Zusammenhange dieser Phänomene Vertraute mögen es entschuldigen, dass ich hier eine Anmerkung beifüge, die sie für sehr überflüssig halten dürften. Es ist mir aber so häufig vorgekommen, dass diejenigen, welchen ich die Erscheinungen durch ein Gitter irgend einer Art zeigte, glaubten, man sehe mit dem Fernrohr das Gitter an, (eine Meinung, in der kreisförmige Gitter sie noch mehr bestärkten), dass ich es für zweckmässig halte, hier ein Wort über diesen Irrthum zu sagen. Man braucht nur zu überlegen, welchen Weg das von einem Gegenstand kommende Licht durch das Fernrohr nimmt, und was die Ursache des Sehens mittelst des Fernrohrs ist, um von dem Gedanken zurück zu kommen, dass durch das Fernrohr der Gegenstand beobachtet werde, der am Objectiv steht; ein Wahn, welcher nicht viel besser ist, als wenn jemand meinte, man sehe, indem man durch das Fernrohr sieht, das Objectivglas an. So wenig man von einem Finger, den man auf das Objectiv gelegt hat, im Durchsehen durch das Fernrohr etwas bemerkt, eben so wenig sieht man das Gitter. Es steht das hier Berührte zum Theil mit dem in Verbindung, was in der Anm. S. 119 auseinandergesetzt ist.

2) S. m. erste Abh.

es bis jetzt untersucht habe, einerlei Brechbarkeit mit dem Strahle *D* von Sonnenlicht. Einfaches homogenes Licht, welches nach allen Richtungen ausfährt, ist, aus den bekannten Gründen, sehr schwer hervorzubringen, und mit Prismen unmittelbar nie zu erhalten; daher diese Flamme bei vielen Versuchen von grossem Nutzen ist.

Mittelst der grossen Electrisirmaschine des physikalischen Kabinets der kön. Akademie erhielt ich ein Spectrum vom *electrischen Lichte*, in welchem ich eine grössere Anzahl heller Linien erkannte, als ich früher mit schwächerem Lichte sah [1]). Ich habe den relativen Ort der hellsten Linien, und das Verhältniss der Intensität derselben bestimmt.

Das Licht des *Mondes* hat mir ein Farbenspectrum gegeben, welches, in den helleren Farben, dieselben fixen Linien wie Sonnenlicht, und auch genau an demselben Orte zeigt. Da das Licht des Mondes zu schwach ist, so konnte ich die fixen Linien in den weniger hellen Farben nicht sehr bestimmt erkennen.

Zur Beobachtung der *Spectra vom Lichte der Fixsterne*, und zugleich zur *Bestimmung der Brechbarkeit dieses Lichtes*, habe ich vor kurzem ein eignes, blos zu diesem Zwecke bestimmtes grosses Instrument verfertigt, mit einem Fernrohr von 4 Zoll Oeffnung des Objectivs, und damit schon mehrere interessante Resultate erhalten, wenn gleich die Versuche noch bei weitem nicht geendigt sind. Das Flintglasprisma dieses Instruments hat einen Winkel von $37^0\ 40'$, und denselben Durchmesser als das Objectiv. Der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem ausfahrenden an diesem Prisma macht, ist ungefähr 26^0, so dass, wenn die Brechbarkeit des Lichts eines Sternes auch nur sehr wenig von der eines andern Sternes verschieden wäre, der Unterschied sich doch sehr leicht würde beobachten lassen. Damit man diesen Unterschied, im Fall sich einer fände, mit Genauigkeit wahrnehmen und bestimmen könne, habe ich noch ein zweites kleineres Fernrohr angebracht, welches an das grössere befestigt ist, und es unter einem Winkel von ungefähr 26^0 schneidet, das heisst unter einem Winkel, welchen der nach der Brechung durch das Prisma ausfahrende Strahl mit dem einfallenden Strahle macht. Von zwei Beobachtern wird von dem Einen der Antritt des Sternes am

1) Vergl. am angef. Orte S. 26.

Faden des kleinern Fernrohrs ohne Prisma, und von dem Andern der Antritt eines Theils des Spectrums desselben Sternes durch das grössere Fernrohr beobachtet. Dieses grössere Fernrohr hat zu dem Zwecke ein Schraubenmikrometer, dessen beweglichen Rand der Beobachter mittelst der Schraube so stellt, dass in dem Augenblicke, wenn der Stern durch den Faden des kleineren Fernrohrs ohne Prisma geht, eine der fixen Linien des Spectrums im grössern Fernrohr den Rand schneidet. Man richtet alsdann das Instrument, ohne den Mikrometer zu ändern, auf einen andern Stern, von welchem man wissen will, ob sein Licht dieselbe Brechbarkeit hat. Ist in dem Augenblick, wo dieser Stern den Faden des kleinen Fernrohrs schneidet, dieselbe Farbe des Spectrums, oder die fixe Linie, an dem Rande des Mikrometers des grossen Fernrohrs, so ist die Brechbarkeit dieser beiden Lichtarten gleich. Da bei diesen Versuchen zwei Beobachter nöthig sind, so hatte Herr Steuer-Rath und Astronom Soldner die Güte, sie mit mir zu machen. Diese Versuche sind jedoch, wie gesagt, nur als angefangen zu betrachten, und ich muss, um noch grössere Genauigkeit zu erhalten, und auch mehr Zeit beim Beobachten zu gewinnen, noch wesentliche Veränderungen an dem Instrumente anbringen.

Wir haben bis jetzt keinen *Fixstern* gefunden, dessen Licht, in Hinsicht der *Brechbarkeit*, von dem Lichte der *Planeten* merklich verschieden wäre. In dem Fall, wenn die fixen Linien der Spectra deutlich gesehen werden, ist man mit diesem Instrument noch auf 10 Secunden sicher, und wenn die fixen Linien nicht zu sehen sind, für die orangenen Strahlen, noch auf $\frac{1}{2}$ Minute. Da die ganze Brechung durch das Prisma ungefähr 26^0 beträgt, so würde man einen Unterschied, welcher $\frac{1}{9360}$ der ganzen Brechung beträgt, mit diesem Instrumente noch wahrnehmen können, was selbst bei der Horizontalrefraction in der Atmosphäre noch nicht $\frac{1}{4}$ Secunde betrüge. Bisher haben bekanntlich einige Astronomen bezweifelt, ob nicht die Refractionstafeln für verschiedene Sterne etwas verschieden seyn müssten, daher durch die genannten Versuche dieser Zweifel gehoben zu seyn scheint. Die Fortsetzung derselben wird uns hierüber, wie ich hoffe, noch zur völligen Gewissheit führen.

Zum Beobachten der *fixen Linien* der verschiedenen Sterne muss bei diesem grossen Instrumente die Luft sehr gut seyn, was sie nur selten

in dem nöthigen Grade ist. Die Spectra vom Lichte des *Mars* und dem der *Venus* enthalten dieselben fixen Linien, wie das vom Sonnenlicht, und genau an demselben Orte, wenigstens was die Linien *D*, *E*, *b* und *F* betrifft [1]), deren relative Lage genau bestimmt werden konnte. Im Spectrum vom Lichte des *Sirius* vermochte ich nicht, in dem Orange und in der gelben Farbe fixe Linien wahrzunehmen; im Grünen dagegen ist ein sehr starker Streifen zu erkennen, und zwei andere ungemein starke Streifen sind im Blauen, die keiner der Linien vom Planetenlichte ähnlich zu seyn scheinen; wir haben ihren Ort mit dem Mikrometer bestimmt. *Castor* giebt ein Spectrum, welches dem des Sirius gleicht; der Streifen im Grünen hat, des schwachen Lichtes ungeachtet, Intensität genug, dass ich ihn messen konnte, und ich fand ihn genau an demselben Orte wie beim Sirius. Die Streifen im Blauen konnte ich zwar erkennen, doch war das Licht nicht stark genug, um ihren Ort zu bestimmen. Im Spectrum von *Pollux* erkannte ich viele aber schwache fixe Linien, welche wie die der Venus aussehen. Ich sah die Linie *D* sehr gut; sie ist genau an dem Orte wie bei Planetenlicht. *Capella* giebt ein Spectrum, in welchem sich an den Orten *D* und *b* dieselben fixen Linien zeigen als in dem aus Sonnenlicht. Das Spectrum von *Beteigeuze* enthält zahlreiche fixe Linien, die bei guter Luft scharf begränzt sind, und wenn es gleich beim ersten Anblick keine Aehnlichkeit mit dem Spectrum der Venus zu haben scheint, so finden sich doch genau an den Orten, wo bei Sonnenlicht *D* und *b* sind, auch in dem Spectrum dieses Fixsternes ähnliche Linien. Im Spectrum von *Procyon* erkennt man mit Mühe einige Linien, und nicht so deutlich, dass man mit Sicherheit ihren Ort bestimmen könnte. Ich glaube im Orange an dem Ort *D* eine Linie gesehen zu haben.

München, den 14. Juli 1823.

---

1) Die Linie *b* liegt im Grünen, zwischen *E* und *F*; sie besteht eigentlich aus drei starken Linien, wovon zwei sich näher sind als die dritte. M. s. meine Abh. „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens u. s. w.“

Ueber die Erfindung dreyer verschiedener astronomischer Mikrometer.

(Oeffentliche Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe, den 15. Januar 1824.
Denkschriften der k. Akad. der Wiss. zu München, Bd. IX. p. 45.)

Herr Conservator Dr. Fraunhofer liest über seine Erfindung dreyer verschiedener astronomischer Mikrometer, welche dazu dienen, den Unterschied der Deklination und der geraden Aufsteigung zweyer Sterne zu bestimmen. — Das erste besteht in einem oder aus mehreren zweischneidigen im Gesichtsfelde des Fernrohres scheinbar freischwebenden schmalen Ringen, mittelst welchen man auch ausserhalb des inneren Gesichtskreises die Sterne eintreten sieht, und welches er *Ring-Mikrometer* nennt. Das andere besteht aus mehrern sehr feinen concentrischen Kreislinien von verschiedenen Durchmessern, die im *dunklen* Gesichtsfelde beleuchtet sind, so dass es auch auf lichtschwache Gegenstände angewendet werden kann. Mit diesem Instrument, welches er *Lampen-Kreis-Mikrometer* nennt, erhält man schon bey Einem Durchgang der beyden Sterne mehrere Beobachtungen, welche Deklination und gerade Aufsteigung genau geben. Beym dritten Mikrometer, unter Anderem zur Bestimmung der relativen Lage von Doppelsternen geeignet, sind zwey Reihen gerader paralleler Linien, welche sich schief durchkreuzen, im dunkeln Gesichtsfelde beleuchtet; dieses nennt er *Lampen-Netz-Mikrometer*. Zur Ausfertigung des zweyten und dritten Mikrometers hatte er sich für jedes eine eigene Maschine erfunden und ausgeführt. Er zeigte die drey verschiedenen Mikrometer der Classe vor.

Beschreibung eines neuen Mikrometers.

(Schumachers astron. Nachrichten Bd. II. col. 361—372. 1824.)

Zur Bestimmung des Unterschiedes der geraden Aufsteigung und der Deklination zweyer Sterne ist, ausser dem Heliometer, wohl kein Instrument besser geeignet als das Kreismikrometer. Diesem einfachen Mikrometer, welches an jedes Fernrohr, das ein gutes Stativ hat, angebracht werden kann, verdankt man, ausser vielen anderen wichtigen Beobachtungen, einen grossen Theil der Kometenbeobachtungen. Verbesserungen dieses Mikrometers möchten daher wünschenswerth seyn.

Einige Astronomen geben noch jetzt dem Rautenmikrometer, zur Bestimmung des relativen Ortes zweyer Sterne, den Vorzug. Es ist nicht zu läugnen, dass die Berechnung der mit dem Rautenmikrometer gemachten Beobachtungen viel einfacher ist, als mit dem Kreismikrometer, und dass das Resultat ohngefähr denselben Grad der Genauigkeit hat, es mag der Deklinationsunterschied der beyden Sterne grösser oder kleiner seyn, während man bey Kreismikrometerbeobachtungen für einen kleineren Deklinationsunterschied auch ein kleineres Kreismikrometer haben soll. Wer nur einige praktische Kenntnisse besitzt, sieht es leicht ein, dass eine Raute, auf welche Art man sie auch machen mag, nicht in dem Grad genau die vorgeschriebene Form erhalten kann, als es zu guten Beobachtungen nöthig ist, wogegen man mehrere Mittel hat einen Kreis in hohem Grade genau rund zu machen. Es ist nicht daran zu denken eine Blendung genau rautenförmig auszufeilen, oder zu schleifen. Man kann zwar, durch Zusammenschrauben von vier gerade geschliffenen

Schienen, eine Raute mit geradlinigten Seiten erhalten; allein den Winkeln der Raute genau eine bestimmte Grösse zu geben, ist nicht wohl möglich. Beym Aufspannen von vier Dräthen, in Form einer Raute, hat man, in Hinsicht der Winkel der Raute, mit denselben Schwierigkeiten zu kämpfen; überdieses ist nur selten ein Stück Drath, wie stark man es auch anspannen mag, genau gerade; dünne Fäden aber können hiezu nicht benutzt werden, weil sie im dunkeln Gesichtsfelde nicht gesehen werden. Dieses ist die Ursache, wesswegen die Kreismikrometer den Vorzug erhielten.

Mit dem Kreismikrometer, welches blos aus einer runden Blendung besteht, kann der Eintritt eines Sternes in das Gesichtsfeld nicht mit derselben Genauigkeit beobachtet werden wie der Austritt; weil man nicht weiss, an welcher Stelle er eintritt, und das Auge nicht nach dieser Stelle gerichtet ist, folglich erst dann diese Richtung erhält, wenn der Stern schon im Gesichtsfelde ist. Bey dieser runden Blendung ist es übrigens auch schwer den Stern irgend ein Segment des Feldes schneiden zu lassen, was nöthig ist; weil kleine Segmente die Deklination, grössere aber die AR. genauer geben. Man hat sich desswegen, statt der runden Blendung, oft auch eines schmalen Ringelchens bedient, welches mit vier Dräthen im Gesichtsfeld aufgehängt wurde. Ein schmales Ringelchen kann nur zufällig so genau rund gelingen, als es bey guten Beobachtungen seyn soll; und selbst durch das Aufhängen mit Drähten, die angespannt seyn müssen, kann es wieder unrund werden; auch die Ausdehnung oder Zusammenziehung des Metalles der Ocularfassung kann es ändern.

Um im Gesichtsfeld des Fernrohrs ein schmales unveränderliches Ringelchen zu haben, dessen innerer Rand genau rund ist und es unter allen Umständen auch bleibt, bohrte ich in ein dünnes Planglas eine runde Oeffnung, und befestigte in dieselbe ein schmales stählernes Ringelchen, auf ähnliche Art wie Glaslinsen in messingne Fassungen befestigt werden; nämlich durch Umlegen eines vorstehenden Randes mittelst eines Polirstahles. Nachdem dieses Ringelchen im Planglase fest war, konnte der innere Rand genau rund geschliffen werden, was auf eine Art geschieht, welche über die nöthige Genauigkeit keinen Zweifel übrig lässt. Da man durch das Planglas die Gegenstände so gut sieht wie ohne dasselbe, so sieht man den Stern an den äusseren Rand des Ringelchens

treten und weiss wo er beym inneren Rande erscheinen muss; der Beobachter ist demnach auf das Moment gefasst und die Eintritte beym inneren Rande können mit derselben Genauigkeit beobachtet werden, wie die Austritte aus demselben. Theils um schon bey einem Durchgang der beyden Sterne den Unterschied der Deklination und den der AR. genau zu erhalten, theils auch um ein und dasselbe Mikrometer auch für kleinere Deklinationsunterschiede benutzen zu können, machte ich auf die beschriebene Art zwey Stahlringelchen in das Gesichtsfeld, wo der Durchmesser des einen bedeutend grösser ist als der des anderen, und welche beyde, bey derselben Stellung des Oculars, deutlich gesehen werden.

Obschon die Beobachtungen mit diesem Kreismikrometer viel sicherer sind als mit dem gewöhnlichen, so lassen doch auch diese, zumal bey Kometenbeobachtungen, noch viel zu wünschen übrig, und besonders die aus verschiedenen Beobachtungen abgeleiteten Deklinationsunterschiede weichen oft bedeutend von einander ab. Eine der Ursachen ist, dass bey einem Kometen, der immer unbegrenzt ist, die Mitte desselben geschätzt werden muss; man kann es aber nicht mit Genauigkeit beurtheilen, ob gerade die Hälfte aus- oder eingetreten ist, weil man die andere Hälfte nicht sieht, und auch schon der blose Antritt eines schwach erleuchteten Gegenstandes, an einen verhältnissmässig breiten dunklen Ring, in Beurtheilung der richtigen Zeit leicht eine Täuschung verursacht. — Durch das Ocular, welches nicht wohl achromatisch seyn kann, wird der innere Rand des Stahlringelchens blau, der äussere aber roth gesehen; der Stern hingegen ist nach aussen blau, nach innen roth, so dass z. B. beim Austritt des Sternes aus dem inneren Gesichtskreis, das blaue Ende des Sternes an den blauen Rand des Ringelchens tritt und der Stern sich noch mehr verlängert, was eine Ungewissheit über die Zeit des Austrittes verursachen muss. Da sich der Stern immer in der Richtung auf den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes verlängert und die beyden durchlaufenden Sterne gewöhnlich verschiedene Segmente des Kreises schneiden, so können sich die Fehler der Beobachtungen nicht leicht compensiren. Bey einem Ocular mit Collectivglas könnten zwar die Farben des Sternes vermindert werden; allein das Ringelchen würde um so farbiger gesehen. Auch aus anderen Ursachen wären diese Oculare zu Kreismikrometern nicht rathsam.

Die Ursache, wesswegen die Beobachtungen am Passageninstrument eines so hohen Grades der Genauigkeit fähig sind, ist ohne Zweifel, weil die Fäden so dünn sind, dass sie den Stern fast nicht, oder nur einen Augenblick decken, und man den innerhalb einer Zeitsekunde dem Faden zunächst durchlaufenen Raum theilen kann. Sollten die Kreismikrometer-Beobachtungen eine ähnliche Genauigkeit geben, so müssten die Kreise im Gesichtsfeld ohngefähr so dünn wie Fäden seyn, müssten aber, weil bey Kometen das Feld nicht erhellt werden darf, im dunkelen Gesichtsfelde erleuchtet seyn.

Ich versuchte auf ein dünnes Planglas mit Diamant dünne Kreislinien zu ritzen, brachte dieses Glas in das Gesichtsfeld des Fernrohrs, und beleuchtete die geritzten Linien auf eine ähnliche Art, wie ich sie früher bey Lampenfilarmikrometern angewandt hatte; allein es waren, wie ich die Beleuchtung auch ändern mochte, immer nur kleine Segmente der geritzten Linien schwach erleuchtet, nämlich diejenigen Segmente, auf welche das von der Lampe kommende Licht ohngefähr vertikal fiel. Es ist auch beym Filar-Lampenmikrometer der Fall, dass die Fäden nur dann am stärksten erleuchtet sind, wenn das Licht vertikal auf dieselben fällt; daher z. B. der vertikale Faden glänzend hell erleuchtet seyn kann, während der horizontale ganz unbeleuchtet ist. Durch Vermehrung der Lampen, welche zum Beleuchten der geritzten Linien benutzt wurden, konnte die Absicht noch nicht erreicht werden. Ich bemerkte jedoch, dass schon bey einer Lampe die kleinen Stäubchen, welche zufällig am Planglase hingen, glänzend hell erleuchtet waren, und das Aussehen wie Sterne im Gesichtsfeld hatten. Würden daher die Kreislinien aus kleinen Punkten zusammengesetzt seyn, so müssten sie schon mit einer Lampe an allen Stellen gleich erleuchtet werden. Man hat jedoch mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, eine genau runde Kreislinie aus Punkten bestehend zu machen.

Ich erinnerte mich, dass eine mit flussspathsauren Dämpfen in Glas tief geätzte Linie, unter dem Mikroskop besehen, in ihrer Tiefe aus Unebenheiten besteht, und ohngefähr aussieht, als bestände sie aus Punkten. Die auf diese Art tiefgeätzten Kreislinien wurden mit einer Lampe hinlänglich und an allen Stellen ohngefähr gleich erleuchtet. Das Glas, auf welches Linien geätzt werden sollen, wird zu diesem Zwecke mit einer

sehr dünnen Schicht eines Aetzgrundes belegt, in welchem die Linien, die geätzt werden sollen, mit einer Stahlspitze radirt werden. Das Belegen des Glases mit Blattgold, statt eines Aetzgrundes, wie man es zum Aetzen mit Dämpfen oft anwendet, ist für Kreismikrometer nicht vortheilhaft, weil die flussspathsauren Dämpfe, der radirten Linie zunächst, auch unter dem Golde wirken, und beym Tiefätzen auch an den übrigen Stellen die Politur des Glases leidet. Bey einem spröden Aetzgrunde werden die radirten Linien unrein und die Dämpfe wirken, bey starkem Aetzen der Linie, zunächst auch noch unter dem Aetzgrunde. Mit einem zu weichen Aetzgrunde bekommen die geätzten Linien leicht ungleiche Stärke. Der Aetzgrund muss mit der Glasfläche innig zusammenhängen und eine solche Consistenz haben, dass die Stahlspitze beym Radiren noch Fäden schneidet, was mehrere Versuche lehren müssen. Wirken die flussspathsauren Dämpfe zu kurze Zeit auf das Glas, so werden die geätzten Kreislinien durch die Lampe nur sehr schwach erleuchtet; zu starkes Aetzen macht selbst mit gutem Aetzgrund die Linien rauh und unrein. Gewöhnliches Tafel- oder Spiegelglas wird von der Flussspathsäure an verschiedenen Stellen ungleich angegriffen. Das Glas zu Lampen-Kreismikrometern muss daher sehr homogen seyn. Bey verschiedenen Glasarten ist die Zeit, wie lange die Säure zu wirken hat, verschieden und einige Glasarten geben, wie tief man auch ätzen mag, nie eine Kreislinie, welche durch die Lampe an allen Stellen stark und gleich beleuchtet erscheint.

Um die radirten Linien in so hohem Grade genau rund zu erhalten, als es nöthig ist, und um auf dasselbe Glas viele Kreislinien radiren zu können, welche alle genau concentrisch sind, machte ich eine eigene Maschine, deren Beschreibung hier überflüssig ist. Es können mit ihr Kreislinien von 0,003 bis 1,3 Zoll Durchmesser in jedem beliebigen Abstande von einander gemacht werden.

Man hat mit einigen Schwierigkeiten zu kämpfen, eine Construction von Ocularen zu finden, welche, bey einer und derselben Stellung der Oculare, die inneren und äusseren Kreislinien im Gesichtsfelde deutlich zeigt, und welche zugleich so beschaffen ist, dass von der Lampe, welche die Kreislinien erleuchtet, kein Licht in das Auge kommen kann und das Gesichtsfeld dunkel bleibt. Bey den Ocularen, welche ich zu dem Lampen-Kreismikrometer machte, ist dieses so gut wie möglich erreicht. Um das

von der Lampe kommende Licht so viel möglich abzuhalten in das Auge zu kommen, ist auch an der Form der Ocularfassung viel gelegen.

Das Mikrometer, womit Herr Steuer-Rath und Astronom *Soldner* einige Beobachtungen machte, und deren bey günstigen Umständen noch mehr machen wird, enthält Kreislinien, welche so aufeinander folgen, wie Fig. 1. in grösserem Massstab sie darstellt. Das kleinste Kreischen erscheint dem unbewaffneten Auge als ein kleiner Punkt, und nur durch das Ocular erkennt man es als solches. Mit dem stärkeren Ocular, welches bey einem Fernrohr von 60 Zoll Brennweite 110 Mal vergrössert, sieht man 5 Kreislinien, die kleinste mit eingerechnet; durch das mittlere Ocular, 63 Mal vergrössernd, werden 8 Kreislinien gesehen; und mit dem schwächeren Ocular, bey 45 maliger Vergrösserung, 11 Kreislinien. Da es bey vielen Kreislinien vielleicht im Augenblick nicht richtig beurtheilt werden könnte, die wievielte Linie der Stern geschnitten hat und leicht ein Irrthum stattfinden möchte, so gab ich dem 5. und 6., dem 8. und 9. grössere Entfernungen von einander als den übrigen, so dass man im Augenblick erkennt, mit welcher Kreislinie man zu thun hat. Bey der 45 maligen Vergrösserung sind die grössten Kreislinien etwas schwächer erleuchtet, als die übrigen, und werden etwas weniger deutlich gesehen; daher man sich nur bey grossen Deklinationsunterschieden, wo die stärkeren Oculare nicht benutzt werden können, des schwächeren bedient; auch schon aus dem Grunde, weil bey einer schwächeren Vergrösserung nicht dieselbe Genauigkeit möglich ist, als bey stärkeren.

Die verschiedenen Kreislinien des genannten Mikrometers haben folgende Durchmesser, den Pariser Zoll zur Einheit genommen:

Durchmesser	der	I	= 0,0038
„	„	II	= 0,0243
„	„	III	= 0,0840
„	„	IV	= 0,1678
„	„	V	= 0,2513
„	„	VI	= 0,3590
„	„	VII	= 0,4426
„	„	VIII	= 0,5264
„	„	IX	= 0,6338
„	„	X	= 0,7178
„	„	XI	= 0,8012

Diese Durchmesser hatte ich mit dem Mikroskop gemessen, womit ich die Breite der Zwischenräume und Dicke der Fäden derjenigen Gitter bestimme, die zur Hervorbringung der Phänomene gehören, welche durch gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen entstehen [1]), so dass die nöthige Genauigkeit nicht in Zweifel gezogen werden darf. Es ist bey obigem Maass immer die Mitte jeder Linie, welche ohngefähr 0,001 Zoll dick ist, gemessen. Mit demselben Mikroskop kann man sich auch versichern, ob die Kreislinien genau rund und concentrisch sind. Mit dem Mikroskop braucht man eigentlich nur das Verhältniss der Durchmesser der verschiedenen Kreislinien zu bestimmen. Dieses Verhältniss, und zugleich den Werth der Durchmesser, würde man aus dem Durchgang eines dem Pole nahen Sternes, mit hinreichender Genauigkeit ableiten können, wenn das Fernrohr fest genug aufgestellt wäre. Wurde das Verhältniss der Durchmesser mittelst des Mikroskopes bestimmt, so braucht man durch astronomische Beobachtungen nur den Werth des Durchmessers einer der grösseren Kreislinien zu bestimmen, um auch den Werth der übrigen zu kennen. Da die Kreislinien genau concentrisch sind, so können die Werthe ihrer Durchmesser, welche sie bey irgend einer Brennweite des Objectives haben, auf mancherley Art bestimmt werden. Wäre das Fernrohr in hohem Grade fest aufgestellt, und könnte dasselbe auch sehr fein bewegt werden, so möchte die Bestimmung der Werthe dieser Durchmesser mittelst des Polarsternes die einfachste seyn. Man brauchte nämlich diesen Stern nur in die Mitte des kleinsten Kreischens zu stellen, und die Zeit seines Durchganges, durch die verschiedenen Kreislinien, zu beobachten. Dieser Durchgang aber braucht sehr viel Zeit, daher wohl nicht leicht ein Fernrohr fest genug aufgestellt seyn möchte; auch sind die Bewegungen der Fernröhre nicht leicht fein genug, um einen Stern genau in die Mitte des kleinsten Kreischens zu stellen. Ist das Verhältniss der Durchmesser der verschiedenen Kreislinien bekannt, so kann man ihren Werth auch schon aus dem Durchgange eines einzelnen bestimmten Sternes, wenn er auch nicht durch die Mitte geht, ableiten.

Für einen Stern von geringer Deklination stehen demnach bey dem beschriebenen Mikrometer, wenn der Stern durch die Mitte des Gesichts-

---

1) Neue Modifikation des Lichtes u. s. w.

feldes geht, der grössere Theil der Kreislinien ohngefähr 10 Zeitsekunden voneinander ab, welche Zeit vielleicht hinreichen möchte die Beobachtung zu notiren. Da für nördliche Sterne diese Zeit verhältnissmässig länger ist, so möchte man vielleicht eine doppelt so grosse Anzahl Kreislinien in das Gesichtsfeld machen dürfen, ohne in Gefahr zu kommen darüber ungewiss zu werden, mit welcher Linie man zu thun hat. Man könnte z. B. den fünf ersten Kreisen gleiche Abstände voneinander geben, dann, zur leichteren Unterscheidung, den Abstand vom fünften zum sechsten grösser machen, endlich wieder fünf in gleichen Abständen u. s. w. Mit diesem Mikrometer könnte man alsdann bey Sternen von geringer Deklination nur die Hälfte der Kreislinien benutzen; weil die Zwischenzeiten zum Notiren zu kurz wären. Da die Deklination nur aus jenen Beobachtungen genau abgeleitet werden kann, wo der Stern ein kleines Segment der Kreislinie geschnitten hat, bey mehreren Kreisen aber wenigstens einer eine vortheilhafte Lage haben muss, so möchte es auch in dieser Hinsicht zu wünschen seyn, so viel Kreislinien zu machen, als aus anderen Rücksichten zu rathen ist. Sollte man auch bey einigen Kreislinien bloss den Eintritt beobachtet haben, und die Zwischenzeit zu kurz gewesen seyn, um auch den Austritt zu beobachten, so ist doch diese Beobachtung nicht verloren; weil die Kreise concentrisch und ihre Abstände bekannt sind.

Die Kreislinien sind mittelst der Lampe so stark erleuchtet, dass ihr Licht selbst nicht verschwindet, wenn ein grosser Stern in ihre Nähe kömmt. Bey sehr schwachen Kometen möchte jedoch diese starke Beleuchtung die Genauigkeit der Beobachtung gefährden. Ohne die Flamme der Lampe kleiner zu machen, kann die Beleuchtung der Kreislinien vermindert werden, indem man in das kleine Rohr, womit die Lampe an das Ocularrohr gesteckt ist (Fig. 2), ein kleineres Rohr schiebt, welches Blendungen enthält. Das Oelgefäss *a* der Lampe kann bei jeder Stellung des Fernrohres ohngefähr eine horizontale Lage annehmen, theils weil es um die Axe *b* des Cylinders, welchen die Lampe bildet, gedreht werden kann, theils weil die Lampe in dem kleinen Rohr, womit sie an dem Ocularrohr steckt, sich drehen lässt. Die Flamme ist, bey allen Lagen des Fernrohrs, in der Axe der Lampe. Das Licht der Lampe fällt, der Flamme zunächst, auf ein Collectivglas, durch welches es auf das Mikro-

meter geleitet wird. Das Oelgefäss kann aus der Lampe gehoben werden, indem man bey der Schraube *c* zurück schiebt. Durch das Zurückschieben dieses Theils entsteht oben am Oelgefäss eine Oeffnung, durch welche Oel zugegossen werden kann.

Das Planglas, auf welches die Linien geätzt sind, ist so in seiner Fassung, dass die geätzte Fläche gegen das Ocular gekehrt ist. Eine umgekehrte Lage dieses Glases bringt eine nachtheilige Reflexion hervor, und die Kreislinien sind weniger vertheilhaft erleuchtet. Die drey verschiedenen Oculare können in dieselbe Fassung geschraubt werden, in welcher das geätzte Planglas befestiget ist, so dass bey verschiedenen Vergrösserungen das geätzte Glas nicht verwechselt oder verrückt zu werden braucht. Jedes Ocular hat vorne, gegen das Planglas hin, eine schneidig gedrehte Blendung, welche eine solche Oeffnung hat, dass sie den nöthigen Theil des Feldes fasst, und zwischen dieser und der ersten Ocularlinse noch eine zweyte, durch welche ein Theil des von der Lampe kommenden Lichtes, welches die Kreislinien nicht trifft, aufgefangen wird.

Man könnte vielleicht glauben, dass, wenn das geätzte Glas nicht vollkommen plan wäre, dieses auf die Beobachtungen sehr schädlichen Einfluss hätte; allein man darf nur berechnen was entstünde, wenn dieses Glas wirklich merklich erhaben oder hohl wäre, so wird man finden, dass, wofern es nicht dick ist und an dem Orte steht, wohin das Bild des Gegenstandes fällt, was ohnediess seyn muss, keine nachtheilige Wirkung entsteht. Da das Ocular nicht achromatisch ist, so werden die Sterne gegen den Rand des Feldes etwas farbig, allein sie verändern ihre Form nicht, wenn eine Kreislinie sie schneidet, und selbst kleine Sterne verschwinden auch im Augenblick des Durchganges durch die erleuchtete Kreislinie nicht. Ich habe versucht, ein achromatisches Ocular zu machen; allein bis jetzt sehe ich keine Möglichkeit ein, ein solches zu finden, welches, wenn z. B. die mittleren Kreislinien deutlich gesehen werden, auch die äusseren erträglich deutlich zeigt, ohne das Ocular zu verrücken. Da die Oculare stark vergrössern, so wird jedes Stäubchen, welches an dem Planglas hängt, deutlich gesehen, weil es durch die Lampe erleuchtet wird. Es ist fast nicht möglich, das Planglas ganz von Stäubchen frey zu erhalten. Obschon die beleuchteten Stäubchen im Gesichtsfelde ganz wie Sterne aussehen, so gewöhnt man sich doch bald an ihr

Daseyn und sie sind der Beobachtung nicht hinderlich, weil sie ihren Ort nicht ändern, die wahren Sterne aber sich bewegen und können daher leicht von den Stäubchen unterschieden werden. Dass nicht zu viel Staub an dem Planglase hängen darf, versteht sich von selbst.

So wie bey allen Instrumenten, wo es sich um Sekunden handelt, ist auch hier die Festigkeit des Instrumentes das, was am meisten Schwierigkeiten machen kann, und man darf daher nichts vernachlässigen, was darauf Einfluss haben könnte. Soll das Mikrometer so genaue Beobachtungen geben, als es deren fähig ist, so muss der Ort der Aufstellung des Instrumentes sorgfältig gewählt, der Luftzug möglichst vermieden werden, und der Beobachter muss, während des Durchganges der Sterne, unveränderlich ruhig bleiben, ohne mit dem Auge das Fernrohr zu berühren, was zu erinnern überflüssig ist. Aus diesem Grunde möchte es gut seyn, wenn der Beobachter sich die Beobachtungen nicht selbst notirte, weil er dazu seine Lage ändern muss. Eine beträchtliche Aenderung des Instrumentes, während des Durchganges der Sterne, würde jedoch auch bey der Berechnung der Beobachtungen oft bemerkt werden können.

Zur Bestimmung des relativen Ortes zweyer sehr nahen Sterne, z. B. eines Doppelsternes, möchte auch das beschriebene Kreismikrometer noch viel zu wünschen übrig lassen. Bey diesen Sternen ist die Zwischenzeit, vom Durchgang des einen zum Durchgang des anderen, viel zu kurz, um mit einiger Sicherheit beobachtet werden zu können. Zu diesem Zwecke möchte ein Mikrometer, welches aus geraden parallelen Linien besteht (Fig. 3), deren Entfernung von einander genau bekannt ist, und bey welchen die einen durch die andern unter einem genau bekannten nur wenig spitzen Winkel geschnitten werden, sehr vortheilhaft seyn. Man kann das Planglas, auf welches diese Linien geätzt sind, am Fernrohr so drehen, dass die Linien, welche mit $d\,e$ parallel laufen, auf dem Parallelkreis des Sternes ohngefähr vertikal stehen; die in der Richtung $f\,g$ laufenden Linien wären daher geneigt. Aus den Durchgangszeiten der Sterne durch die vertikalen und jenen durch die geneigten Parallellinien kann alsdann der Unterschied der AR. und der Deklination mit Genauigkeit abgeleitet werden. Die in der Richtung $d\,e$ laufenden Linien genau vertikal auf den Parallelkreis zu stellen, möchte nicht wohl zu erreichen seyn, auch wenn noch eine Linie gezogen wäre, von der man wüsste, dass sie diese

Parallellinien genau unter einem rechten Winkel schneidet. Da die Entfernung der vertikalen Linien von einander, und auch die der geneigten, so wie der Winkel, unter welchem sie sich schneiden, genau bekannt ist, so wird das Verhältniss der Durchgangszeiten eines Sterns durch die vertikalen zu jenen der geneigten Parallellinien, mit der Lage dieser Linien, in Bezug auf den Parallelkreis, genau bekannt machen. Die Berechnung dieser Beobachtungen wird immer noch viel einfacher sein, als der mit dem Kreismikrometer gemachten. Schon bey einem Durchgang der beyden Sterne erhält man immer mehrere Beobachtungen, welche Deklination und AR. ohngefähr gleich genau geben, es mag ihr Deklinationsunterschied grösser oder kleiner seyn. Bey einem kleinen Unterschied der AR., wie bey Doppelsternen, könnte zwar nicht der Durchgang beyder Sterne durch eine und dieselbe Vertikallinie beobachtet werden; allein man würde z. B. bey der ersten Vertikallinie den einen, bey der zweyten den anderen u. s. w. beobachten. Dieses Lampen-Netz-Mikrometer hat unter anderen auch den Vortheil, dass eine Veränderung des Instrumentes während des Durchganges der beyden Sterne schon vor der Rechnung bemerkt werden kann. Ich habe den Parallellinien eine solche Entfernung von einander gegeben, dass die Entfernung der geneigten zu jener der vertikalen sich ohngefähr verhält, wie der Cosinus des Neigungswinkels zum Radius, damit ohngefähr eben so viele Durchgänge des Sternes durch die geneigten wie durch die vertikalen Parallellinien beobachtet werden können. Es haben immer nur fünf Linien gleiche Entfernung; die fünfte ist von der sechsten um die Hälfte weiter entfernt als die übrigen unter sich. Dadurch wird es leicht zu erkennen, mit welcher Linie man zu thun hat.

Ich habe eine Maschine gemacht, mit welcher Linien genau parallel, geradlinigt und bis auf 0,0001 eines Zolles in gleichen Entfernungen radirt werden können. Diese Maschine ist zugleich so construirt, dass man die einen Parallellinien durch die anderen unter irgend einem Winkel, auf eine Minute genau, kann schneiden lassen. Zu diesem Netz-Mikrometer werden dieselbe Lampe und dieselben Oculare gebraucht, wie zu dem oben beschriebenen Kreis-Mikrometer, und man braucht nur die Fassung mit dem Netze, statt der mit den Kreislinien, anzuschrauben.

Jos. Fraunhofer.

Fig. 1.

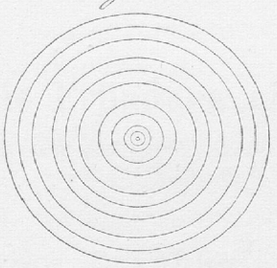
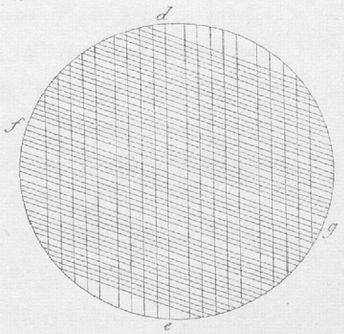


Fig. 2.

Fig. 3.



Ueber die Erfindung eines neuen Heliostat's.

(Oeffentliche Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe, den 13. März 1824. Denkschriften der k. Akad. der Wiss. zu München, Bd. IX. p. 72—73).

Herr Conservator Fraunhofer liest *über seine Erfindung eines neuen Heliostat's.*

Da der grösste und wichtigste Theil der Lichtphänomene nur mittelst des intensivsten Sonnenlichtes hervorgebracht werden kann, und auch hiebey noch alles fremdartige Licht abgehalten werden muss, in das Auge des Beobachters zu gelangen, so leitet man gewöhnlich durch einen Spiegel den Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer. Weil jedoch der reflectirte Strahl immer eine und dieselbe Richtung behalten soll, so muss, wegen der scheinbaren Bewegung der Sonne, der Spiegel bewegt werden, und zwar zu verschiedenen Stunden des Tages, auch bey verschiedenen Abweichungen der Sonne, sehr verschieden; daher diese Bewegung complicirt und unsicher ist. Das Instrument, womit man den reflectirten Strahl in einer bestimmten Richtung zu erhalten sucht, hat man *Heliostat* genannt. Das bisher bekannte Instrument dieser Art hat jedoch nicht die Vollkommenheit, welche erreicht werden muss, um die neuen mathematisch-physikalischen Lichtexperimente zu machen.

Würde man, statt der verschiedenen Bewegungen des Heliostat's, nur eine einzelne einfache und unter allen Umständen gleichförmige Bewegung anwenden können, so müsste die Genauigkeit in demselben Verhältnisse zunehmen, und die Sicherheit, bey jenen Correctionen, welche sich auf das Locale und die Abweichung der Sonne beziehen, wäre eben so gross wie bey andern mathematischen Instrumenten. Dieses hat Fraunhofer bey dem Heliostat von seiner Construction vollkommen erreicht.

Die wichtigeren Theile dieses neuen Instrumentes, welches er vorzeigte und näher beschrieb, bestehen in Folgendem:

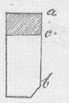
An einer stählernen Axe, welche so gestellt ist, dass sie mit der Erdaxe genau parallel läuft, ist ein in Zeitabtheilungen getheilter Kreis, welcher am Rande schraubenförmig eingeschnitten ist, und mittelst einer Schraube ohne Ende sanft um seine Axe gedreht werden kann. Etwas erhöht über dem Kreise befindet sich ein runder Planspiegel, welcher gegen die stählerne Axe jede der Abweichung der Sonne entsprechende Neigung annehmen kann, die sich durch einen Gradbogen messen lässt. Wird der Kreis auf die der wahren Sonnenzeit entsprechende Theilung gestellt, so wird durch den Spiegel der Sonnenstrahl nach dem Nordpol reflectirt. Damit dieser Strahl den ganzen Tag über genau dieselbe Richtung behält, braucht die stählerne Axe nur gleichförmig mit einer solchen Geschwindigkeit gedreht zu werden, dass sie sich in 24 Stunden einmal herumdreht, wie die Erdaxe. Diese gleichförmige Bewegung erhält die Axe durch eine Uhr, so, dass wenn die Uhr aufgezogen ist, ohne weiteres Zuthun der reflectirte Strahl den ganzen Tag über nach dem Weltpol fährt. Dieser nach Norden fahrende Strahl wird mit einem zweyten Spiegel aufgefangen, und auf irgend einen beliebigen Punkt im dunkeln Zimmer geleitet, so dass auch dieser Strahl, indem die Uhr fortgeht, immer genau dieselbe Richtung behält. Der Erfinder beschreibt auch noch andere Theile, welche sich z. B. auf die Orientirung seines Instrumentes u. s. w. beziehen.

Ueber das Reinigen achromatischer Objective, und das Wiederhineinmachen derselben in ihre Fassungen.

(Schumacher's astron. Nachrichten Bd. III col. 187—190. Juni 1824.)

Das Objectiv wird mittelst drey Schräubchen, welche am Rande der Fassung sind, in derselben festgehalten. Indem man die Schräubchen losschraubt, kann demnach das Objectiv aus seiner messingenen Fassung genommen werden. Die beyden Objectivlinsen liegen so aufeinander, dass die mehr erhabene Seite des Crownglases gegen die hohle Seite des Flintglases gekehrt ist (das Flintglas hat nur eine hohle Seite; die zweyte Seite desselben ist erhaben). Da bey derjenigen Construction der Objective, bey welcher alle Abweichungen so klein als möglich sind, die unmittelbar zusammengelegten Flächen der Linsen sich in der Mitte berühren würden, und dadurch ein farbiger Flecken und schädliche Biegung der Gläser entstehen müsste, so sind am Rande drey genau gleichdicke Staniolblättchen in solchen Entfernungen zwischen das Crown- und Flintglas gelegt, dass sie 120^0 voneinander abstehen. Diese Blättchen kleben gewöhnlich an den Glasflächen, und man muss sie am Rande des Objectives etwas nass machen, um die Linsen leicht auseinander nehmen zu können. Man thut gut, wenn man vor dem Auseinandernehmen der Linsen sich dieselben am Rande bezeichnet, damit sie nach dem Reinigen wieder eben so zusammengelegt werden, weil eine veränderte Lage manchmal einen kleinen Unterschied in der Wirkung des Objectives hervorbringen kann. Die Gläser werden zuerst mit Weingeist und einem Leinentuch geputzt, nachher mit Kreidewasser und einem in Kreidewasser gewaschenen und getrockneten Leinentuch, welches demnach, der Kreide

wegen, etwas staubt, wodurch der Schmutz am sichersten weggenommen wird. Der Staub wird alsdann mit einem reinen Haarpinsel abgekehrt, und die Linsen wieder gehörig aufeinander gelegt. Man bezeichnet sich nun am Rande des Objectives drey Punkte, welche ziemlich genau 120^0 voneinander entfernt sind, d. i. man theilt die Peripherie in drey gleiche Theile, und bringt an diesen Punkten neue genau gleichdicke Staniolblättchen zwischen die beyden Linsen. Die alten Blättchen können nicht wieder gebraucht werden. Um die neuen Blättchen bequem zwischen legen zu können, gibt man ihnen am besten die Form *a b*. Man



benetzt das Blättchen etwas weniges mit in Wasser aufgelöstem arabischen Gummi, und schiebt den vordern Theil desselben, *a c*, indem man die Gläser etwas lüftet, bis *c* zwischen dieselben, drückt dann an dieser Stelle ziemlich stark auf das Objectiv, so dass das Blättchen sich an beyde Flächen genau anschliesst, und schneidet zuletzt, nachdem alle drey Blättchen zwischen gelegt sind, den Theil *c b* mit einem scharfen Messer so weg, dass am Rande nichts von dem Staniol vorsteht. Es versteht sich von selbst, dass alle drey Blättchen gleichtief zwischen das Objectiv gelegt werden müssen, ohngefähr so viel als die Breite der Auflage der Objectivfassung beträgt. Noch während der Gummi feucht ist, muss das Objectiv in seine Fassung festgeschraubt werden. Man muss sich sehr in acht nehmen, dass das Objectiv nicht verkehrt in seine Fassung gelegt wird; das Crownglas muss nämlich gegen den Gegenstand gekehrt seyn. Ein Irrthum ist aus dem Grunde leicht möglich, weil das Flintglas eben so wie das Crownglas an der äusseren Seite convex ist, und man, wenn das Objectiv in seiner Fassung liegt, nicht leicht erkennt, welches das Crownglas ist. — Das Objectiv berührt die Auflage seiner Fassung nur an drey Stellen, deren Mitten 120^0 voneinander entfernt sind; der übrige Theil der Auflage ist ausgeschnitten, so dass er die Glasfläche nicht berühren kann, und das Objectiv nur an den genannten drey Stellen aufliegt. Es muss das Objectiv so in die Fassung gebracht werden, dass die Staniolblättchen genau dahin zu stehen kommen, wo die drey Auflagen sind. Der Ring, in welchem die drey Schräubchen ihr Gewinde haben, mittelst welcher das Objectiv in seiner Fassung festgehalten wird (der Federring), ist so ausgefeilt, dass er das Objectiv ebenfalls nur an drey Stellen berührt, und zwar ebenda, wo die

Blättchen liegen. Die Löcher, welche für die Schräubchen durch die Objectivfassung gehen, sind etwas länglich, und haben ihren Ort immer in der Mitte zwischen zwey Blättchen. Man drückt an der Stelle, wo ein Schräubchen ist, auf den Federring, und schraubt, während des Drückens, das Schräubchen fest; dasselbe geschieht auch bey den anderen Schräubchen, so dass das Objectiv mit demselben Drucke in der Fassung festgehalten wird, mit welchem man auf die genannten Stellen gedrückt hat. Damit ein ungleicher Druck an den drey verschiedenen Orten ausgeglichen werde, so wiederholt man diese Arbeit, nachdem schon alle drey Schräubchen fest sind, noch ein Mal, aber immer mit ohngefähr gleichem Drucke. Da demnach die vordere Fläche des Crownglases an denselben drey Stellen aufliegt, wo mittelst der Staniolblättchen die beyden Linsen sich berühren, und an eben diesen Stellen der Federring auf die äussere Fläche des Flintglases drückt; so kann das Objectiv, bey Beachtung der nöthigen Vorsicht, nicht schädlich gebogen werden, wie fest es auch in seiner Fassung geschraubt werden mag.

Sehr nachtheiligen Einfluss hat es auf das deutliche Sehen, wenn die drey zwischen die Linsen gelegten Staniolblättchen auch nur sehr wenig in ihrer Dicke verschieden sind. Diese Blättchen haben, selbst wenn man sie von einem und demselben Staniolstreifen nebeneinander herabschneidet, immer sehr ungleiche Dicke. Man ist auch nicht im Stande, sie durch Schleifen etc. genau gleichdick zu machen. Daher muss man sich immer eine grössere Anzahl zuschneiden und sie dann sortiren, d. i. die gleichdicken heraussuchen. Das Messen der Dicke der verschiedenen Blättchen kann, wie es sich von selbst verseht, nicht mit einem Dickzirkel u. dgl. in dem nöthigen Grad genau geschehen. Das Beste zum Vergleichen der Dicken ist das Objectiv selbst. Ein Objectiv von dieser Construction gibt, wenn die sich berührenden Flächen ganz rein sind, in der Mitte einen aus Farbenringen bestehenden Flecken. Am Rande stehen dann diese zwey Flächen soweit voneinander ab, als die Differenz des Sinusversus ihrer Krümmungen beträgt. Legt man am Rande zwischen die beyden Linsen ein Blättchen, dessen Dicke grösser ist als die genannte Differenz, so wird der farbige Flecken aus der Mitte verrückt, und überhaupt um so weiter vom Blättchen entfernt seyn, je dicker es ist. Man darf daher nur diese Entfernung bey jedem zwischen die Linsen

gelegten Blättchen genau messen, so findet man leicht und in hohem Grade genau, welche Blättchen von gleicher Dicke sind. Man muss dabey auf die obere Linse, zwischen dem Blättchen und dem farbigen Flecken, etwas niederdrücken, damit das Blättchen beyde Flächen genau berührt. Nur der Theil *a c* wird, beym Vergleichen, zwischen die Gläser gelegt; weil man nur die Dicke dieses Theiles kennen soll. Der Theil *a c* jedes Blättchens wird, ehe man denselben misst, zwischen zwey ebenen aber etwas rauhen harten Flächen, z. B. zwischen zwey matten Glasflächen, etwas gerieben, damit die grösseren Unebenheiten des Staniols und seine Krümmung etc. sich verlieren.

Fraunhofer.

Ueber die Brechbarkeit des elektrischen Lichtes.

(Oeffentliche Sitzung der k. Akademie der Wissenschaften zu München am 26. Junius 1824. Bericht über die Arbeiten der Akademie vom April bis Junius 1824. pag. 61—62).

Das Wesentliche der, von dem Herrn Conserv. Fraunhofer gegebenen Notiz *über die Brechbarkeit des elektrischen Lichtes*, besteht in Folgendem:

In dem aus vollkommen homogenen Strahlen bestehenden Farben-Spectrum vom Sonnenlicht entdeckte Hr. Fraunhofer eine sehr grosse Anzahl dunkler fixer Linien und Streifen, welche er im V. Bande der Denkschriften der königl. Akad. beschrieb. Diese, nur dem Sonnenlichte eigenen dunkelen Linien, durch welche es möglich wurde, den Weg des Lichtes mit mathematischen Instrumenten zu verfolgen, finden sich in andern Lichtarten nicht. Im Spectrum vom Lichte des Feuers sind keine dunkelen Linien enthalten, sondern nur eine ausgezeichnet helle Doppellinie im Kranze. Das homogene Spectrum vom elektrischen Lichte enthält, wie Hr. Fraunhofer entdeckte, mehrere helle Linien, welche, im Vergleich mit dem übrigen Theil des Spectrums, sehr ausgezeichnet sind. Das Verhältniss der Intensität dieser Linien, und die Brechbarkeit ihres Lichtes, welche er bestimmte, machten den Gegenstand seiner Rede aus. Bey sehr intensivem elektrischen Lichte, welches er mit der grösseren Elektrisirmaschine des physikalischen Cabinets der kgl. Akademie hervorbrachte, erkannte er in den verschiedenen Farben des Spectrums acht helle Linien. Auf das Brechungs-Vermögen des Wassers reducirt, sind die Exponenten des Brechungs-Verhältnisses dieser die hellen Linien

bildenden Strahlen folgende: Wo (I)n diesen Exponenten für die erste Linie, (II)n für die zweyte u. s. w. bezeichnet:

$$\begin{aligned}
(\mathrm{I})n &= 1{,}33355 \\
(\mathrm{II})n &= 1{,}33434 \\
(\mathrm{III})n &= 1{,}33491 \\
(\mathrm{IV})n &= 1{,}33627 \\
(\mathrm{V})n &= 1{,}33707 \\
(\mathrm{VI})n &= 1{,}33930
\end{aligned}$$

Das Verhältniss der Intensität der in dem elektrischen Spectrum enthaltenen hellen Linien ist:

$$\begin{aligned}
\text{Intensität der} \quad & \mathrm{I.} = 1 \\
\text{„ „} \quad & \mathrm{II.} = 4 \\
\text{„ „} \quad & \mathrm{III.} = \tfrac{1}{3} \\
\text{„ „} \quad & \mathrm{IV.} = 1\tfrac{1}{2} \\
\text{„ „} \quad & \mathrm{V.} = 7 \\
\text{„ „} \quad & \mathrm{VIII.} = \tfrac{2}{3}
\end{aligned}$$

Die Brechbarkeit und Intensität des Lichtes der VI. und VII. Linie, welches bey der gebrauchten Elektrisirmaschine noch zu schwach ist, konnte nicht bestimmt werden.

Ueber die Construction eines grossen so eben vollendeten Refractors.

(Oeffentliche Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe, den 10. Julius 1824.
Berichte über die Arbeiten der Akademie vom Julius bis September 1824, p. 80—81).

Herr Conservator Fraunhofer las über die Construction eines grossen von ihm so eben vollendeten Refractors.

Er sprach zuerst über das Verhältniss der Wirkung der aus Metallspiegeln bestehenden Teleskope zu jener der achromatischen Fernröhre, über die Ursachen, wesswegen man erstere niemals zu den mathematisch-astronomischen Beobachtungen angewendet hat, und warum man sich gegenwärtig zu allen astronomischen Beobachtungen der achromatischen Fernröhre bedient.

Dann gab er die Ursachen an, wesswegen man bisher keine grossen achromatischen Fernröhre, deren Wirkung verhältnissmässig zunahm, verfertigen konnte, welche grossentheils in der Vollkommenheit des zu denselben angewendeten Flint- und Crownglases, in der Berechnung dieser Instrumente, in der Unvollkommenheit der Mittel, welcher man sich bediente, um bey der Ausführung der Theorie in dem nöthigen Grad Folge zu leisten, u. s. w. lagen. Diese und viele andere Hindernisse wurden hier durch eine grosse Anzahl neuer Erfindungen und Entdeckungen beseitiget, so dass bey grösseren Fernröhren ihre Wirkung im Verhältnisse der Durchmesser der Objective wächst, wie es der Theorie gemäss erwartet werden muss.

Da bey jedem Fernrohre ein Stern um so schneller durch das Gesichtsfeld läuft, je stärker die Vergrösserung ist, welche man anwendet, und der Gegenstand nur in dem Momente mit der grössten Präcision

gesehen wird, wo er in der Mitte des Gesichtsfeldes steht; so hätte mit dem in Rede stehenden Refractor, dessen Objectiv 108 Pariser-Linien Oeffnung und 160 Zoll Brennweite hat, wenn er auf die gewöhnliche Art aufgestellt worden wäre, ein himmlischer Gegenstand nur wenige Augenblicke unter vortheilhaften Umständen beobachtet werden können. Aus diesen und anderen Ursachen wurde der grosse Refractor auf eine eigene Art parallactisch aufgestellt, d. i. eine der Hauptaxen, um welche er sich dreht, ist gegen den Horizont so geneigt, dass sie in Dorpat, wohin dieses Instrument bestimmt ist, mit der Erdaxe genau parallel läuft, so dass, wenn das Fernrohr auf irgend einen Stern gerichtet ist, nur diese Axe mit solcher Geschwindigkeit gedreht zu werden braucht, dass sie in 24 Stunden eine Umdrehung machen würde, wie die Erdaxe, um den Stern ununterbrochen im Gesichtsfelde zu erhalten. Da diese Axe auf keine Weise, selbst mittelst Schrauben, durch die Hand völlig gleichförmig hätte bewegt werden können, so wurde sie mit einer aus zwey Werken bestehenden Uhr von besonderer Art in Verbindung gebracht. Das eine dieser Werke überwindet die noch übrigen Reibungen etc., das andere regulirt den Gang, so dass die Bewegung des Fernrohrs ununterbrochen ist, was weder durch ein gewöhnliches Pendel, noch durch eine Unruhe hätte erreicht werden können.

Damit eine so sanfte und gleichförmige Bewegung dieses mehrere Centner wiegenden Refractors hervorgebracht werden konnte, musste er in allen Lagen, so sehr verschieden sie auch sind, vollkommen balancirt seyn. Dieses geschieht durch mehrere Balancirgewichte, von welchen einige auch so beschaffen sind, dass sie die schädliche Biegung der Theile, z. B. des Rohres, aufheben. Ein besonderes Gewicht, welches mit Frictionsrollen in Verbindung gebracht wurde, vermindert die Reibung derjenigen Axe, um welche das Fernrohr sich zu drehen hat, wenn es der Bewegung eines Sternes folgt, so dass der Refractor, des ausserordentlichen Gewichtes ohngeachtet, in diesem Sinne schon durch einen Finger bewegt werden kann.

Eine in Kupfer gestochene Zeichnung dieses Refractors wurde unter die Mitglieder vertheilt. Das Instrument selbst in der ehemaligen Salvator-Kirche aufgestellt, war dort acht Tage lang für Jedermann zu sehen.

Ueber die Construction des so eben vollendeten grossen Refractors.

Von **Dr. Jos. Fraunhofer.**

(Mit einem Kupfer).

Gelesen in der öffentlichen Sitzung der königl. baierischen Akademie der Wissenschaften, den 10. July 1824.

(Schumachers astron. Nachrichten Bd. IV. col. 17—24. 1826.)

Das Instrument, von welchem ich mir zu sprechen die Ehre gebe, ist für die russisch-kaiserliche Sternwarte in Dorpat bestimmt. Es ist das grösste dieser Art, und auch in Hinsicht der wichtigeren Theile der Aufstellung neu.

Die grössten Sehwerkzeuge, welche bisher existirten, sind die aus Metallspiegeln bestehenden Teleskope. Da aber der vollkommenste Metallspiegel nur einen geringen Theil des auffallenden Lichtes reflektirt, und der grössere Theil absorbirt wird, so müssen die Spiegelteleskope ungemein gross seyn, um grosse Wirkung hervor zu bringen, und aus diesem Grunde ist die Intensität des in das Auge des Beobachters tretenden Lichtes immer sehr gering. — Bey den Spiegelteleskopen kann ferner die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der sphärischen Form der reflektirenden Flächen, welche sehr bedeutend ist, nicht gehoben werden. Aus diesen und mehreren anderen Ursachen konnte man die Spiegelteleskope zu den mathematisch-astronomischen Beobachtungen nicht mit Vortheil verwenden, und hatte sie z. B. niemals zu Meridian-Instrumenten etc. gebraucht.

Da das Glas fast alles auffallende Licht durchfahren lässt, und über dieses bey einem aus Flint- und Crownglas gehörig construirten Fernrohr nicht blos die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der Farbenzerstreuung compensirt, sondern auch jene wegen der sphärischen Form der Glasflächen vernichtet werden kann, so ist die Wirkung der achromatischen Fernröhre, in Vergleich mit jener der Spiegelteleskope, ungleich grösser. Theils aus diesem Grunde, theils weil ihre Construction sie zu allen Arten von Beobachtungen geeignet macht, werden gegenwärtig fast alle astronomischen Beobachtungen mit achromatischen Fernröhren angestellt.

Ohngeachtet die bis jetzt angewendeten grösseren achromatischen Fernröhre, im Vergleich mit den grossen Spiegelteleskopen, nur klein sind, so haben erstere in mancher Beziehung doch mehr geleistet, als letztere. Die schärfste Probe der Fernröhre ist, wie bekannt, die Beobachtung der Doppelsterne, und hierbey zeigt sich die Wirkung der neueren achromatischen Fernröhre viel grösser, als die der Spiegelteleskope. So entdeckte z. B. *Bessel* in Königsberg, mit einem achromatischen Fernrohre von hier, dessen Objectiv 48 Linien Oeffnung hat, dass der von *Herschel* mit seinem Teleskop als ein Doppelstern der 4. Classe bestimmte Stern ζ Bootis, zugleich auch von der 1. Classe ist, d. i. er erkannte, dass zunächst am Hauptsterne noch ein Nebenstern steht, welchen *Herschel* nicht sah. Eben so wurden mehrere andere Fixsterne, welche früher mit Teleskopen sehr oft beobachtet wurden, erst in neuerer Zeit mit den achromatischen Fernröhren als Doppelsterne erkannt.

Bekanntlich richtet sich die Wirkung der Fernröhre nicht nach ihrer Länge, sondern nach dem Durchmesser der Oeffnung des Objectivglases, so dass z. B. bey verhältnissmässig gleich grosser Vollkommenheit, dasjenige Fernrohr, dessen Objectiv zwey Mal so gross ist, als das eines anderen, zwey Mal grössere Wirkung hervorbringt. Die Schwierigkeiten, welche sich finden, um grössere achromatische Fernröhre verhältnissmässig eben so vollkommen zu machen, wie kleinere, nehmen nicht in dem Verhältnisse der Durchmesser der Objective zu, sondern noch mehr, als im Verhältnisse des Kubus derselben. Da es bisher nicht gelang, diese Schwierigkeiten zu beseitigen, so waren diejenigen grösseren achromatischen Fernröhre, deren Objective mehr als 48 Linien Oeffnung hatten,

welche man zu verfertigen versuchte, nicht mehr verhältnissmässig eben so vollkommen als kleinere, und bey noch grösseren nahm ihre Wirkung ab. Eine der Schwierigkeiten war, dass das Glas, dessen man sich zur Verfertigung der Objective bediente, nicht in dem Grade vollkommen erzeugt werden konnte, wie es bey grossen Fernröhren vorausgesetzt werden muss. Das englische Flintglas hat nämlich wellenförmige Streifen, welche das durchfahrende Licht unregelmässig zerstreuen. Da in einem grösseren und dickeren Glase mehr dieser Streifen enthalten sind, als in einem kleineren, dieses aber, wenn die Wirkung zunehmen soll, der umgekehrte Fall seyn muss, so nahm bey Objectiven von bedeutenden Durchmessern die Wirkung ab. Auch das englische Crownglas, so wie jedes Glas, dessen man sich bisher bediente, hat diese wellenförmigen Streifen, welche, ob sie schon für das freye Auge nicht immer sichtbar sind, dennoch den Lichtstrahlen, durch ungleiche Brechung, eine falsche Richtung geben. Das baierische Flint-, so wie auch das Crownglas, ist von diesen Streifen frey und völlig gleichdicht. Da sich das Flintglas von dem gewöhnlichen Glase hauptsächlich nur in dem grösseren Farbenzerstreuungsvermögen unterscheidet, und diese Zerstreuung im englischen Flintglase zu der des gemeinen Glases sich wie 3 : 2 verhält, im baierischen Flintglase aber wie 4 : 2, so ist letzteres auch in dieser Beziehung in dem angegebenen Verhältnisse besser.

Man hatte bisher die achromatischen Objective nicht völlig nach bestimmten theoretischen Grundsätzen verfertiget, und musste sich innerhalb gewisser Gränzen auf einen günstigen Zufall verlassen, weswegen man eine grössere Anzahl Gläser schliff, und diejenigen zusammen suchte, bey welchen sich die Fehler am nächsten compensirten. Da die Wahrscheinlichkeit dieses Zufalls bey grösseren Objectiven vielmal geringer ist, als bey kleineren, so würden auch die Objective von mittlerer Grösse nur selten vollkommen, und selbst mit gutem Flintglase wäre bey diesem Verfahren nicht an grosse achromatische Objective zu denken gewesen. Die wichtigeren Ursachen, welche dieses Verfahren nöthig machten, sind: dass theils die Theorie der achromatischen Objective noch unvollkommen war; theils dass das Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögen der Glasarten, welches bey der Berechnung als genau bekannt vorausgesetzt werden muss, durch die früher angewendeten Mittel nicht genau bestimmt

werden konnte; theils endlich, dass man durch die Methoden, deren man sich bisher zum Schleifen und Poliren der Gläser bediente, der Theorie nicht in dem Grade genau Folge leisten konnte, als es vorausgesetzt werden muss, wenn keine bemerkbare Undeutlichkeit entstehen sollte.

Die genannten Hindernisse, so wie eine grosse Anzahl anderer, wurden hier, theils durch Erfindungen, theils durch Entdeckungen, auf welche die Verfolgung dieses Gegenstandes führte, glücklich beseitiget. Ich werde vielleicht bey anderen Gelegenheiten Veranlassung finden, ausführlicher über diese Gegenstände zu sprechen.

Das Objectiv des in Rede stehenden grossen Refractors hat 108 Pariser Linien Oeffnung, und 160 Zoll Brennweite. — Die Wirkung eines Fernrohrs zeigt sich am sichersten bey Vergleichung desselben mit einem anderen auf einen und denselben Gegenstand gerichteten. Beym Beobachten mit grossen Fernröhren ist das grösste Hinderniss die Unvollkommenheit der Luft, und hauptsächlich das scheinbare Unduliren derselben. Diese Nachtheile nehmen bey grösseren Fernröhren im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser der Objective zu; die Wirkung aber wächst nur im Verhältnisse der Durchmesser; daher, wenn der Himmel auch heiter zu seyn scheint, und die Luft in genannter Beziehung nur etwas unvollkommen ist, mit grösseren Fernröhren nicht beobachtet werden kann. Da die Luft, im ganzen Raume, nur an wenigen Tagen des Jahres in dieser Hinsicht vollkommen ist, so wurde, um das Verhältniss der Wirkung des grossen Fernrohres genau kennen zu lernen, ein zu diesem Zwecke eigens ausgestellter irdischer Gegenstand gewählt; weil man in diesem Falle eine kleinere Schichte der Luft zu durchschauen hatte, und folglich ihre Unvollkommenheit minder schädlich war. Die Versuche, welche auf diese Weise angestellt wurden, ergaben, dass die Wirkung des grossen Refractors im Verhältniss des Durchmessers des Objectives wächst, wie es im Maximum zu erwarten ist. — Es würde zu weit führen, die Mittel auch nur zu nennen, welche angewendet wurden, um z. B. die Axen der Gläser vollkommen in eine Linie zu bringen, die Ausdehnung oder Zusammenziehung der metallenen Objectivfassung bey verschiedenen Temperaturen unschädlich zu machen u. s. w., was alles beachtet werden musste, um sich der grössten Wirkung dieses Instrumentes zu versichern.

Eines der grössten Hindernisse, welche sich bisher bey Anwendung grosser Fernröhre auf himmlische Gegenstände fanden, ist die scheinbare tägliche Bewegung der Sterne, welche in demselben Verhältnisse grösser wird, als das Fernrohr vergrössert; so dass die gegen den Aequator gelegenen Sterne nur sehr kurze Zeit im Gesichtsfelde eines stark vergrössernden Fernrohrs zu sehen sind, und schnell durch dasselbe laufen. Welche sanfte Bewegung man dem Fernrohre mittelst Schrauben durch die Hand auch geben mag, so kömmt es dadurch immer in kleine Oscillationen, welche während des Beobachtens in demselben Verhältnisse grösser sind, als das Fernrohr vergrössert. Noch ehevor das Fernrohr in Ruhe kömmt, hat der Stern das Gesichtsfeld schon durchlaufen, so dass man ihn fast nur zufällig und nur einen Augenblick unter günstigen Umständen sehen kann. Diese vortheilhaften Umstände finden sich um so seltener, da ein Stern nur in dem Momente mit der grössten Präcision gesehen wird, wo er in der Mitte des Gesichtsfeldes steht. Den genannten Schwierigkeiten könnte nur begegnet werden, wenn das Fernrohr sich wie der zu beobachtende Stern, ohne Zuthun einer Menschenhand, bewegte. Dieses müsste für die verschiedenen Sterne im gleichen Grade genau geschehen, ohngeachtet die gegen den Pol gelegenen sich scheinbar nur langsam, die gegen den Aequator gelegenen aber sehr schnell bewegen.

Aus diesem Grunde wurde das grosse Fernrohr auf eine eigene Art parallactisch aufgestellt, d. i. eine der beyden Hauptaxen, um welche es sich dreht, ist gegen den Horizont so geneigt, dass ihre Neigung der Polhöhe des Ortes genau entspricht, und sie folglich gegen den Pol gerichtet ist. Die zweyte Axe, die Deklinationsaxe genannt, ist auf ersterer, der Stundenaxe, genau vertikal. Wird bey dieser Aufstellung das Fernrohr gegen irgend einen Stern gerichtet, so darf bloss die Stundenaxe mit einer solchen Geschwindigkeit bewegt werden, dass sie sich in 24 Stunden ein Mal herumdrehen würde, wie die Erdaxe, in welchem Falle dann der Stern, welcher es auch seyn mag, immer im Gesichtsfelde des Fernrohrs bleibt, so lange er über dem Horizonte steht. — Diese Bewegung erhält die Stundenaxe durch einen einer Uhr ähnlichen Apparat, aus zwey Werken bestehend. Das Gewicht des einen Werkes überwindet die Reibungen und die Trägheit der einige Zentner wiegenden beweglichen Massen; das andere Werk regulirt den Gang. Zur Regulirung des Ganges durfte weder

ein gewöhnliches Pendel, noch eine Unruhe angewendet werden; weil auf diese Art das Fernrohr sich nicht ununterbrochen, sondern nur stossweise bewegen würde.

Der Regulator ist bey diesem Werke eine Centrifugal-Unruhe, welche in einem konischen Gefässe sich ununterbrochen nach einer Richtung dreht. Auch während des Aufziehens beyder Gewichte bewegt sich das Fernrohr mit gleicher Geschwindigkeit fort. Das Fernrohr kann, während die Uhr fortgeht, jeden Augenblick zum Stillstehen gebracht und eben so schnell wieder in Bewegung gesetzt werden. Auch kann man es mit freyer Hand oder mittelst einer Schraube sanft in jeder Richtung bewegen. — Die Uhr kann man in jedem Augenblicke beliebig schneller oder langsamer gehen lassen, blos indem man eine spiralförmige Scheibe auf einen andern Grad ihrer Theilung stellt. Dieses hat unter anderen den Vortheil, dass, wenn ein Stern nicht genau am gehörigen Orte im Gesichtsfelde steht, er mittelst der Uhr dahin gestellt werden kann, was besonders auch bey Mikrometerbeobachtungen von grossem Nutzen ist, und auf andere Weise, der Trägheit, des todten Ganges etc. wegen, nicht thunlich ist. Diese spiralförmige Scheibe hat übrigens auch noch den Vortheil, dass man dem Fernrohre sogleich eine Bewegung geben kann, welche der des Mondes entspricht.

Damit eine gleichförmige Bewegung des grossen Fernrohrs möglich werde, muss es in allen Lagen, so sehr verschieden sie auch sind, in Bezug auf jede der beyden Haupt-Axen genau balancirt seyn, und diese Balancirungen dürfen dennoch nicht hindern, dass das Fernrohr nach jedem Punkte des Himmels gerichtet werden kann. In Bezug auf die Declinationsaxe ist das ausser der Mitte gefasste Fernrohr durch zwey gegen das Ocular gelegene Gewichte balancirt, die an eigenen konischen Messing-Röhren fest sind, deren jede im Schwerpunkte zwey Axen hat, die sich unter rechten Winkeln schneiden, so dass in dieser Beziehung das Fernrohr in jeder der verschiedenen Lagen gleichgenau balancirt ist. In Bezug auf die Stundenaxe ist dieses Fernrohr durch zwey Gewichte balancirt, deren eines unmittelbar an der Declinationsaxe fest ist. Das zweyte Gewicht ist an einer Stange von eigener Form befestigt, welche gegen die Stundenaxe zu in einen Ring zusammen läuft; dieser Ring berührt durch zwey einander entgegengesetzte Axen einen zweyten

kleineren; der zweyte Ring berührt durch zwey Axen, welche die Richtung der ersten unter einem rechten Winkel schneiden, ein dritten noch kleineren; und dieser endlich dreht sich an der Hülse, in welcher sich die Declinationsaxe befindet, so dass auch in Bezug auf die Stundenaxe das Fernrohr in allen Lagen genau im Gleichgewicht ist. Damit die Reibung der Stundenaxe vermieden ist, und dieselbe in ihrem Lager weder nach unten noch nach oben drücke, ist noch ein besonderes Gewicht angebracht, welches auf das Lager zweyer Friktionsrollen wirkt. Dieser Vorrichtungen wegen kann das Fernrohr, des ausserordentlichen Gewichtes ohngeachtet, schon mit einem Finger bewegt werden.

Der Fuss dieses Instrumentes hat eine solche Form, dass er, obschon seine Stellung niemals geändert werden darf, dennoch niemals hindern kann, das Fernrohr nach irgend einem Punkte des Himmels zu richten. Es scheint zwar, dass es Lagen des Fernrohrs geben könne, wo der Fuss verhindern müsse, einen Stern zu verfolgen; allein das Instrument ist so construirt, dass man das Fernrohr nach einem und demselben Gegenstande immer auf zweyerley Arten richten kann, blos indem man die Stundenaxe um 180^0 herumdreht; ist nun bey einer dieser beyden Arten der Fuss hinderlich, so kann er es bey der andern nicht seyn, und das Fernrohr ist in diesem Falle frey.

Da bey einem starkvergrössernden Fernrohre ein Gegenstand ungemein schwer aufzusuchen und in das Gesichtfeld zu bringen ist, so befestigt man zu diesem Zwecke an dasselbe gewöhnlich noch ein kleines, dessen Axe mit der des grossen genau parallel läuft. Der Sucher des grossen Refractors hat 29 Linien Oeffnung und 30 Zoll Brennweite.

Jede der beyden Hauptaxen hat einen besonderen eingetheilten Kreis, der Stunden- und Declinations-Kreis genannt. Diese sind an ihren Axen fest und drehen sich mit denselben. Die Theilung des Stundenkreises giebt 4 Zeitsekunden, die des Declinationskreises 10 Bogensekunden. Dadurch kann man mit diesem Fernrohre auch die ausserhalb des Meridians gelegenen Sterne bey Tage auffinden und beobachten, was besonders bey Fixsternen der 1. Grösse, welche bey Nacht nicht in jeder Beziehung mit Vortheil beobachtet werden können, von Nutzen ist.

Der Zweck einer grossen Anzahl anderer Theile, welche hier nicht genannt wurden, könnte nur in einer ausführlichen Beschreibung angegeben werden.

Anhang zu dem Aufsatze über den grossen Refractor.

(Schumacher's astron. Nachrichten Bd. IV col. 35—38. 1826.)

Der in Nr. 74 befindliche Aufsatz war anfänglich nicht für den Druck bestimmt, und wurde auch nicht für Astronomen geschrieben; daher er in dieser Beziehung einiges Ueberflüssige enthält. Eine ausführliche Beschreibung müsste von mehreren Zeichnungen der verschiedenen Theile begleitet seyn. Ich hatte blos das ganze Instrument in einer perspectivischen Ansicht gezeichnet; diese Zeichnung, welche die Ansicht von derjenigen Seite, wo die Uhr sich befindet, darstellt, ist dem Aufsatze beygegeben.

Als das Instrument nach Dorpat abgesendet wurde, waren die zu demselben gehörigen Mikrometer u. s. w. noch nicht vollendet; diese, welche noch nachzusenden sind, werden vor der definitiven Aufstellung des Refractors dort ankommen.

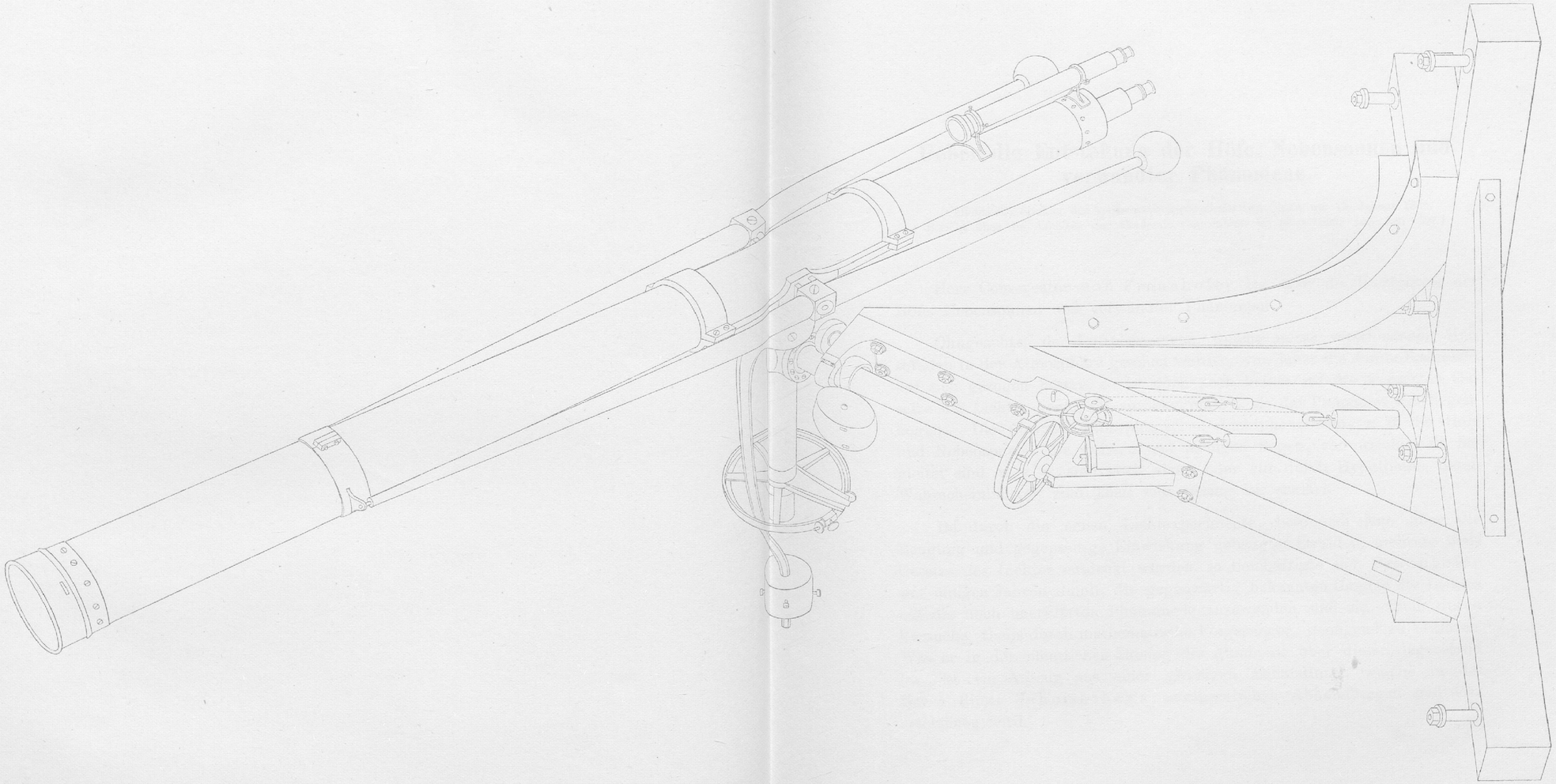
Bey dem zu diesem Instrument bestimmten Filarmikrometer können beyde Fäden, jeder für sich, durch eine Schraube bewegt werden; theils um jeden Faden dahin stellen zu können, wo man ihn nöthig hat; theils um auch bey Mikrometerbeobachtungen eine Art Repetition anwenden zu können, was bey dem Gebrauche der Uhr, die den Refractor bewegt, viel leichter auszuführen ist, als bey der gewöhnlichen Aufstellung. In demselben Sinne ist auch noch das Ocular für sich beweglich, damit die beyden Fäden immer gleichweit von der Mitte des Gesichtsfeldes abstehen, in welchem Falle die Deutlichkeit für beyde gleich ist. Der die Fäden enthaltende Theil des Mikrometers trägt, mit den nöthigen Correctionsschrauben u. s. w., zwey Verniere in entgegengesetzter Lage, welche auf einem eingetheilten Kreis sich bewegen, der zum Messen der Positionswinkel bestimmt ist. Die Verniere geben direct eine Minute. Das Mikrometer kann, in Bezug auf den Positionskreis, nicht blos mit freyer Hand, sondern auch durch eine Schraube sanft bewegt werden. Die Fäden können für sich, im dunkelen Gesichtsfelde, erleuchtet werden. Da der

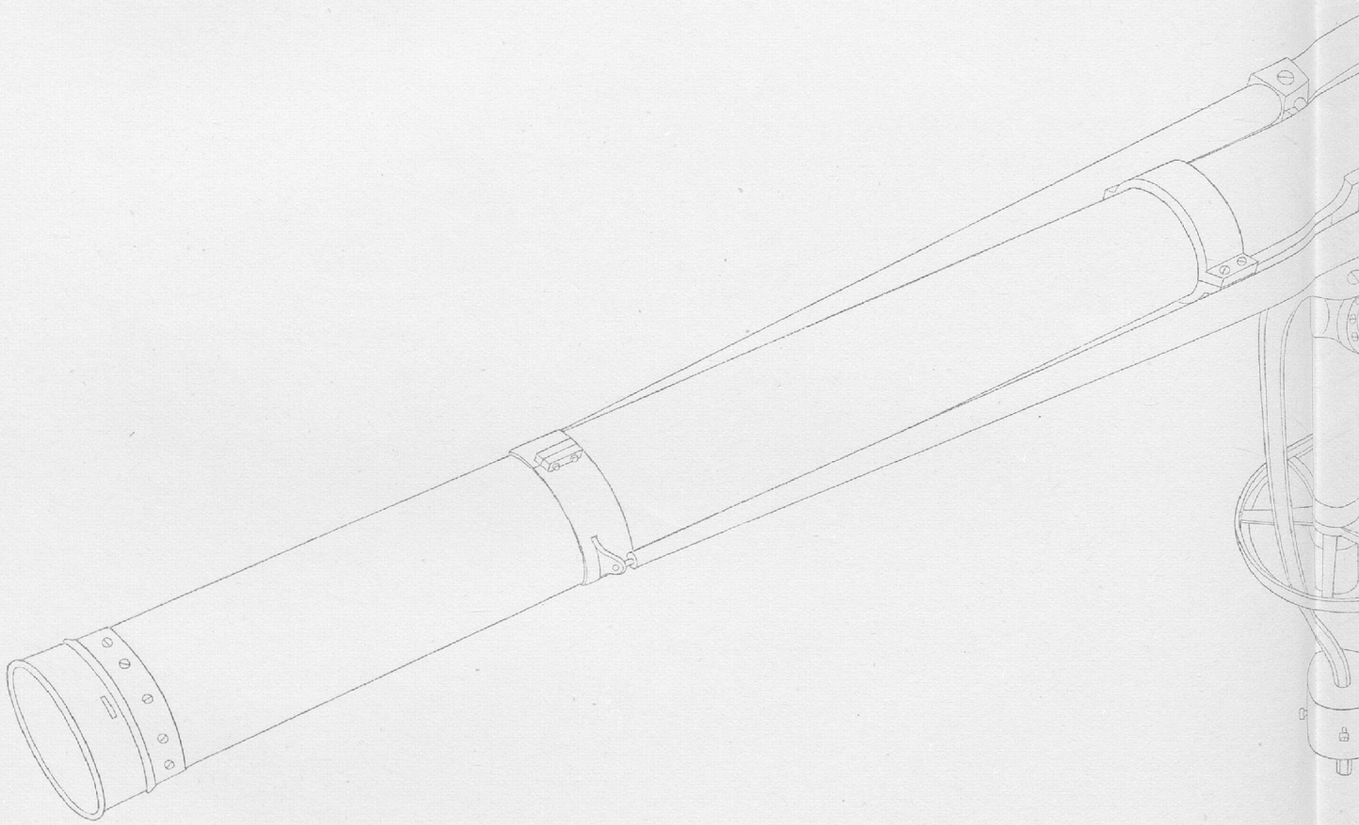
Positionskreis, in Bezug auf die optische Axe, unverändert feststehen muss, das Mikrometer aber mit der die Fäden erleuchtenden Lampenvorrichtung müssen gedreht werden können, so machte dieses eine eigene Anordnung der Theile nöthig, welche von der verschieden ist, welcher ich mich früher für die Lampen-Filarmikrometer ohne Positionskreis bediente. Auch das Gesichtsfeld kann erleuchtet werden. Dieses Mikrometer hat vier verschiedene Oculare.

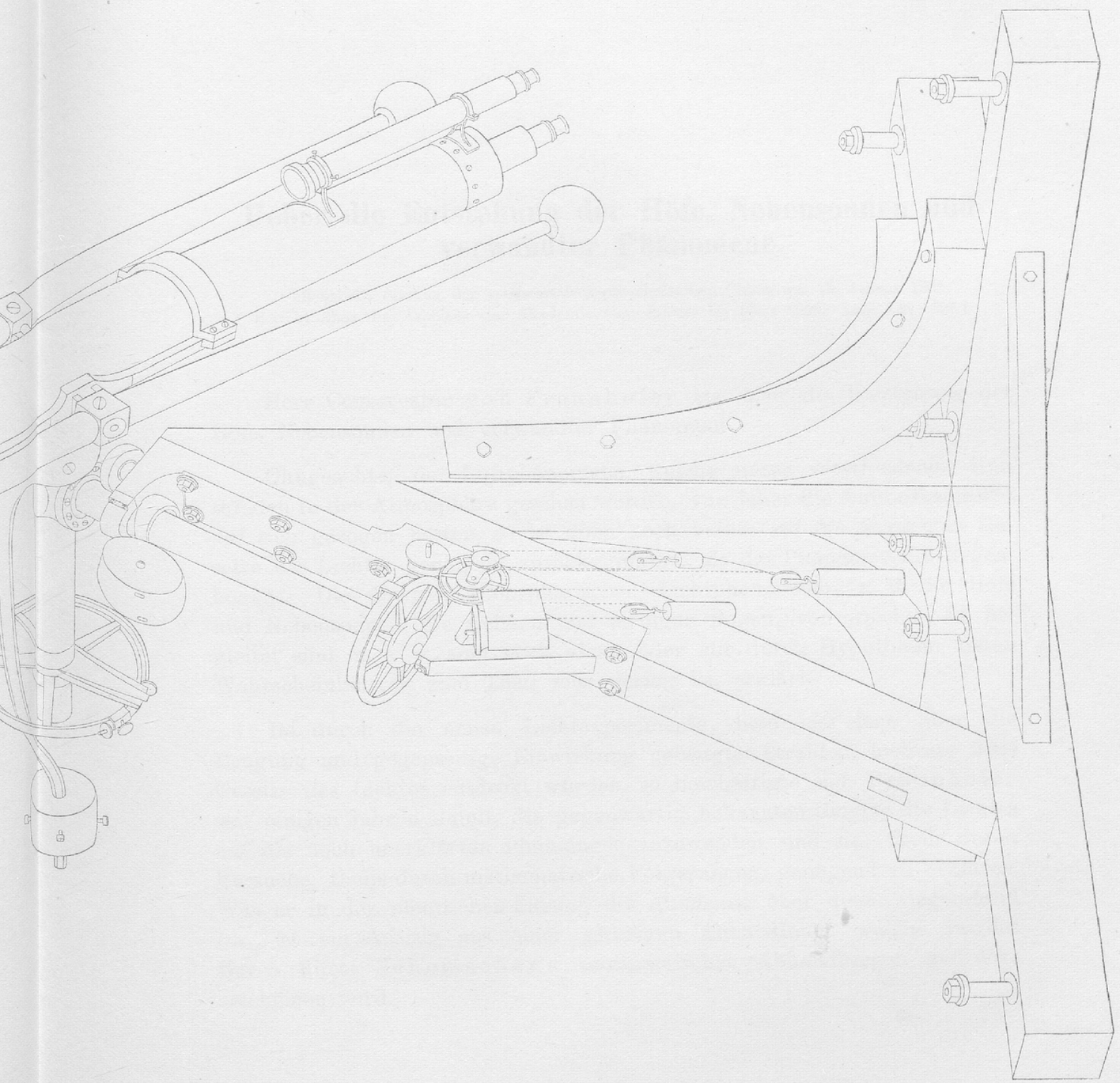
Ausser dem Filarmikrometer erhält der Refractor noch: ein Lampen-Kreismikrometer mit vier Ocularen; ein Lampen-Netzmikrometer mit drey Ocularen; endlich vier Ringmikrometer, von welchen zwey doppelte Ringe enthalten.

Da nur in dem Falle, wenn die Axe des Objectives mit der Axe des Oculares genau zusammenfällt, die Deutlichkeit am grössten ist, und eine Abweichung in dieser Beziehung bey grösseren Objectiven nachtheiliger wirkt, als bey kleineren, so wird dem Refractor auch noch ein besonderes Instrument, mit welchem diese Abweichung gefunden und corrigirt werden kann, beygegeben.

Jos. Fraunhofer.







Ueber die Entstehung der Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene.

(Oeffentliche Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe am 15. Januar 1825. Bericht über die Arbeiten der Akademie vom Januar bis März 1825. pag. 225—227.)

Herr Conservator von Fraunhofer las: über die Entstehung der Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene.

Ohngeachtet der Luftphänomene, welche unter verschiedenen Umständen in der Atmosphäre gesehen werden, von jeher die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten, so ist doch noch keines auf die bekannten Gesetze des Lichtes genügend zurück geführt, als das Phänomen des Regenbogens. Die übrigen atmosphärischen Lichtphänomene, z. B. die Höfe und Nebensonnen, die weissen und farbigen Bogen, von welchen sie begleitet sind, u. s. w. sind noch nicht, oder nur durch Hypothesen, deren Wahrscheinlichkeit zum Theil sehr gering ist, erklärt.

Da durch die neuen Lichtexperimente, besonders jene über die Beugung und gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen, mehrere neue Gesetze des Lichtes entdeckt wurden, so beschäftigte sich Fraunhofer seit einigen Jahren damit, die gegenwärtig bekannten Gesetze des Lichtes auf die noch unerklärten Phänomene anzuwenden, und sie, theils durch Versuche, theils durch mathematische Folgerungen, genügend zu erklären. Was er in der öffentlichen Sitzung der Akademie über diesen Gegenstand las, ist ein Auszug aus einer grösseren Abhandlung, welche in des Herrn Ritter Schumacher's astronomischen Abhandlungen gedruckt erscheinen wird.

Weil einer genügenden Erklärung der genannten Phänomene eine Beschreibung derselben voran gehen muss, so gab Hr. v. Fraunhofer zuerst die Resultate an, welche aus den Beobachtungen verschiedener älterer und neuerer Naturforscher sich ergeben. Unter Anderem folgt daraus: Wenn Höfe, Nebensonnen u. dgl. gesehen werden, so ist der Himmel gewöhnlich leicht mit Dünsten, oder einem dünnen durchsichtigen Gewölke, überzogen. — Von den Höfen können besonders zweyerley Arten unterschieden werden. Die eine Art, bey welcher der leuchtende Körper von zwey oder drey schwachfarbigen concentrischen Ringen von verschiedenen Durchmessern umgeben gesehen wird, die unter sich und an den leuchtenden Körper sich dicht anschliessen, werden Höfe kleiner Art genannt. Es liegt bey ihnen in jedem Ringe die rothe Farbe nach aussen und die blaue nach innen, gegen den leuchtenden Körper zu. Die scheinbaren Durchmesser dieser Ringe sind an verschiedenen Tagen sehr verschieden, haben jedoch bey einem und demselben Hofe ein bestimmtes Verhältniss unter sich. — Die zweyte Art Höfe, bey welcher der leuchtende Körper in einem dunkeln Raume gesehen wird, und erst in einer grossen Entfernung von einem, oft auch zwey farbigen Kreisen umgeben ist, werden Höfe grosser Art genannt. Bey ihnen ist die Ordnung der Farben umgekehrt diejenige der Höfe kleiner Art. Ihr scheinbarer Durchmesser ist an verschiedenen Tagen immer derselbe; nämlich für den ersten Kreis 45^0, für den zweyten 90^0. Auch ein dritter aber farbenloser Kreis von 180^0 Durchmesser wurde von Hevel beobachtet. — Von den Nebensonnen unterscheidet man ebenfalls zweyerley Arten. Bey der einen Art, welche die vertikalen Nebensonnen genannt werden können, und die nur bey Auf- oder Niedergang der Sonne zu sehen sind, beobachtet man sie in vertikaler Richtung zu beyden Seiten der wahren Sonne, an welche sie sich dicht anschliessen. Von der oberen Nebensonne geht ein vertikaler Lichtstreifen aus, d. i. eine sogenannte Feuer- oder Lichtsäule, die sich bis in eine beträchtliche Höhe erstreckt. — Die andere Art, die horizontalen Nebensonnen oder Nebenmonde, werden immer nur in einem grossen Abstand von leuchtenden Körpern, zu beyden Seiten derselben, gesehen, nämlich in der Entfernung von $22^0\frac{1}{2}$, und zwar immer in horizontaler Richtung. Sie sind gewöhnlich von aussen von einem Schweife begleitet; nach innen sind diese Nebensonnen roth. —

Ausser den Höfen grosser Art und den horizontalen Nebensonnen beobachtet man gewöhnlich noch einen durch den leuchtenden Körper gehenden farbenlosen Lichtstreifen, der oft einen ganzen Kreis bildet, und immer mit dem Horizonte parallel läuft, daher er der horizontale Kreis genannt wird. — Sehr oft werden auch noch lebhaft farbige Bogen gesehen, welche das obere Ende des ersten und zweyten Hofes grosser Art berühren und gegen diese erhaben sind, wesswegen sie die erhabenen farbigen Bogen genannt werden können. Auch diese sind immer mit dem Horizont parallel. — Eine grosse Anzahl anderer verwandter Phänomene kann im Auszuge nicht genannt werden.

Die Höfe kleiner Art erklärt Herr von Fraunhofer durch Beugung des Lichtes an den Rändern der im Dunstkreise schwebenden Dunstkügelchen. Er brachte dieses Phänomen auch künstlich hervor, indem er sich sehr kleine Glaskügelchen bereitete, an deren Rändern das Licht, wie er fand, nach demselben Gesetze gebeugt wird, wie an den Rändern kleiner runder Oeffnungen. Mittelst der Gleichung, welche das Gesetz des durch runde Oeffnungen oder an runden Rändern gebeugten Lichtes darstellt, kann selbst der Durchmesser der Dunstkügelchen, welche irgend einen Hof dieser Art bildeten, im hohen Grade genau berechnet werden. Fraunhofer fand auf diese Weise, dass die Dunstkügelchen, welche den Hof hervorbrachten, den Newton im Jahre 1664 beobachtete, $\frac{11}{10000}$ eines Pariser Zolles zum Durchmesser hatten. Bey dem von Jordan im Jahre 1792 beobachteten Hofe war der Durchmesser der Dunstkügelchen $\frac{19}{10000}$ eines Zolles; bey dem vom Jahre 1797 aber $\frac{58}{100000}$. — Sehr einfach erklärt sich auf ähnliche Art auch das zuerst von Bouguer in Amerika beobachtete Phänomen und andere hieher gehörige.

Die Theorie der Höfe grosser Art besteht darin, dass für den ersten und zweyten Hof das Licht in sehr kleinen sechsseitigen Eisprismen gebrochen wird, die sich in eine sechsseitige Pyramide endigen. Fraunhofer entwickelte für das Minimum der Brechung eines Strahles eine allgemeine Gleichung, und indem er in dieselbe den Exponenten des Brechungsverhältnisses des Eises und den Winkel substituirte, welchen bey den genannten Eisprismen die Flächen einschliessen, erhielt er durch Rechnung für den scheinbaren Durchmesser der Höfe grosser Art genau den Winkel, unter welchem diese Höfe beobachtet werden. — Der dritte von

Hevel beobachtete Hof grosser Art, von 180° Durchmesser, erklärt sich völlig genau, wenn man die Umstände berechnet, unter welchen das Licht im Inneren der genannten Eisprismen anfängt, vollständig reflectirt zu werden, und auch hier stimmt das Resultat der Rechnung mit der Beobachtung überein.

Die vertikalen Nebensonnen mit der Lichtsäule brachte Fraunhofer künstlich hervor, indem er die aufgehende Sonne durch ein aus parallelen horizontal laufenden Fäden bestehendes Gitter, deren Zwischenräume $\frac{22}{10000}$ eines Zolles von einander entfernt und vollkommen gleich sind, beobachtete. Dieses Phänomen entsteht bekanntlich durch gegenseitige Einwirkung der in den schmalen Zwischenräumen des Gitters gebeugten Strahlen. Indem man den Weg verfolgt, welchen jene Strahlen nehmen mussten, die an den Dunstkügelchen gebeugt wurden, welche in einer mit der Erdoberfläche parallelen Schichte des Dunstkreises liegen, findet man, dass sie, wenn die Sonne nahe am Horizont steht, in vertikaler Richtung ähnlich so gegenseitig aufeinander einwirken, wie in dem genannten Gitter, und folglich das Phänomen der vertikalen Nebensonnen hervorbringen.

Auch das Phänomen des horizontalen Kreises kann durch einen Versuch hervorgebracht werden, wenn man den leuchtenden Gegenstand durch ein sehr feines Gitter beobachtet, dessen parallele Fäden eine im hohen Grade ungleiche Entfernung unter sich haben, und vertikal laufen. Auch dieses Phänomen entsteht durch gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen. Fraunhofer zeigt, dass diejenigen Strahlen, welche an den Rändern der sehr kleinen und unregelmässig liegenden Eiskrystalle gebeugt wurden, so aufeinander einwirken mussten, wie es zur Hervorbringung des genannten Phänomens nöthig ist.

Die Entstehung der horizontalen Nebensonnen, der erhabenen farbigen Bogen und anderer hieher gehörigen Phänomene kann in einem kurzen Auszuge nicht angeführt werden.

Theorie

der

Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene

mit

Versuchen zur Bestätigung derselben

von

Dr. Jos. Fraunhofer,
Ritter des Ordens der baierischen Krone.

(Schumachers astronom. Abhandlungen, III. Heft, p. 31—92. 1825.)

Theorie

der

Höfe, Nebensonnen und verwandter Phänomene

mit

Versuchen zur Bestätigung derselben

von

Dr. Jos. Fraunhofer,
Ritter des Ordens der baierischen Krone.

Unter den Lichtphänomenen, welche man auf die bekannten Gesetze des Lichtes zurückzuführen gesucht hat, ist bis jetzt keines weniger genügend erklärt, als das Phänomen der Höfe, d. i. der hellen oder farbigen Ringe, von welchen die Sonne und der Mond öfters umgeben zu seyn scheinen, sowie auch das Phänomen der Nebensonnen oder Nebenmonde. Die Meinungen der Naturforscher über diesen Gegenstand, und die Hypothesen, welche sie bey Erklärung der Ursachen zum Grunde legen, sind sehr verschieden. Bey der grossen Mannigfaltigkeit dieser Art Phänomene reichte keine Voraussetzung hin, auch nur einen Theil der Erscheinungen mit eben der Sicherheit zu erklären, wie es mit anderen Lichtphänomenen, z. B. dem Regenbogen, gelungen ist; daher man wenig Ursache hatte, irgend einer Meinung über die Bildung der Höfe und Nebensonnen in jeder Beziehung den Vorzug zu geben. Da sich in neuerer Zeit unsere Kenntnisse über die Natur des Lichtes sehr viel erweitert haben, so wächst die Hoffnung, mit den Ursachen der bis jetzt nicht genügend erklärten Phänomene näher bekannt zu werden. Indem ich es versuche, die Entstehung der Höfe und Nebensonnen auf die be-

kannten Gesetze des Lichtes zurückzuführen, glaube ich auch die ihnen verwandten Phänomene mit einschliessen zu müssen, um theils durch sie, theils durch neue Versuche, welche sich darauf beziehen, den Grad der Wahrscheinlichkeit zu erhöhen.

Einer genügenden Erklärung muss eine genaue Beschreibung der Phänomene vorhergehen. Ich glaube diese Erscheinungen nicht besser beschreiben zu können, als indem ich die interessantesten der mir bekannten Beobachtungen verschiedener Naturforscher sammele. Damit kein anderer Sinn in die Beobachtungen gelegt werden könne, als der wie ihn die Beobachter gaben, werde ich die interessantesten Theile der Beschreibungen fast wörtlich wieder geben.

Beobachtungen von Höfen und Nebensonnen.

Wenn die Sonne oder der Mond von einem Hofe umgeben gesehen wird, so scheint der Himmel gewöhnlich schwach mit Dünsten, oder einem dünnen durchsichtigen Gewölk, überzogen, welches manchmal auch ungleichförmig ist. Sind die Erscheinungen vollkommen, d. i. werden die Ringe mit Regenbogenfarben gesehen, so bemerkt man bey verschiedenen Höfen, wie uns die Beobachtungen zeigen werden, dass besonders zweyerlei Arten derselben unterschieden werden können; nämlich solche, die aus drey oder auch mehreren concentrischen Farbenringen bestehen, welche unter sich und mit dem leuchtenden Körper zusammenhängen, d. i. sich dicht anschliessen, und bey welchen die rothe Farbe jedes Ringes nach aussen, von dem leuchtenden Körper ab, gekehrt ist. Eine zweyte Art Höfe ist die, welche vielmal nur aus einem einzelnen farbigen oder auch blos weissen concentrischen Kreise besteht, der von dem leuchtenden Körper weit absteht, und dessen rothe Farbe diesem zugekehrt ist. In diesem Kreise werden oft auch Nebensonnen oder Nebenmonde gesehen. Ich werde die ersteren, bey welchen die rothe Farbe nach aussen liegt, und deren Farbenringe unter sich und mit dem leuchtenden Körper zusammenhängen, Höfe kleiner Art nennen, um sie von den anderen, deren rothe Farbe dem leuchtenden Körper zugekehrt ist, und welche weit von ihm abstehen, die ich Höfe grosser Art nennen werde, zu

unterscheiden. Man hat oft bey Höfen grosser Art noch einen zweyten schwächeren Farbenring, in doppelt so grossem Abstand von dem leuchtenden Körper gesehen, welchen ich den zweyten Hof grosser Art nennen will.

Von den mir bekannten Beobachtungen der Höfe und Nebensonnen werde ich nur diejenigen anführen, durch welche wir mit der Grösse der Ringe, der Ordnung der Farben, oder anderen interessanten Eigenheiten, genau bekannt werden. Ich brauche nicht zu erinnern, dass diejenigen Höfe als am vollkommensten gebildet zu betrachten sind, bey welchen die Regenbogenfarben gut erkannt werden.

Eines der vollkommensten Phänomene von Höfen und Nebensonnen ist das, welches *Hevel* im Jahre 1661 den 20. Februar in Danzig beobachtet hatte [1]). „Um 11 Uhr Morgens, wo die Sonne nahe am Meridian stand, sagt dieser Naturforscher, waren bey anscheinend heiterem Himmel, sieben Sonnen zu sehen; sie waren zum Theil weiss, zum Theil farbig, mit einigen langen von der Sonne abwärts gekehrten Schweifen, und standen in weissen Kreuzen, welche durch verschiedene Kreise gebildet wurden. Die wahre Sonne A, Tab. I Fig. 1, in einer Höhe von ohngefähr 25^0, umgab ein beinahe vollständiger Kreis $G\,B\,I\,C$ von 45^0 Durchmesser, dessen unterer Rand kaum $2^0\ 30'$ über den Horizont erhaben war, mit verschiedenen dem Regenbogen ähnlichen Farben, nämlich Purpur, Roth und Gelb. Zu beyden Seiten, nach Ost und West, in B und C, wurden zwey Nebensonnen gesehen, die vorzüglich gegen die Sonne zu vielfarbig und intensiv waren, und in einen weissen spitzigen Schweif ausliefen. Ein anderer grösserer Kreis $Y\,X\,H\,V\,Z$, von ohngefähr 90^0 Durchmesser, umgab den Kreis $G\,B\,I\,C$ und die Sonne, und zog sich bis zum Horizonte hinab. In dem oberen Theil war dieser Kreis sehr kennlich farbig, zu beiden Seiten aber weniger deutlich und schwächer. Oberhalb dieser beyden Kreise, in G und H, wurden zwey umgekehrte gleichsam das Zenith umschreibende Bogen gesehen, welche mit den lebhaftesten Farben glänzten. Der Durchmesser des unteren Bogens $Q\,G\,R$ war 90^0, der Durchmesser des kleineren oberen 45^0. Da wo der untere Bogen in

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 38.

seiner Mitte G mit dem Kreise $B\,G\,C$ zusammen traf, wurde eine Nebensonne gesehen, die aber an Farbe und Licht dunkler und schwächer war, als die vorher beschriebenen. Ein grösserer Kreis, als die vorher genannten, $B\,E\,F\,D\,C$ von 130^0 Durchmesser, lief mit dem Horizont parallel, und stand daher von ihm überall 25^0 ab. Er war einfarbig, weiss und schien seinen Ursprung gleichsam von den beyden Nebensonnen B und C zu nehmen. Oberhalb in diesem Kreise standen drey ganz weisse Nebensonnen; eine derselben gegen Ost in D war ohngefähr 90^0 von der wahren Sonne entfernt; die zweyte E war westlich; die dritte F in Norden stand der wahren Sonne gegenüber. Alle drey hatten ähnlichen Glanz und Farbe. Durch die Nebensonnen D und E sah man noch andere Sektionen eines grössten Kreises, welche durch den Pol der Ekliptik K, bis zum Horizont P und N liefen, und durch den Parallelkreis des Horizontes in schiefen Winkeln, durch die Ekliptik aber in rechten Winkel giengen, und mit ersteren sehr kennlich weisse Kreuze bildeten, so dass man sieben Sonnen zugleich deutlich sah. Es ist wahrscheinlich, dass, wenn diese Erscheinung früher aus einem erhabeneren Orte beobachtet worden wäre, man noch zwey Nebensonnen, in H und I, also im Ganzen neun Sonnen gesehen haben würde; denn es waren daselbst einige Spuren vorhanden, aus welchen man dieses mit Recht schliessen konnte. Dieses ausgezeichnete Phänomen dauerte von 10 Uhr $30'$ bis 11 Uhr $51'$. In der ganzen Zeit seiner Dauer behielt es nicht immer dieselbe Form, sondern nahm nach und nach eine andere Gestalt an. Im Anfang gegen 11 Uhr wurde es in der beschriebenen Gestalt gesehen, änderte sich aber nachher allmählich. Zuerst verschwand die nördliche Nebensonne F, mit einem Theil ihres Kreises; die übrigen Nebensonnen blieben mit ihren Bogen bis 11 Uhr $10'$, alsdann verlöschte die östliche, dann die westliche Nebensonne mit ihren Kreuzen. Kurz darauf veränderten sich die beyden Seitennebensonnen B und C; bald war die eine heller und die Farben besser zu unterscheiden, bald dunkeler und verwaschener. Um 11 Uhr $18'$ nämlich war die westliche Nebensonne B sehr deutlich, die östliche C hingegen beynahe verschwunden; um 11 Uhr $24'$ aber war die östliche hell, so dass sie um 11 Uhr $40'$ noch deutlich wahrgenommen wurde, während die westliche ganz verschwunden war, obschon diese letztere immer einen längeren Schweif als die östliche hatte. Die Spitze

des Schweifes der westlichen Nebensonne erstreckte sich öfters auf 30°, manchmal auf 90° bis zur Nebensonne *E*; indess der Schweif der östlichen Nebensonne *C* sich kaum auf 20° erstreckte. Um 11 Uhr 30′ verschwand der grösste Vertikalkreis *Y X H V Z*; die umgekehrten Bogen *H* und *G* aber blieben mit den beyden Nebensonnen *B* und *C* bis an's Ende." Es bleibt uns bey dieser ausführlichen Beschreibung des seltenen Phänomens nichts zu wünschen übrig, als dass *Hevel* über die Ordnung, in welcher die Farben der Kreise folgen, sich bestimmter geäussert haben möchte, und dass er angegeben hätte, auf welche Art er die Durchmesser der erhabenen Bogen *Q G R* und *T H S* bestimmt hatte; weil sie, da es nur Segmente waren, schwer zu messen oder zu schätzen waren.

Das Phänomen, welches *Scheiner* im Jahre 1629 den 20. März in Rom beobachtet hatte [1]), ist in Vielem dem oben Beschriebenen ähnlich; das von ihm im Jahre 1630 beobachtete aber noch mehr. Bey ersterem war der Kreis *B G C I* unten bey *I* weit offen, schien sich jedoch manchmal schliessen zu wollen. Der Kreis *Y X H V Z* war schwächer und kaum bemerkbar, farbig und unstät. Der Horizontalkreis gieng ganz durch die Sonne und schien auf der der Sonne entgegengesetzten Seite zerrissen und kaum sichtbar zu seyn. Die Nebensonnen, welche nicht ganz ausgebildet waren, lagen in den Durchkreuzungen des Kreises *Y X H V Z* mit dem Horizontalkreis; nämlich in *a* und *b*, *a* war schwächer, *b* heller. Sie waren weder rund noch begränzt, sondern ungleich und zerrissen. *b* war sehr unruhig und warf einen dichten feurigen Schweif mit fortwährender Aenderung von sich. In *B* und *C* scheinen bey diesem Phänomen vom Jahre 1629, nach *Scheiner's* Zeichnung und Beschreibung, keine Nebensonnen gewesen zu seyn. Im Horizontalkreis lagen noch zwey Nebensonnen wie *D* und *E*, welche schwächer als *a* und *b* waren, auch runder und weiss wie der Horizontalkreis zu seyn schienen. Ihr Abstand von den übrigen Sonnen oder Kreisen ist nicht angegeben, sie scheinen aber nach *Scheiner's* Zeichnung näher gegen *F* gelegen zu seyn, als die von *Hevel* beobachteten; diese Zeichnung ist jedoch sehr unvollkommen. Als *D* fast schon verschwunden war, bekam man manchmal wieder sehr schwache Spuren von dessen Daseyn; der Horizontalkreis war jedoch in

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 12 et p. 16.

diesem Theile unvollständig. Die Nebensonne *b* verschwand früher als *a*, worauf letztere stärker wurde und von allen zuletzt verschwand. — Von beyden Phänomenen, nämlich dem vom Jahre 1629 und 1630, sagt *Scheiner*, dass der Durchmesser des Kreises *C G B I* 45° gemessen habe, und der Kreis *Y X H V Z* ohngefähr 95° 20′. Die Breite des ersten und zweyten Kreises war gleich, und schien um $\frac{1}{3}$ kleiner zu seyn, als der Sonnendurchmesser. Der Horizontalkreis war etwas breiter. Die beyden concentrisch um die Sonne laufenden Kreise hatten Regenbogenfarben, und die rothe Farbe war der Sonne zugekehrt. — Bey dem Phänomen vom Jahre 1630 waren in *B* und *C* sehr lebhafte Nebensonnen, zwey andere in *a* und *b* weniger lebhaft. *B* und *C* war gegen die Sonne purpurroth, und die von der Sonne abgewendete Seite war weiss; *a* und *b* war ganz weiss. Die zwey Nebensonnen *B* und *C* waren 3 Stunden lang zu sehen. *b* war schwach und wurde bald durch Wolken ausgelöscht. Obschon *a* schwach war, so blieb es doch länger sichtbar als *b*. *C* wurde früher schwach als B, und verlöschte nach vielem Wechsel. *B* wurde erst spät unsichtbar, nachdem Regen eingetreten war. In *H* und *G* waren Nebensonnen zu sehen, welche oft so grossen Eindruck auf das Auge machten, dass er schwer zu ertragen war; vielmal gaben sie anderen an Stärke nach, übertrafen sie auch wieder, in beständigem Wechsel des Lichtes und der Farbe. In *H* wurde ein gegen die Sonne erhabener Bogen gesehen; aus der Beschreibung scheint hervor zu gehen, dass auch in *G* ein solcher war, doch ist dieser in der Zeichnung nicht angedeutet. Die Höhe der Sonne war 28° 30′. Der Durchmesser des ersten Kreises war 45°, der des zweyten 95° 20′. Die Entfernung der Nebensonne *H* von der wahren Sonne 47° 40′; die von *G* 21° 10′ (?). Am Anfang der Beobachtung gieng Nordwind, änderte sich allmählig in Ost- und endlich in Westwind, und es fing an schwach, doch nicht anhaltend zu regnen. Während des Phänomens war der südliche Theil des Himmels mit schwachen und leichten Dünsten belegt, der nördliche aber weniger.

Hevel[1]) sah im Jahre 1660 den 30. März in Danzig um 1 Uhr Morgens zwey weisse concentrische Höfe um den Mond, wovon der kleinere

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 69.

45°, der grössere 90° Durchmesser hatte. In dem Durchschnitte einer Horizontallinie durch den Mond lagen, in dem kleineren Kreise, zu beyden Seiten Nebenmonde, welche farbig waren, und veränderliche lange Schweife hatten. Der Schweif des linken Nebenmondes war kürzer, als der des rechten. An dem oberen Ende beyder Kreise waren farbige, gegen den Mond erhabene Bogen, wovon der, welcher den kleineren Hof berührte, einen grösseren Halbmesser hatte, als der des grösseren Kreises. Das Phänomen dauerte beynahe drey Stunden; zuerst verschwand der grössere Hof, darauf der erhabene Bogen des grösseren Kreises, und endlich der kleinere Hof. Der Durchmesser des einen erhabenen Bogens war 90°, der des anderen 45°.

Im Jahre 1660 den 6. April 5 Uhr 30′ sah *Hevel* [1]) in Danzig vor Untergang der Sonne um dieselbe einen farbigen Hof, in welchem zu beyden Seiten zwey ebenfalls farbige Nebensonnen mit von der Sonne abgekehrten langen weissen Schweifen lagen. An den oberen Theilen des Hofes wurde ein farbiger umgekehrter Bogen, in dessen Mitte eine dunklere Nebensonne stand, gesehen. Diese Erscheinung dauerte bis zu Sonnenuntergang, eine halbe Stunde. Zuerst verschwand der obère Bogen mit seiner Nebensonne, alsdann die linke Nebensonne, endlich die westliche mit der wahren Sonne selbst. Der Durchmesser des die Sonne umgebenden Hofes war nach einer blossen Schätzung 45°.

Das Phänomen, welches *Hevel* im Jahre 1660 den 17. December um 6 Uhr 30′ Morgens beobachtete, ist von grossem Interesse. Den Mond, welcher in einer Höhe von 12° stand, umgab, bey reiner Luft, ein doppelter Hof (kleiner Art) mit den schönsten und hellsten Farben. Zu beyden Seiten des Mondes erschienen Sectionen eines grossen Kreises von ohngefähr 45°, gleich einem Regenbogen, welche sich bis zum Horizonte ausdehnten. In diesen befanden sich zwey Nebenmonde mit sehr langen weissen glänzenden Schweifen, der linke war etwas kürzer, der rechte viel länger. Oben wo die Sectionen des farbigen Kreises zusammen trafen, war ein anderer ebenfalls farbiger, aber gegen den Mond erhabener Bogen, mit einem dritten etwas dunkleren Nebenmond, zu sehen.

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 70.

Das sonderbarste bey diesem Phänomen war, dass durch den Mond ein grosses weisses Kreuz gieng, welches mit seinem unteren Theile bis zum Horizont reichte, mit den übrigen Schenkeln aber den grossen farbigen Kreis nicht völlig berührte, wie Tab. I Fig. 2 zeigt. Dieses Kreuz war so glänzend und lichtvoll, dass es bis zu Sonnenaufgang hell und bestimmt zu sehen war, während die Nebenmonde mit ihren Bögen schon etwas früher verschwanden. Die Grösse des Kreuzes war öfters 30^0 [1]).

S. C. Köchel von Hollenstein sah in Leyden im Jänner 1651 zwischen 1 und 2 Uhr zwey Nebensonnen, die eine östlich, die andere westlich von der Sonne. Sie standen in einem weissen Kreise, der um die Sonne herum lief und ohngefähr $35'$ breit war. Die Nebensonnen standen jede $22^0\ 35'$ von der wahren Sonne ab; die westliche gelbliche hatte wenig Licht und stand nicht weit von einer Wolke, verschwand auch früh; die östliche hingegen war stark leuchtend, gegen die Sonne roth, und hatte einen langen conischen von der Sonne abgewendeten Schweif. Der Schweif verschwand früher als die Nebensonne. In der Zeichnung sind sehr deutlich auch Höfe kleiner Art um die Sonne dargestellt, von welchen sich jedoch in der Beschreibung nichts findet [2]).

Huygens beobachtete den 30. May 1652 einen Hof grosser Art um die Sonne, in dessen Mitte sie stand. Der Durchmesser war ohngefähr 46^0; seine Breite wie die des gewöhnlichen Regenbogens. Die Farben waren jenen des Regenbogens ähnlich, aber so schwach, dass sie kaum wahrzunehmen waren. Die rothe Farbe lag nach innen, nämlich gegen die Sonne zu. Die blaue Farbe glänzte stark. — Der ganze Raum, welchen der Kreis einschloss, war von einem dunkleren Dunst, als der übrige Theil des Himmels bedeckt. Der ganze Himmel war übrigens so, dass ein dünner Wolkenschleier ihn umzog, doch konnte man die blaue Farbe des Himmels noch durchsehen. Der Wind kam von Nord, aber angenehm [3]).

Im Jahre 1667 den 12. May wurde zu Paris, um 9 Uhr Morgens, ein Hof grosser Art beobachtet, dessen Durchmesser 44^0 einnahm. Der

---

1) Hugenii op. rel. p. 70.
2) Hugenii op. rel. V. II. p. 71.
3) Hugenii l. c. p. 72.

obere und untere Theil war ziemlich lebhaft farbig, und die rothe Farbe im Innern des Kreises, also gegen die Sonne zu; die übrigen Theile waren weisslich und nicht sehr hell. Der Raum innerhalb des Hofes war etwas dunkel, vorzüglich gegen die mehr gefärbten Theile hin, welche dem Hofe zunächst waren. Uebrigens wurde noch ein Theil eines grösseren Kreises gesehen, welcher den Hof oben berührte, und dessen Enden nach Unten zu liefen. Dieses Segment wurde mit schwächeren Farben als der Hof gesehen. Die Höhe der Sonne war beym Anfang der Beobachtung ohngefähr 47°. Weissliche Wölkchen, die in der Luft zerstreut waren, schwächten die blaue Farbe des Himmels und verdunkelten die Sonne etwas, die so schien, als wollte eine Verfinsterung eintreten. Dieser Hof erhielt sich von derselben Form und demselben Farbenglanz von 9 Uhr Morgens bis halb 11 Uhr; dann wurde er allmählich schwächer, bis 2 Uhr Nachmittags, wo er verschwand, doch so, dass er kurz vor dem Verschwinden noch etwas heller wurde [1]).

Den 14. April 1683 um 9 Uhr Morgens beobachtete *Cassini* einen Hof um die Sonne von 45° Durchmesser. Ein Segment eines horizontalen Kreises gieng durch die Sonne und in demselben lagen Nebensonnen, doch sollten diese bestimmt ausserhalb des Hofes gewesen seyn. Ihre Entfernung von der Sonne giebt er jedoch nicht an. Er beschreibt noch ein anderes von *Grillon* beobachtetes Phänomen, welches von den übrigen dieser Art abweicht, doch ohne Masse anzugeben [2]).

Den 17. May 1677 sah man auf der Sternwarte zu Paris, um 2 Uhr Morgens, den Mond in der Mitte eines weissen Kreuzes stehen, wovon zwey Schenkel vertical, die beyden anderen horizontal liefen, und so breit wie der Durchmesser des Mondes waren. Der Himmel war so bedeckt, dass man die Flecken des Mondes nicht unterscheiden konnte. — An demselben Tage um 11 Uhr Morgens sah man um die Sonne einen weissen Hof, welcher $44\frac{1}{2}^0$ Durchmesser hatte, $2\frac{1}{2}^0$ breit war, und an seiner inneren Begränzung röthlich schien. Der Raum im Inneren schien dem Hofe zunächst dunkel, und sah einer runden dunkelen Wolke ähnlich, die nur in der Mitte hell war. Andere Wolken, welche niederer zu liegen schienen,

---

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 55.
2) Mémoires de l'Acad. roy. T. X. p. 454.

deckten abwechselnd Theile des Hofes. — Den 20. desselben Monats um 7 Uhr Abends sah man einen weissen Hof um die Sonne von derselben Art und Grösse wie am 17. Auch bey diesem war der innere Rand röthlich, und der Raum im Inneren nur in der Mitte hell. Von Aussen war der Ring weniger begränzt. Horizontal mit der Sonne lagen in dem Hofe zu beyden Seiten Nebensonnen. Die nördliche war röthlich, hatte einen ohngefähr 4° langen horizontalen Schweif, der sich in eine andere viel schwächere Nebensonne zu endigen schien. Die südliche Nebensonne war viel schwächer als die nördliche [1]).

Eines der vollständigsten Phänomene von Nebenmonden beobachtete *C. Colb* den 24. Jänner 1684 in Leipzig, welches auch zu Halle, Erfurt und Breslau soll bewundert worden seyn. Um 8 Uhr Abends, wo der Himmel zwar von Wolken frey, doch überall mit Dünsten erfüllt war, sah man den Mond in einem hellweissen Kreuze stehen. Die horizontalen Schenkel deselben dehnten sich allmählich weiter aus, und bildeten um 11 Uhr einen vollständigen Kreis, der immer mit dem Horizonte parallel blieb, doch nicht überall gleiche Breite hatte. Den Mond umgab ein weisslicher Kreis von 45° Durchmesser. Da wo dieser den horizontalen Kreis durchschnitt, waren lebhaft farbige Nebenmonde, unvollkommen und nicht rund, so dass man sie für Theile eines Regenbogens mit lebhaften Farben hätte halten sollen, die sich gegen die oberen und unteren Theile des Kreises zuzogen. Den Ring von 45° umgab noch ein zweyter schwächerer, welcher $22\frac{1}{2}^{0}$ von ersteren abstand, also 90° Durchmesser hatte, und nur von wenigen bemerkt wurde. An dem oberen Ende desselben wurde noch ein gegen den Mond erhabener Bogen gesehen, welcher einen wenigst nicht viel kleineren Halbmesser zu haben schien, wie der Kreis von 45° Durchmesser, Regenbogenfarben hatte, und während der ganzen Zeit der Erscheinung sichtbar war. Mit weit schwächeren Farben lagen in dem Horizontalkreis noch zwey Nebenmonde, welche mit dem wahren Monde ein gleichseitiges Dreyeck bildeten. Der untere verticale Schenkel des Kreuzes geht in der Zeichnung bis zum Horizont; der obere berührt den Kreis von 45° Durchmesser [2]).

---

1) Mémoires de l'Acad. roy. T. X. p. 411.
2) Gilberts Annalen der Physik 1804. Bd. 3. S. 103.

Einen wegen der Jahreszeit und der Höhe der Sonne merkwürdigen Hof grosser Art, mit schwachen Nebensonnen, sah Professor *Weber* den 16. Juny 1815 in Dillingen, von welchem man bedauern muss, dass er nicht genauer beschrieben wurde. Um halb 12 Uhr bildete sich um die Sonne ein Kreis von nahe 45° Durchmesser mit Regenbogenfarben; Roth lag gegen die Sonne zu, Blau nach Aussen. Um ihn schloss sich nördlich ein anderer Kreis an, der ihn auf beyden Seiten durchschnitt und durch die Sonne gieng. Die Kreise hatten dieselbe scheinbare Breite als die Sonne, und die Stellen, wo sie sich durchschnitten, waren heller und von der Grösse der Sonne, so dass also auch zwey Nebensonnen erschienen. Der nördliche danebenliegende und in den farbigen eingreifende Kreis, war jenem, der die Sonne zum Mittelpunkt hatte, an Grösse gleich, nur schien er sich nach Norden zu verlängern. Zugleich zeigte sich gegen Süden, 60° von der Sonne entfernt, ein langer breiter gefärbter Streif, der gegen die Sonne zu rosenfarbig und an der von ihr abwärts gekehrten Seite hellblau war, und ein Stück eines grossen Kreises zu seyn schien. Die Luft war ruhig, schwül, trocken, von mittlerem Druck und der Himmel mit halbdurchsichtigem Gewölk überzogen; nur südlich stand eine Wolke, in welcher der beschriebene gefärbte schweifartige Streifen sich zeigte. Das Meteor war zu Mittag sehr lebhaft, hernach erblasste es und fing um 1 Uhr an zu verschwinden [1]).

Cassini beobachtete im Juny 1693 zwey Nebenmonde, ohne kennliche Farben und ohne Hof. Er fand ihren Abstand vom Monde 23° 40′. Der Mond stand in einer Höhe von 11° 40′ [2]).

Will. Hall sah in der Nacht am 18. Februar 1796 zu Whitehall ohngefähr um 10 Uhr Abends einen Hof, welcher von allen bis jetzt beobachteten abweicht. Der Mond war etwas über halb voll, stand ohngefähr in Südwest, beynahe 54° hoch und hatte zwey Höfe: einen kleinen, der vollkommen rund, mit dem Monde concentrisch und zwischen 8° bis 12° Durchmesser zu haben schien; ferner einen grösseren, der durch den Mittelpunkt des Mondes selbst gieng, den kleineren durchschnitt und sich rings am Himmel in geneigter Lage umher zog. Der höchste Punkt

1) Gilberts Annalen d. Physik 1815. Bd. 2. S. 217.
2) Mémoires de l'Acad. roy. T. X. p. 275.

dieses grösseren Hofes war der Mond selbst, und der niedrigste gegenüberstehende Punkt desselben schien nur 14° über den Horizont erhaben zu seyn, so dass der Durchmesser dieses Hofes 112° einnahm. Ob er kreisrund war, darüber liess sich nichts entscheiden; er mochte indess wohl etwas elliptisch seyn. Der kleinere Hof war merklich hell, besonders zu West-Reston, 5 engliche Meilen nördlich von Whitehall, dem einzigen Ort, wo man den Hof auch noch gesehen, und wo es geschienen hatte, als ob er Flammen aussendete. An diesem Ort war er auch länger sichtbar, als in Whitehall, wo ein dünnes wollenähnliches Gewölk ihn bald zerstörte, indess der grosse Hof fast eine Stunde lang gesehen wurde. Das Licht beyder Höfe war weiss und beträchtlich glänzend, aber ohne Farben; der grössere war der minder helle, besonders blass da, wo er den kleinen Hof durchkreuzte, und gegen Norden etwas dunkel. Zur Zeit des Hofes war es etwas nebelig, vorzüglich nach Norden; doch hinderte dieses nicht, dass der Mond hell schien, und dass man die Sterne selbst innerhalb des kleinen Hofes wahrnahm. Das Sonderbare bey dieser Erscheinung ist die geneigte Lage des grossen durch den Mond gehenden Kreises [1]).

Auch der Hof, welchen Hr. Prof. *Wrede* den 24. Jänner 1800 zu Joachimsthal um den Mond beobachtete, weicht in Einigem von den gewöhnlichen ab [2]).

Herr Prof. *Brandes*, dem wir so viele interessante meteorologische Beobachtungen verdanken, fand den Halbmesser der Höfe grosser Art öfters ohngefähr 23°. Auch ein Segment eines zweyten Ringes von ohngefähr 46° beobachtete er, bey welchem die rothe Farbe gegen die Sonne lag [3]).

Eine interessante Erscheinung beobachtete *C. Rothmann* den 2. Jänner 1586 in Cassel. Ehevor die Sonne bey reinem Horizont aufgieng, erschien genau vertical eine Säule von der Breite des scheinbaren Sonnendurchmessers, welche das Ansehen eines brennenden Dorfes hinter Bergen hatte; sie schien, die gleiche Intensität abgerechnet, ganz feuriger Art, wie eine

1) Gilberts Annalen d. Phys. 1800. B. 3. S. 357.
2) Gilberts Annalen d. Phys. 1804. B. 3. S. 80.
3) Gilberts Annalen d. Phys. 1802. B. 2. S. 414.

Flamme zu seyn. Kurz darauf gieng in dieser Säule ein Sonnenbild auf, eben so, als wäre es die wirkliche Sonne. Von diesem Bilde befand sich kaum noch ein Zoll unter dem Horizonte, so gieng in derselben Säule die wahre Sonne auf; dieser folgte noch ein anderes gleiches Bild. Die Säule blieb mit ihren drey aneinanderhängenden Sonnen immer vertikal. Diese Sonnen waren von ein und derselben Gestalt; nur übertraf die mittlere oder wahre Sonne die übrigen an Glanz. Sie dauerten mit der Säule beynah eine Stunde, bis eine schwarze Wolke, welche vom Scheitel herkam, sie deckte [1]).

Cassini sah den 31. Jänner 1693 bey Aufgang der Sonne ein dem von *Rothmann* beobachteten ganz ähnliches Phänomen von zwey vertikalen Nebensonnen, ebenfalls mit zwey weit ausgedehnten von den Nebensonnen ausgehenden Lichtströmen. Der Himmel war gegen Morgen bedeckt. Nach der deutlichen Zeichnung zu urtheilen, berührten sich die drey Sonnen nicht ganz. Er führt noch ähnliche Erscheinungen von anderen Beobachtern an [2]).

Malézieu beobachtete bey Untergang der Sonne drey Sonnen vertikal übereinander, die sich genau berührten [3]).

Unvollkommene Phänomene dieser Art sind die sogenannten Feuer- oder Lichtsäulen, welche vertikal von der auf- oder untergehenden Sonne ausgehen, sich oft bis in eine bedeutende Höhe ausdehnen, und nicht selten gesehen werden.

Die Höfe kleiner Art sind nicht so selten, als die grosser Art; doch sind bey ihnen die Farben nicht immer deutlich, und sie bilden in diesem Falle nur einen hellen Schein um die Sonne oder den Mond; auch sind die Farben, da sie immer zunächst um die leuchtende Fläche gesehen werden, schwerer zu unterscheiden. Der Himmel ist auch bey diesen Höfen gewöhnlich leicht mit Dünsten belegt.

Im Junius 1692 beobachtete *Newton*, als er das Sonnenbild von der ruhigen Fläche eines in einem Gefässe befindlichen Wassers reflektiren liess, drey farbige Höfe um die Sonne, wie drey kleine concentrische

---

1) Hugenii opera reliqua V. II. p. 48.
2) Mémoires de l'Acad. roy. T. X. p. 159.
3) Histoire de l'Acad. roy. 1722. p. 13.

Regenbogen. Die Farben des ersten zunächst der Sonne waren nach innen blau, nach aussen roth, und zwischen diesen beyden Farben weiss. Der zweyte war nach innen purpur und blau, nach aussen blassroth, und in der Mitte grün. Die Farben des dritten Ringes waren nach innen blassblau, nach aussen blassroth. Diese Ringe schlossen sich dicht aneinander. Der Durchmesser des zweyten Ringes, von der Mitte des Gelben und Rothen auf der einen Seite der Sonne, bis ebendahin auf der anderen Seite, betrug etwa $9\frac{1}{3}^0$. Die Durchmesser der beyden andern Ringe hatte er nicht die Zeit zu messen; es schien aber der erste 5^0 oder 6^0, der dritte 12^0 zu haben. — Den 19. Februar 1664 Abends beobachtete er zwey ähnliche Ringe unmittelbar um den Mond, wovon der erste 3^0, der zweyte $5\frac{1}{2}^0$ Durchmesser hatte. Zunächst um den Mond war ein weisser Kreis, worauf der innere Ring folgte, der nach innen bläulich grün, nach aussen gelb und roth war; zunächst diesem folgte blau und grün, an der inneren Seite des zweyten Ringes, der nach aussen roth war. Ausser diesen Farbenringen sah er auch noch einen andern Hof um den Mond, der $22^0\ 35'$ von demselben abstand, also $45^0\ 10'$ Durchmesser hatte, und elliptisch zu seyn schien, was aber, wie *Smith* zeigt, eine Täuschung war. Er führt auch an, dass auch drey und noch mehr Farbenringe zunächst um den Mond gesehen würden[1]).

Jordan beschreibt die Höfe kleiner Art in Bezug auf die Ordnung der Farben eben so wie *Newton*. Den 3. Oktober 1792 beobachtete er einen Hof dieser Art um den Mond; und bestimmte die Durchmesser der Farbenringe mit einem Sextanten. Er fand den Durchmesser des nach aussen liegenden rothen Endes des ersten Ringes im Mittel $2^0\ 1'$; den des zweyten $3^0\ 20'$. — Den 25. Oktober 1797 machte er eine ähnliche Beobachtung, und fand den Durchmesser des ersten Ringes $5^0\ 36'$; den des zweyten $9^0\ 52'$ [2]).

Farbige Höfe kleiner Art sieht man vielmal auch um die Venus und andere grosse Sterne. In Amerika werden sie besonders schön, bey anscheinend heiterem Himmel, gesehen, wie Herr *v. Humboldt* beobachtet hatte [3]).

---

1) Priestley's Geschichte der Optik, von Klügel, S. 439.
2) Gilberts Annalen der Physik 1804. B. 3. S. 30.
3) Monatl. Corresp. d. Frh. v. Zach Bd. 1. S. 410.

Ein sonderbares Phänomen, welches in Bezug auf die Folge der Farben und der Ringe Aehnlichkeit mit den Höfen kleiner Art hat, beobachtete *Bouguer* auf den Cordilleren in Amerika öfters. Als er diese Erscheinung zum ersten Male beobachtete, befanden sich sämmtliche Reisegefährten vor Sonnenaufgang auf dem Berge Pambamarka. Eine Wolke, von der sie umgeben waren, zog weg und blieb ohngefähr 30 Schritt westlich von ihnen stehen, so dass sie die Sonne glänzend aufgehen sahen. Auf der Wolke sah jeder seinen eigenen Schatten, ohne den Schatten eines der anderen Reisegefährten wahrzunehmen; jeder sah seinen Schatten so bestimmt, dass er die verschiedenen Theile desselben unterscheiden konnte. Um den Schatten des Kopfes sah jeder eine Arte Glorie, welche aus drey oder vier lebhaft farbigen concentrischen Ringen bestand; die Farben waren wie beym Regenbogen, und roth nach aussen gekehrt. Die Abstände der Farbenringe von einander schienen gleich zu seyn; der letzte Ring war am schwächsten. Jeder sah nur die Farbenringe um den Kopf seines eigenen Schattens, ohne die seines Nachbars zu sehen. Der Durchmesser des ersten Farbenringes war, blos mit einer Regel gemessen, ohngefähr $5\frac{2}{3}^0$; der des zweiten 11^0; der des vierten 17^0. Diese Farbenringe umgab noch ein grosser weisser Kreis, der ohngefähr 67^0 Durchmesser hatte. Sie bemerkten übrigens noch einen schwachen wenig ausgebreiteten Nebel, der nur in einigen Schritten Entfernung wahrzunehmen war. *Bouguer* sah nachher dieses Phänomen öfter und bemerkte, dass die Farbenringe nicht immer denselben Durchmesser hatten. Er sah auch öfter bey einem höheren Stande der Sonne nur ein Segment des weissen Kreises [1]).

Mit dem beschriebenen Phänomen hat der Schein einige Aehnlichkeit, welchen schon viele im Gehen oder Fahren um den Schatten ihres Kopfes sahen, wenn derselbe auf bethauten Boden fiel [2]).

Unvollkommene Höfe kleiner Art sieht man auch durch Fenster, welche leicht mit Dünsten beschlagen oder gefroren sind. Auch um ein Licht, welches in einem Raume steht, der mit Dünsten erfüllt ist, wird, wenn man es in einiger Entfernung beobachtet, vielmal ein ähnlicher Hof gesehen.

---

1) Mémoires de l'Academ. roy. 1744. p. 264.
2) Gilberts Annalen d. Phys. 1804. B. 3. S. 57.

Ohne die Ursache der Entstehung der Höfe zu wissen, können wir aus den angeführten Beobachtungen schliessen: die Höfe grosser Art haben, innerhalb der Gränzen der Genauigkeit, welche bey diesen Bestimmungen möglich ist, immer denselben Durchmesser; nämlich der erste Ring ohngefähr 45^0; der zweyte ohngefähr 90^0. Die rothe Farbe liegt bey dieser Art Höfe gegen den leuchtenden Körper zu; die blaue nach aussen. Der Kreis oder das Segment des Kreises, welches durch die Sonne oder den Mond geht, bleibt in der Regel horizontal, und ist immer ohne Farben. Die Hauptnebensonnen liegen in den Punkten, wo die Höfe grosser Art den horizontalen Kreis schneiden. Vollkommen ausgebildete Nebensonnen oder Nebenmonde werden nur bey niederem Stande des leuchtenden Körpers gesehen; auch bey hohem Stande desselben werden Höfe grosser und kleiner Art vollkommen ausgebildet gesehen. Höfe kleiner Art bestehen aus mehreren concentrischen farbigen Ringen, welche unter sich und mit dem Gestirn, um welches sie gesehen werden, zusammenhängen; d. i. sich dicht anschliessen; die rothe Farbe liegt bey ihnen nach aussen, die blaue nach innen. Die Durchmesser der Höfe kleiner Art können an verschiedenen Tagen sehr verschieden seyn. Die Durchmesser der verschiedenen farbigen Ringe, ein und desselben Hofes kleiner Art, verhalten sich so unter sich, dass z. B. der Durchmesser des zweyten Ringes nie ganz zwey Mal so gross ist, als der des ersten; der Durchmesser des dritten nicht dreimal so gross als der erste u. s. w. Bey beyden Arten der Höfe scheint der Himmel gewöhnlich leicht mit Dünsten belegt. Wir werden bey der Theorie der Höfe noch andere Schlüsse aus den Beobachtungen ziehen können.

Ansichten verschiedener Naturforscher über die Ursache der Entstehung der Höfe und Nebensonnen.

Bey Aufzählung der Ansichten verschiedener Naturforscher, über die Ursache der Entstehung der Höfe, werde ich nur diejenigen besonders auszeichnen, bey welchen der Weg des Lichtes wirklich verfolgt, und so die Bildung dieses Phänomens gezeigt wurde. Mehrere waren z. B. der Meinung, die Höfe werden durch Brechung der Lichtstrahlen in den

Dunstkügelchen oder Eistheilchen gebildet, zeigten aber nicht, wie dieses geschieht; andere glaubten, dass sie durch Beugung des Lichtes entstehen; wieder andere, dass ihre Bildung mit den Regenbogen einerlei Grund habe, doch ohne den Weg des Lichtes wirklich zu verfolgen.

Zu den obengenannten gehört auch die Meinung des *Descartes*. Dieser glaubt, weil während eines Regens kein Hof gesehen wird, müssten diese Erscheinungen durch Brechung der Strahlen in den runden Eistheilchen, die sich in der Luft befinden können, gebildet werden. Die Eistheilchen könnten auch, wie er meint, mehr oder weniger platt seyn, und so grössere oder kleinere Höfe bilden. Zur Erklärung des horizontalen Kreises nimmt er einen aus gefrornen Dünsten bestehenden grossen Cylinder an, der das auffallende Licht nach allen Seiten hin zurück wirft [1]).

Gassendi glaubt, dass ein Hof mit einem Regenbogen einerlei sey, dass bey ersterem wie bey letzterem das Licht zwey Mal gebrochen, und ein Mal reflektirt werde, zeigt den Weg der Strahlen jedoch weder durch eine Figur noch durch Rechnung [2]).

Dechales sucht die Höfe ebenfalls aus ähnlichen Gründen zu erklären, wie den Regenbogen, und führt einen Versuch mit einer Glaskugel an, die mit Wasser gefüllt war. Er liess das Sonnenlicht auf die Kugel fallen und fieng das auffallende Licht mit einem Blatte weissen Papiers auf, in welchem Falle er einen Farbenring erkannte. Die Nebensonnen, meint er, könnten durch Zurückwerfung des Lichtes von Wolken unter gewissen Umständen gebildet werden, wenn die Wolken auch nicht platt genug und von der gehörigen Form sind, um ein deutliches Bild der Sonne zu geben [3]).

Die Theorie der Höfe und Nebensonnen von *Huygens* ist fast die einzige, durch welche der grösste Theil dieser Erscheinungen erklärt wird, aber mittelst Hypothesen, deren Wahrscheinlichkeit Viele bezweifeln. Er verfolgt den Weg des Lichtes sehr umständlich durch Rechnungen

---

1) Priestley's Geschichte der Optik von Klügel.
2) Priestley's Geschichte der Optik von Klügel.
3) Priestley's Geschichte der Optik von Klügel.

und Figuren. Bey den Höfen grosser Art nimmt er an, dass in dem Dunstkreise durchsichtige Eiskügelchen verbreitet sind, welche vollkommen in ihrer Mitte einen runden undurchsichtigen Kern haben, und bey welchen der Durchmesser des Kernes zum Durchmesser des ganzen Kügelchens in allen ein gleiches bestimmtes Verhältniss hat. Bey dem Hofe von 45^0 Durchmesser findet er dieses Verhältniss wie 48 : 100; bey dem von 90^0 Durchmesser wie 68 : 100. Wenn zwey Höfe, einer von 45^0 der andere von 90^0 Durchmesser, gesehen werden, müssen demnach zweyerlei Eiskügelchen genau von dem angegebenen Verhältniss im Dunstkreise verbreitet seyn. Das auf die Dunstkügelchen fallende Licht wird beym Ein- und Austritte gebrochen; ist in der Mitte des Kügelchens ein undurchsichtiger Kern, dessen Durchmesser sich zum Durchmesser des ganzen Eiskügelchen wie 48 : 100 verhält, so kann das Auge eines Beobachters erst von jenen Kügelchen Licht erhalten, welche $\frac{45^0}{2} = 22\frac{1}{2}^0$ von der Sonne abstehen. — Es ist hier zu bemerken, dass das Auge mit den beschriebenen Eiskügelchen bey $22\frac{1}{2}^0$ anfangend Licht von denselben bekäme, und dass da, wo die Farben des Hofes aufhörten, erst weisses helleres Licht anfangen müsste; welches sich in einen grossen Raum ausbreitete und nur allmählich schwächer werden könnte, so dass der weisse Ring den farbigen, dem er sich anschlösse, an Breite vielmal überträfe, und von aussen auch nicht entfernt eine Begränzung wahrzunehmen wäre, sondern bis über den Ring von 90^0 Durchmesser hinaus reichen müsste, was den Beobachtungen entgegen ist. Zur Erklärung der Nebensonnen nimmt *Huygens* durchsichtige Eiscylinder an, die in ihrer Mitte einen kleineren undurchsichtigen Cylinder enthalten, und wobey der undurchsichtige zum ganzen ein bestimmtes, in allen Cylindern gleiches Verhältniss hat; diese Cylinder müssen auch grösstentheils in einer gewissen gleichen Lage im Dunstkreise schweben. Den horizontalen Kreis lässt er durch Reflexion des Lichtes von der Oberfläche der Cylinder entstehen. Um die übrigen Erscheinungen, welche bey dem von *Scheiner* beobachteten Phänomene wahrgenommen wurden, zu erklären, giebt *Huygens* den Cylindern noch andere Formen[1]).

1) Hugenii opera reliqua V. II.

Newton äussert nur Meinungen über die Ursache der Entstehung der Höfe. Er glaubt, dass die Höfe grosser Art blos durch Brechung entstehen. Das Licht, welches durch Regentropfen nach zwey Brechungen, ohne Zurückwerfung, geht, müsse am stärksten in einer Entfernung von 26^0 von der Sonne seyn, und von da auf beyden Seiten nach der Sonne hin, und von ihr abwärts, allmählich schwächer werden, was auch von Eiskugeln gilt. Sind die Eiskugeln in der Mitte undurchsichtig, um nach *Huygens* das Licht innerhalb des Hofes aufzufangen, so würde die innere Seite begränzter seyn, als sie es ohne diesem wäre. Die Höfe kleiner Art erklärt *Newton* nach seiner Hypothese der Anwandlungen des Lichtes zum leichteren Durch- oder Zurückgehen[1]).

Hube erklärt die Entstehung der Höfe durch Beugung des Lichtes an den Rändern der Dunstbläschen, und zeigt den Weg desselben durch eine Figur[2]).

Jordan sucht die Ursache der Bildung der Höfe kleiner Art in der Beugung des Lichtes durch die Zwischenräume, welche die in dem Dunstkreise schwebenden Dunstkügelchen bilden, und zeigt den Weg des Lichtes sehr ausführlich. Nach seiner Ansicht ist der Durchmesser der Farbenringe desto grösser, je kleiner die Zwischenräume sind, und da die Zwischenräume für das durchfahrende Licht um so kleiner werden, je mehr sich Dunstkügelchen im Dunstkreise befinden, so müssen bey vorbeyziehenden durchsichtigen Wolken die Höfe grösser seyn, als bey leichten Dünsten. Dieses ist aber nicht den Beobachtungen gemäss; man sieht oft bey fast unmerklich bedecktem Himmel grössere Höfe dieser Art, als bey stärker bedecktem[3]).

Herr Prof. *Brandes* erklärt die Höfe grosser Art durch zweymalige Brechung, und dazwischen erfolgter zweymaliger Zurückwerfung im Inneren der Dunstbläschen, wie beym äusseren Regenbogen, und sucht das Brechungsvermögen der Materie, welche sich in diesem Falle im inneren Raume des Dunstbläschens befinden muss. Er findet den Exponenten des Brechungsverhältnisses derselben $\frac{1000}{993}$. Wir kennen jedoch

1) Priestley's Geschichte der Optik von Klügel.
2) J. C. Fischer's Physik. Wörterbuch B. II. S. 918.
3) Gilberts Annalen d. Phys. 1804. B. 3. S. 27.

keine Materie, welche im Brechungsvermögen dieser nahe käme; sie fällt in dieser Hinsicht zwischen den liquiden und luftförmigen Materien, doch näher an letztere [1]).

Herr Hofrath *J. T. Mayer* erklärt in seiner Theorie der Höfe [2]) dieses Phänomen durch Dunstbläschen. Ihm zufolge entstehen die Höfe grosser Art durch Brechung des Lichtes in der wässerigen Hülle der Bläschen. Der hohle Raum des Dunstbläschens wirkt hier ähnlich so, wie in *Huygens* Theorie der undurchsichtige Kern der gefrorenen Dunstkügelchen. Hiebey muss man jedoch von der vollständigen Reflexion an der zweyten Fläche des Dunstbläschens, von welcher unten die Rede seyn wird, abstrahiren, wegen welcher unter diesen Umständen nicht hier, sondern da wo die vollständige Reflexion beginnt, eine helle Stelle mit einem Male anfangen könnte. Höfe, bey welchen die rothe Farbe nach aussen liegt, erklärt Herr Hofrath *Mayer* durch zweymalige Reflexion der Strahlen, im inneren der Dunstbläschen; er verfolgt den Weg des Lichtes durch mathematische Rechnungen und sehr ausführlich.

Dr. *Brewster* brachte durch einen interessanten Versuch Lichtkreise hervor. Er benetzte eine Glastafel mit einigen Tropfen einer gesättigten Auflösung von Alaun, welche schnell zu kleinen dem Auge kaum sichtbaren Octaedern, in verschiedenen Richtungen liegend, krystallisirten. Hielt er diese Tafel zunächst an das Auge und sah durch dieselbe nach der Sonne, oder nach einem Lichte, so beobachtete er drey Lichtkreise in verschiedenen Entfernungen vom leuchtenden Körper. Der innerste Kreis, welcher der weisseste ist, wird, seiner Angabe gemäss, durch die Bilder, die von einem Paare der nicht sehr zu einander sich neigenden Flächen der achtseitigen Krystalle zurückgeworfen werden, gebildet. Der zweyte Kreis, welcher mehr Farbe und die blaue Farbe nach auswärts hat, wird durch ein Paar sich mehr neigender Flächen gebildet; der dritte sehr breite und hochfarbige Kreis endlich wird durch ein Paar Flächen gebildet, die noch mehr sich neigen. — Dr. *Brewster* hält durch

---

1) Gilbert's Annalen d. Phys. 1802. B. 2. S. 414.
2) Comment. societ. reg. scient. Götting. ad an. 1804.

diesen Versuch die Ansicht von *Mariotte* und Dr. *Young* für bestätigt, dass Eiskrystalle, in verschiedenen Lagen im Dunstkreise verbreitet, die Höfe hervorbringen[1]).

Entstehung der Höfe kleiner Art.

Die Höfe kleiner Art haben, in Hinsicht der Folge der verschiedenen Farben und des Verhältnisses der Durchmesser der verschiedenen Kreise ein und desselben Hofes, mit den Newtonschen Farbenringen, welche durch Reflexion des Lichtes von zwey sich berührenden wenig convexen Glasflächen entstehen, Aehnlichkeit. Obschon beym Durchfahren des Lichtes durch diese Glasflächen ähnliche Farben bemerkt werden, so kann man sich doch nichts im Dunstkreise denken, was auf ähnliche Art dieselbe Erscheinung hervorbringen könnte.

Die Höfe kleiner Art haben, in obengenannter Hinsicht, ferner auch Aehnlichkeit mit den Farbenringen, welche bey dem, durch eine kleine runde Oeffnung z. B. eines Messingblättchens, gebeugten Lichte beobachtet werden. — Dergleichen runde Oeffnungen kann man sich aber in dem Dunstkreise nicht wohl denken. Das einzige, was wir in der Atmosphäre mit Sicherheit annehmen können, sind Dunstkügelchen. Es bleibt uns daher zu untersuchen, ob die Ränder dieser Kügelchen das Licht ähnlich so beugen, wie der Rand einer runden Oeffnung; und wenn es geschieht, ob sie auch die Erscheinung der Höfe hervorbringen können.

Durch eine geradlinigte schmale Oeffnung wird das Licht in Bezug auf die Folge der verschiedenen Farben bekanntlich eben so gebeugt, wie durch eine kleine Oeffnung. Die Versuche, welche von mir im 8. Bande der Denkschriften der k. b. Akademie und im 2. Hefte von *Schumacher's* astronomischen Abhandlungen beschrieben sind[2]), haben gezeigt, dass es, um diese Erscheinung hervor zu bringen, eben nicht nöthig ist, dass die Ränder, an welchen das Licht gebeugt wird, gegeneinander

---

1) Edinburgh Philos. Journ. Vol. VIII. p. 394.

2) Neue Modification des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen und Gesetze derselben.

gekehrt sind, wie bey einer schmalen geradlinigten Oeffnung; sondern dass diese Ränder auch voneinander gekehrt seyn können, wie bey einem Drathe oder Haare. Die Ursache, weswegen beym Auffangen des Schattens des Haares diese ausserhalb des Schattens fallende Farben nicht wahrgenommen worden, ist, dass sie in das ungebeugte weisse viel intensivere Licht fallen. Fängt man aber das gebeugte Licht mit dem Auge unmittelbar, oder, was noch viel besser ist, mittelst eines Fernrohrs auf, so sieht man bey einiger Aufmerksamkeit genau dieselben Farben, wie bey einer schmalen geradlinigten Oeffnung von derselben Breite. Ich habe gefunden, dass dieser Faden eben nicht undurchsichtig zu seyn braucht, sondern dass z. B. auch ein Glasfaden dieselbe Erscheinung hervorbringt.

Durch dieses letztere wird es wahrscheinlich, dass durch die Beugung des Lichtes an dem Rande eines Dunstkügelchens dieselben Farbenringe hervorgebracht werden, wie durch Beugung bey einer runden Oeffnung von demselben Durchmesser. Um hierüber gewiss zu seyn, machte ich die nachfolgenden Versuche. Ich setze dabey dasjenige, was in der oben genannten Abhandlung über diesen Gegenstand vorkömmt, als bekannt voraus, und erinnere noch, dass ich die dort beschriebenen Versuche mit Veränderungen wiederholt und immer bestätigt gefunden habe.

Bringt man ein kleines rundes Blättchen vor das Auge oder vor das Objectiv eines Fernrohres, und sieht mit demselben in einem finsteren Zimmer nach einer entfernten runden Oeffnung am Fensterladen, durch welche intensives Sonnenlicht einfällt, so sieht man kaum eine Spur von Farbenringen. Die Ursache ist, dass das wenige am Rande eines einzelnen Blättchens, z. B. von 0,02 Zoll Durchmesser, gebeugte Licht vor der grossen Menge und Intensität des ungebeugten verschwindet und nicht wahrgenommen werden kann. Es ist daher darum zu thun, das gebeugte Licht von sehr vielen kleinen runden Blättchen, welche gleiche Durchmesser haben, in das Auge zu bringen. Dieses erreichte ich, indem ich sehr viele gleich grosse runde Staniol-Blättchen unregelmässig in solcher Entfernung nebeneinander zwischen zwey gute Plangläser legte, dass die gegenseitige Einwirkung der gebeugten Strahlen keine erhebliche Veränderung in der Erscheinung hervorbringen konnte, d. i. die Entfernung zweyer Blättchen war ohngefähr so gross, dass immer noch ein Blättchen hätte zwischen gelegt werden können, ohne dass sie sich berührt hätten.

Diese beyden Plangläser, deren zwischen gelegte Staniolblättchen ohngefähr 0,027 Pariser Zoll Durchmesser hatten, brachte ich vor das Objectiv eines achromatischen Fernrohrs, und liess durch dieselben das durch eine runde Oeffnung in ein finsteres Zimmer fallende intensive Sonnenlicht fahren. Ich sah in diesem Falle durch das Fernrohr die runde Oeffnung des Fensterladens so glänzend hell, dass das Auge es kaum ertragen konnte, um dieselbe aber Farbenringe, welche ganz jenen ähnlich sind, welche durch runde Oeffnungen von dem Durchmesser der Staniolblättchen gesehen werden, und also auch ganz den Höfen kleiner Art ähnlich sind. Der Durchmesser des ersten Farbenringes ist wegen der Intensität des Lichtes in der Mitte schwer zu bestimmen; ich fand den Halbmesser des rothen Endes desselben mit obengenannten Blättchen im Mittel $3' 15''$, den des zweiten Ringes $5' 58''$, und den des dritten $8' 41''$. Auch diese Winkel zeigen, dass das Licht am Rande runder Blättchen nach demselben Gesetzte gebeugt wird, wie durch runde Oeffnungen.

Denselben Versuch machte ich mit Glaskügelchen von gleichen Durchmessern, und fand die Erscheinung der vorigen ähnlich[1]). Da die Glaskügelchen sich nicht zwischen zwey Plangläsern in bestimmten Entfernungen erhalten lassen, sondern zusammen rollen, so legte ich bey diesem Versuche Kügelchen zerstreut auf ein Planglas, welches vor dem Fernrohr unter dem Objectiv horizontal gestellt war; unter dem Planglase war ein guter Planspiegel unter 45^0 Neigung so gestellt, dass das von der runden Oeffnung des Fensterladens kommende Licht reflektirt wurde und vertikal durch das Planglas fuhr. Ueber dem Planglase war ein zweyter Spiegel unter 45^0 in entgegengesetzter Richtung, welcher das Licht auf das Objectiv des horizontal-liegenden Fernrohrs leitete.

1) Man erhält diese Kügelchen auf die bekannte Art, indem man einen sehr dünnen Glasfaden an ein brennendes Licht hält, wo dann das Kügelchen an dem Faden zusammen läuft, von dem man es abzwickt. Man muss den Faden mit einer gewissen Geschwindigkeit an den hellsten Theil der Flamme führen, was einige Erfahrung lehrt. Sowohl wenn man zu schnell, als wenn man zu langsam mit dem Faden an die Flamme fährt, wird das Kügelchen unrund. Die Kügelchen, welche man auf diese Weise erhält, bekommen sehr ungleiche Grösse, und müssen sortirt werden. Ich habe einige tausend Glaskügelchen geschmolzen, um von dreyerlei Durchmessern eine Anzahl gleich grosser zu erhalten.

Die Farbenringe, welche man auf diese Art erhält, sind um so grösser, je kleiner die Glaskügelchen sind, und zwar im umgekehrten Verhältniss des Durchmessers derselben.

Diese Versuche zeigen uns, dass, wenn in der Atmosphäre Dunstkügelchen von grösstentheils gleichen Durchmessern verbreitet sind, und sie so grosse Entfernungen von einander haben, dass durch ihre Zwischenräume noch Licht fahren kann, wie unregelmässig sie auch verbreitet seyn mögen, durch die Beugung des Lichtes an dem Umkreise der Kügelchen Farbenringe entstehen werden, die um so grösser seyn müssen, je kleiner die Dunstkügelchen sind. Wir wollen den Weg des Lichtes mittelst einer Figur verfolgen.

In dem Raume *a b*, Tab. II Fig. 1, seyen unregelmässig 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 gebeugt, und unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Das auf das Kügelchen *c* fallende Licht wird nach der Beugung so ausfahren, dass die rothen Strahlen, welche den ersten Farbenring bilden, auf der einen Seite nach *d*, auf der anderen nach *e* fahren; die rothen Strahlen, welche den zweiten Ring bilden, werden von dem Kügelchen *c* unter einem grösseren Winkel ausfahren, nämlich nach *f*; die rothen Strahlen des dritten Ringes nach *g*; die des vierten nach *h*. Das Auge eines Beobachters, welches in *d* steht, und die Sonne in der Richtung *d k* sieht, wird von dem Kügelchen *c* nur die rothen Strahlen des ersten Farbenringes erhalten; weil die übrigen nach anderen Richtungen fahren und das Auge nicht treffen. Von einem weiter entfernten Kügelchen *m*, wird das Auge *d* nur die rothen Strahlen des zweyten Ringes erhalten; von dem Kügelchen *n* die des dritten, und von *p* die des vierten. Für Strahlen von anderer Farbe ist der Weg dem vorigen ähnlich. Sind die Dunstkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen verbreitet, so muss das Auge *d* um die Sonne Farbenringe sehen, deren Abstand für den ersten Farbenring dem Winkel *k d c* gleich ist; für den zweyten *k d m*; für den dritten *k d n* u. s. w. Da die Farbenringe bey runden Oeffnungen um so weniger Intensität haben, je weiter sie von der Mitte abstehen, so müssen auch bey einem Hofe kleiner Art, die äusseren Ringe schwächer seyn und allmählich unsichtbar werden.

Die Durchmesser der Farbenringe verhalten sich umgekehrt, wie die Durchmesser der Kügelchen, daher muss der grösste Theil der Dunstkügelchen in der Atmosphäre nahe gleiche Grösse haben, wenn bey einem Hofe kleiner Art die Farben der verschiedenen Ringe gut zu sehen sind. Haben die Dunstkügelchen sehr ungleiche Durchmesser, so können die Farben nicht wahrgenommen werden; weil in diesem Falle das Auge von einem und demselben Orte im Dunstkreise her Strahlen von verschiedener Art erhält, daher dieser Ort weiss gesehen werden muss. Wenn demnach um den Mond ein Hof kleiner Art gesehen wird, an welchem keine Farben erkannt werden, so haben die Dunstkügelchen ungleiche Durchmesser.

Wie uns die oben angeführten Beobachtungen von Höfen kleiner Art gezeigt haben, können die Durchmesser der Farbenringe an verschiedenen Tagen sehr verschieden seyn. Aus dem Winkel, unter welchem der Durchmesser irgend eines Farbenringes gesehen wird, kann man sich die Grösse der Dunstkügelchen, welche diesen Hof bilden, berechnen. Zieht man von dem halben scheinbaren Durchmesser eines jeden Farbenrings, den halben Durchmesser der Sonne oder des Mondes ab, um welches der Farbenring grösser ist, als er bey einem leuchtenden Punkte seyn würde, und nennt den Rest für das rothe Ende des ersten Farbenringes L^{I}, für den zweiten Ring L^{II} u. s. w.; bezeichnet ferner γ den Durchmesser eines Dunstkügelchen in Pariser Zollen ausgedrückt, so ist dem zu Folge, was aus den zahlreichen Versuchen abgeleitet wurde, welche im 8. Bande der Denkschriften der kgl. baier. Akademie beschrieben sind:

$$L^{I} = \frac{0{,}0000257}{\gamma};$$

$$L^{II} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + \frac{0{,}0000214}{\gamma};$$

$$L^{III} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + 2.\frac{0{,}0000214}{\gamma} \text{ u. s. w.}$$

Bey dem Hofe, welchen *Jordan* im Oktober 1797 beobachtete, finden wir mittelst L^{I}, dass $\gamma = 0{,}000578$ Zoll gewesen seyn muss, mit L^{II} erhält man $\gamma = 0{,}000577$ Zoll. Durch L^{I} erhält man für den von *Jordan* im Oktober 1792 beobachteten Hof, $\gamma = 0{,}00194$; durch L^{II} aber

$\gamma = 0{,}00191$. Eine nähere Uebereinstimmung des aus L^I und L^{II} abgeleiteten γ wird man bey Beobachtungen dieser Art nicht erwarten. Für die Dunstkügelchen, welche von der Wasserfläche aufstiegen, von welcher *Newton* das Sonnenlicht reflektiren liess, finden wir mittelst L^{II} den Durchmesser derselben 0,00061 Zoll. L^I und L^{II} hat *Newton* nicht gemessen, sondern nur geschätzt. Für den Hof, welchen *Newton* den 19. Februar 1664 beobachtet hatte, finden wir den Durchmesser der Dunstkügelchen im Mittel 0,00113 Zoll. Aus den von *Jordan* beobachteten Höfen kleiner Art folgt, dass auch das Verhältniss der Durchmesser der verschiedenen Farbenringe, ein und desselben Hofes, dem Gesetze der Beugung des Lichtes an runden Rändern folgt.

Ein auf ein Dunstkügelchen vertikal auffallender Strahl, der in dasselbe eindringt, und demnach durch den Mittelpunkt des Kügelchens geht, wird an der zweyten Fläche im Inneren des Kügelchens zum Theil reflektirt, und geht in derselben Richtung wieder zurück aus dem Dunstkügelchen[1]). Hat der leuchtende Körper, wie z. B. die Sonne, 30′ Durchmesser, so begreift man leicht, dass auch die zurückgehenden Strahlen diesen Winkel unter sich einschliessen müssen. Für Strahlen, welche sich einem vertikalen Auffallswinkel nähern, geschieht auch noch eine theilweise Zurückwerfung; doch werden diese um soviel mehr zerstreut, je grösser der Auffallswinkel ist. Dieses ist die Ursache, weswegen bey *Bouguer's* Phänomen jeder Beobachter nur seinen eigenen Schatten auf der Wolke sah, ohne den seines Nachbars zu sehen; weil er nur diejenigen Sonnenstrahlen von den Dunstkügelchen der Wolke unzerstreut reflektirt bekam, welche seinem Kopfe zunächst vorbeyfuhren, während alle übrigen auf die Wolke fallenden Strahlen für sein Auge so zerstreut werden mussten, dass ihm keine Stelle ausgezeichnet erscheinen konnte, und er von allen übrigen Theilen der Wolke, um seinen Schatten herum, nur so zerstreutes Licht erhalten konnte, wie die Wolken überhaupt das schief auffallende Licht durch Reflexion zerstreuen müssen. Zur Erklärung, wie die Farbenringe entstanden, welche jeder Beobachter um den Schatten seines Kopfes

1) Die Theorie des Regenbogens giebt Aufschluss über den Weg der Strahlen, welche vertikal auf ein Wasserkügelchen fallen, im Inneren ein Mal reflektirt werden, und wieder aus dem Kügelchen treten.

sah, mag Tab. II. Fig. 1 zu Hülfe kommen. *Bouguer* sagt, dass sie von einem feinen Nebel, also von Dunstkügelchen oder Dunstbläschen, umgeben waren. Diese Kügelchen mussten das Licht, welches an dem Rande derselben vorbeyfuhr, nach dem bekannten Gesetze beugen. Es sey in *r* das Auge des Beobachters; diesem zunächst, also nahe am Kopfe des Beobachters, in *d* ein Dunstkügelchen, auf welches in der Richtung *u d* Sonnenstrahlen fallen. Diejenigen, welche den Rand desselben treffen, werden so gebeugt, dass die Strahlen, welche den ersten Farbenring bilden, nach *d s* und *d c* fahren; die, welche den zweyten Farbenring bilden, fahren nach *m*; die des dritten nach *n* u. s. w. Ist im Raume *a b* eine Wolke, welche dicht ist und aus Dunstkügelchen besteht, so werden diese Kügelchen das nahe vertikal auffallende Licht, durch Reflexion im Innern derselben, eben so zurücksenden, und das nahe bey *d* stehende Auge *r* wird die von dem Kügelchen *d* gebeugten Strahlen eben so zurück erhalten, wie sie auffielen, und muss demnach auf der Wolke Farbenringe sehen, und zwar den ersten Ring unter einem Winkel *c r s*, den zweyten unter *m r m*; den dritten unter *n r n* u. s. w. Für alle übrigen zunächst um den Kopf des Beobachters liegenden Dunstkügelchen gilt dasselbe. Der scheinbare Durchmesser der Sonne gleicht den Durchmesser des Kopfes aus, wenn die Wolke nicht zu nahe ist. Den Durchmesser der Dunstkügelchen, welche die von *Bouguer* beobachteten Farbenringe bildeten, findet man 0,00052 Zoll. Da *Bouguer* die Durchmesser der Farbenringe an verschiedenen Tagen verschieden fand, so hatten demnach an anderen Tagen die Kügelchen andere Durchmesser. Warum jeder Beobachter nur die Farbenringe um den Schatten seines Kopfes sah, gründet sich auf dasselbe, weswegen jeder nur seinen eigenen Schatten gewahr wurde. Da die Dunstkügelchen so sehr klein sind, und auch in geringerer Anzahl vorhanden seyn können, so könnte diese Erscheinung auch noch gebildet werden, ohne dass man einen sehr merklichen Nebel um sich gewahr würde. Hatten die Dunstkügelchen des Nebels, von welchem der Beobachter umgeben war, im ganzen Raume gleiche Grösse, so hätte *Bouguer* auch um die Sonne einen farbigen Hof kleiner Art beobachten können; allein dieser würde so schwach gewesen seyn, dass man ihn nur bey grosser Aufmerksamkeit hätte gewahr werden können. Hatten die Dunstkügelchen weiter vom Beobachter andere Durchmesser, so konnte die

Sonne nur von einem schwachen Scheine umgeben gesehen werden, wie man ihn gewöhnlich bey dünnem Nebel sieht.

Die Entstehung des hellen Scheinens, welchen einige um den Schatten ihres Kopfes sahen, wenn derselbe auf bethauten Boden fiel, gründet sich auf das vorhergehende. Die Ursache, warum diese Erscheinung bey einer Bewegung des Beobachters am besten wahrgenommen wird, ist, dass in diesem Falle das Auge in gleichen Zeitintervallen von einer grösseren Anzahl Thaukügelchen reflektirtes Licht erhält, und daher der Eindruck stärker seyn muss.

Wenn die Dunstkügelchen in der Atmosphäre sehr ungleiche Grösse haben, so können, wie wir aus dem Gesetze der Beugung wissen, keine Höfe kleiner Art mit verschiedenen Farben gesehen werden, und in diesem Falle wird nur ein heller Schein entstehen. Je nachdem aber die Durchmesser der Kügelchen ein Verhältniss unter sich haben, kann diese Erscheinung auf mancherley Art modifizirt werden. Es träfe sich z. B. dass der Durchmesser der einen Hälfte der Kügelchen sich zum Durchmesser der anderen Hälfte verhielte wie 2 : 1, so würde der zweyte Farbenring der ersteren ohngefähr eben dahin fallen, wohin der erste Farbenring der anderen Hälfte fiele, und an diesem Orte müsste demnach die Helligkeit am grössten seyn, ohne dass die Farben gut erkannt werden könnten, weil die Breite der Ringe ohngefähr in demselben Verhältnisse verschieden wäre. Man sieht auch sehr oft um den Mond unvollkommene Höfe kleiner Art, bey welchen eine Stelle ausgezeichneter ist als die übrigen, was demnach hierin seinen Grund hat. Auch die gegenseitige Einwirkung der ungleich gebeugten Strahlen kann, wenn die Ungleichheit sich irgend einem Verhältnisse nähert, diese Erscheinung auf unzählige Arten ändern.

Sind die Dunstkügelchen in der Atmosphäre gross, so müssen die Höfe sehr klein seyn, und sie können dann bey der Sonne oder dem Monde nicht gesehen werden, theils weil der Durchmesser der Sonne das Phänomen unvollkommener macht als bey kleinen Kügelchen, und die Farben etwas ineinander fallen; theils weil sie wegen der Nähe der Sonne nicht wahrgenommen werden können. In diesem Falle aber können die grösseren Sterne von Höfen umgeben gesehen werden.

Wegen der grossen Entfernung der Dunstkügelchen in der Atmosphäre erhält man zwar nur von einem sehr kleinen Segmente eines Kügelchens Strahlen irgend einer Art; aber von einer um so viel grösseren Anzahl Kügelchen erhält man diese Strahlen; daher die Intensität nahe dieselbe bleibt.

Die Dunstkügelchen können in der Atmosphäre auch so dünn zerstreut seyn, dass sie nicht wahrgenommen werden können und der Himmel fast unbedeckt zu seyn scheint. Ihr Durchmesser ist ohnediess so klein, dass er selbst in der Nähe dem Auge verschwindet.

Wenn man den Weg des Lichtes durch ein Fernrohr verfolgt, so wird man nicht auf die Idee verfallen können, dass nur durch das Fernrohr die oben beschriebene Erscheinung mit Glaskügelchen hervorgebracht werde. Das Fernrohr bewirkt bey dieser Erscheinung weiter nichts, als dass es das gebeugte Licht von allen Kügelchen in das Auge bringt, und die Winkel, unter welchen man die Farbenringe sieht, vergrössert, welche bey den Kügelchen, die wir durch Kunst hervorbringen können, noch so klein waren, dass das Auge sie schwer unterscheiden könnte. Auch könnten diese Ringe, da die Kügelchen sich nicht berühren dürfen, wegen der Nähe derselben beym Auge, nicht zusammenhängend erscheinen, d. i. jeder Ring würde vielmal unterbrochen seyn. Sind die Kügelchen vom Auge des Beobachters weit genug entfernt, oder klein genug, so erhält das Auge von einer grossen Anzahl Kügelchen gebeugtes Licht von einerlei Art, und auch die Entfernung der Kügelchen unter sich muss für das Auge verschwinden. Hat man z. B. den Raum, in welchem das rothe Licht des ersten Farbenringes enthalten ist, 5′ gross gefunden, und man nimmt die Entfernung der Dunstkügelchen nur zu 4000 Fuss an, so erhält man rothes Licht des ersten Kreises von soviel Kügelchen, als in einem Ring enthalten sind, welcher 5,8 Fuss breit ist. Wenn man sehr kleine Glaskügelchen in so grosser Entfernung vom Auge in einem finsteren Zimmer hat, dass man von mehreren Kügelchen gebeugtes Licht einerlei Art erhalten kann, so sieht man auch mit blossem Auge die Farbenringe im Kleinen, welche man durch das Fernrohr vergrössert sieht. Das Licht, welches durch die Kügelchen fährt, schwächt in diesem Falle den Eindruck des gebeugten. Dieses gebrochene Licht wird durch das Fernrohr zerstreut; auch durch die Dunstkügelchen in der Atmosphäre

wird es um soviel mehr zerstreut, je weiter sie vom Auge des Beobachters entfernt sind, und ist demnach ohne Wirkung.

Auch der helle Schein, welcher durch ein mit Wasserdünsten leicht beschlagenes Glas gesehen wird, wenn man in einiger Entfernung von dem Glase den Mond oder ein entferntes brennendes Licht durch dasselbe besieht, hat seinen Grund in der Beugung des Lichtes. Da die Dunsttheilchen in diesem Falle sich sehr nahe liegen, so spielt auch die gegenseitige Einwirkung der gebeugten Strahlen hier eine Rolle.

Theorie der Höfe grosser Art.

Wie uns die oben angeführten Beobachtungen verschiedener Naturforscher gezeigt haben, liegen bey den Höfen grosser Art die Farben so, dass Roth gegen die Sonne oder den Mond gekehrt ist, und Blau nach aussen; die Ordnung der Farben ist demnach umgekehrt so, wie bey den Höfen kleiner Art. Bey allen Phänomenen, welche durch Beugung und gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen aufeinander hervorgebracht werden, sind die rothen Strahlen die von dem leuchtenden Punkte am stärksten abgelenkten, daher diese Strahlen nach aussen liegen müssen, und die blauen nach innen. Soweit wir die Gesetze der Beugung und die der gegenseitigen Einwirkung gebeugter Strahlen aufeinander, kennen, lässt sich keine Möglichkeit vorhersehen, dass durch diese Modifikation des Lichtes, wie auch die Umstände seyn mögen, eine umgekehrte Ordnung der Farben hervorgebracht werden könne. — Auch das, was wir bis jetzt von den Gesetzen der Polarisation des Lichtes wissen, zeigt uns keinen Weg zur Erklärung der Höfe grosser Art.

Wir müssen es besonders herausheben, dass, auf welche Art das Licht im Dunstkreise auch modificirt werden mag, die Strahlen von einerlei Art entweder parallel geworden seyn müssen, um die Erscheinung eines Hofes hervor zu bringen, oder dass die ausfahrenden Strahlen in einem bestimmten scheinbaren Abstande vom leuchtenden Körper die grösste Dichtigkeit haben. Denn, wie man diese Modifikation sich auch denken mag, so würden, wenn zwey sich naheliegende gleichartige Strahlen

nach dem Austritte z. B. divergirten und gleiche Intensität hätten, auch von einem anderen Orte des Dunstkreises her Strahlen derselben Art in das Auge kommen, also keine Stellen ausgezeichnet seyn können. Dieses ist z. B. der Fall bey dem Lichte der Wolken, welches nach allen Richtungen ausgesendet wird, und, wenn die Wolken gleichförmig sind, an keinem Orte ausgezeichnet seyn kann. Es mögen demnach die Höfe grosser Art durch Brechung, Zurückwerfung, oder durch beydes entstehen, so muss eine der genannten Bedingnisse erfüllt werden.

Da bey den Höfen grosser Art die rothe Farbe nach innen liegt, und die rothen Strahlen eine geringere Brechbarkeit haben als die übrigen, so glaubt man die Ursache der Entstehung dieses Phänomenes der Brechung des Lichtes zuschreiben zu müssen.

Verfolgt man den Weg der parallel auf ein Dunstkügelchen fallenden Strahlen nach dem Gesetze der Brechung, so findet man leicht, dass unter allen gleichartigen Strahlen nie zwey parallel ausfahren können, und dass auch ihre Dichtigkeit (Intensität) allmählich abnimmt und um so geringer seyn wird, je grösser die Brechung ist, so dass das Maximum der Dichtigkeit dahin fällt, wo die Brechung = o ist.

Bey Bildung der Höfe grosser Art kömmt das auf den Dunstkreis fallende Licht nicht von einem leuchtenden Punkte, sondern von einer leuchtenden Fläche, deren scheinbarer Durchmesser ohngefähr 30′ misst. Man wird dadurch auf die Idee geleitet, ob nicht, wenn man Dunstkügelchen voraussetzt, unter diesen Umständen ein Theil gleichartiger Strahlen nach der Brechung parallel aus dem Dunstkügelchen fahren könnten. Untersuchungen, welche ihrer Weitläufigkeit wegen nicht füglich im Detail hier angeführt werden können, zeigten mir, dass zwey Strahlen, wovon der eine von dem einen Sonnenrande, der andere von dem anderen Rande der Sonne kömmt, nach der Brechung durch ein Kügelchen unter sich parallel ausfahren können; dieses ist aber für alle auf jener der Sonne zugekehrten Hälfte des Kügelchens auffallende Strahlen möglich, und daher keine Stelle ausgezeichnet. Auch findet sich in Hinsicht der Dichtigkeit des ausfahrenden Lichtes kein Ort, welcher die Erscheinung eines Hofes hervorbringen könnte. Ebenso findet sich keine ausgezeichnete Stelle, wenn man dieselbe Untersuchung für verschiedene Ebenen des Kügelchens, in Bezug auf den leuchtenden Körper, anstellt.

Mit Dunstkügelchen möchte noch zu untersuchen seyn, ob die im Inneren derselben mehrmal reflektirten Strahlen, nach der Brechung beym Ein- und Austritte, nicht die Erscheinung eines Hofes mit der den Beobachtungen entsprechenden Ordnung der Farben hervorbringen können. Die Theorie des Regenbogens, bey welchem bekanntlich die Strahlen parallel austreten müssen, gibt für Wasserkügelchen keinen Bogen, der nur $22\frac{1}{2}$ von der Sonne absteht, was schon von mehreren untersucht wurde. Da bey der Theorie des Regenbogens der leuchtende Körper als ein Punkt betrachtet wird, dieser aber eine Fläche ist, so untersuchte ich, unter welchen Umständen die ein- oder mehrmal im Innern reflektirten Strahlen, welche von zwey verschiedenen Punkten des leuchtenden Körpers kommen, nach der Brechung unter sich parallel austreten können[1]). Bey einer so wie bey zwey Reflexionen im Inneren der Wasserkügelchen müssten unter diesen Umständen der Sonne entgegengesetzt farbige Bogen entstehen, die jedoch noch von Niemand beobachtet wurden, und daher nicht existiren. Die Ursache ist, dass, obschon die Strahlen von verschiedenen Punkten der leuchtenden Fläche kommen, dennoch die von einem Punkte kommenden unter sich parallel auffallen, aber nicht in diesem Sinne parallel austreten und zerstreut werden, weswegen die durch obige Voraussetzung gefundene Stelle, im Vergleich mit den übrigen Stellen, so geringe Intensität haben muss, dass sie keinen besonderen Eindruck auf das Auge machen kann. — Es scheint demnach kein Weg offen zu seyn, mittelst Dunstkügelchen das Phänomen der Höfe grosser Art zu erklären.

Durch Dunstbläschen (hohle Kugeln) ist der Weg des Lichtes sehr mannigfaltig, wofern man Brechung und Zurückwerfung beachtet, und das Bläschen, d. i. die Dicke des brechenden Mittels, nicht als unendlich dünn betrachtet wird. Man kann bey diesen Bläschen folgende Hauptfälle unterscheiden: I. Wenn das Licht nach der Brechung an der ersten und zweyten Fläche ein- oder mehrmal im inneren Raume reflektirt wird, und wieder nach zwey Brechungen aus dem Bläschen tritt. II. Wenn

---

1) Es ist nämlich in diesem Falle, wenn μ den Winkel bezeichnet, welchen der einfallende Strahl mit dem ausfahrenden einschliesst, und σ der Einfallswinkel ist, $d\mu = d\sigma$.

der Strahl, ohne irgendwo reflektirt zu werden, durch den hohlen Raum fährt, und folglich viermal gebrochen wird. III. Wenn das Licht, ohne in den hohlen Raum einzudringen, nach der Brechung an der äusseren Fläche von der zweyten Fläche reflektirt wird, und nach der zweyten Brechung an der äusseren Fläche wieder in die Luft tritt. IV. Wenn der Strahl nach drey Brechungen im Inneren der ersten Fläche reflektirt wird, und wieder nach drey Brechungen in die Luft fährt.

Sollten zwey sich nahe liegende parallel auffallende Strahlen nach den Brechungen oder Zurückwerfungen wieder parallel austreten, so muss, wie man auch aus der Theorie des Regenbogens weiss, der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem ausfahrenden einschliesst, d. i. der scheinbare Abstand des austretenden Strahles vom leuchtenden Körper, ein Maximum oder Minimum seyn. Wir wollen diesen Winkel mit μ bezeichnen, und den Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Perpendikel einschliesst, mit σ. Nicht jeder grösste oder kleinste Werth von μ ist von der Art, dass parallel auffallende Strahlen wieder parallel austreten können, er ist es nur in dem Falle, wenn, es mag σ um etwas zu- oder abnehmen, in beyden Fällen μ sich in einem und demselben Sinne ändert.

Indem man für den ersten der oben genannten Fälle, bey einer bekannten Dicke des Bläschens, allgemein den Werth sucht, welchen σ haben müsste, wenn μ ein Maximum oder Minimum seyn sollte, erhält man für σ eine Gleichung von höherem Grad, aus welcher dieser Werth nicht allgemein abgeleitet werden kann. Ohne sich jedoch in eine umständliche Ableitung dieses Werthes einzulassen, kann man sich auf andere Weise versichern, dass μ nie von der Natur seyn kann, dass die Strahlen parallel austreten können. Auch findet sich in Hinsicht der grössten Intensität des austretenden Lichtes keine Stelle, welche die Erscheinung eines Hofes hervorbringen könnte.

Der zweyte Fall, bey welchem das Licht, ohne irgendwo reflektirt zu werden, viermal gebrochen wird, bietet in keiner Hinsicht eine ausgezeichnete Stelle dar.

In dem dritten Falle, wenn der Strahl beym Eintritt an der ersten Fläche gebrochen, dann an der zweyten Fläche, im Innern des brechen-

den Mittels, reflektirt, und endlich beym Austritte an der ersten Fläche nochmal gebrochen wird, erhält man zwar für μ keinen grössten oder kleinsten Werth von der oben genannten Art, aber dennoch ist dieser Fall einer besonderen Beachtung werth. — Der Halbmesser des inneren hohlen Raumes des Dunstbläschens werde mit 1 bezeichnet; die Dicke des Bläschens mit θ, so dass der äussere Durchmesser des Bläschens $= 2\,(1 + \theta)$; der Winkel des gebrochenen Strahles, dessen Einfallswinkel mit σ bezeichnet wurde, heisse ϱ und für den auf die zweyte Fläche fallenden Strahl sey diese Bezeichnung σ', ϱ'; ferner sey n der Exponent des Brechungsverhältnisses. — Bekanntlich wirft jedes brechende Mittel nur einen Theil des auffallenden Lichtes zurück, und zwar um so weniger, je kleiner σ ist; der grösste Theil aber folgt dem Gesetze der Brechung. Dasselbe geschieht auch bey der Reflexion im Inneren, an der zweyten Fläche; von da angefangen aber, wo $sin\ \varrho' > 1$, folgt hier, bey der Reflexion im Inneren, alles auffallende Licht dem Gesetze der Reflexion, so dass, wenn auch die Strahlen nicht parallel austreten, hier eine ungleich hellere Stelle anfangen müsste. Indem man sich für eine hohle Kugel die Figur zeichnet, findet man leicht, dass:

$$sin\ \sigma : sin\ \varrho = n : 1$$
$$1 : sin\ \varrho = 1 + \theta : sin\ \sigma'$$
$$sin\ \sigma' : sin\ \varrho' = 1 : n$$
$$\tfrac{1}{2}\,\mu = \sigma' - \varrho + \sigma$$

Da in dem Falle, wenn das Licht anfängt, im Inneren des brechenden Mittels vollständig reflektirt zu werden, $sin\ \varrho' = 1$, so kann man, wenn θ als bekannt angenommen wird, μ leicht berechnen, d. i. den scheinbaren Abstand vom leuchtenden Körper, in welchem die vollständige Reflexion anfängt. Wird μ als bekannt angenommen, und man sucht den Werh von θ, so erhält man für diese Grösse eine Gleichung vom vierten Grad, welche aber allgemein aufgelöst werden kann. Man bemerkt zwar bey den Höfen grosser Art fast immer, dass der Raum innerhalb des Hofes, gegen den leuchtenden Körper hin, ungleich dunkeler ist als der ausserhalb desselben; allein die Intensität scheint nach aussen doch viel schneller abzunehmen, als es mit Dunstbläschen der Fall seyn könnte.

Der vierte Fall, wenn das Licht im Dunstbläschen sechs Mal gebrochen, und im Innern der ersten Fläche ein Mal reflektirt wird, bietet keine ausgezeichnete Stelle dar.

Die Brechung des Lichtes durch Prismen kann man ebenfalls in Hinsicht des grössten oder kleinsten Werthes von μ betrachten, und bey diesen ist, wie wir finden werden, das Minimum ganz von der Art, wie wir es zur Erklärung der Höfe voraussetzen müssen. Es sey, Tab. III. Fig. 1 $p\,g\,q$ ein Prisma aus irgend einer Materie, deren Dichtigkeit grösser als die der Luft ist; der auffallende Strahl $b\,a$ werde in a nach $a\,d$ gebrochen, und durch die zweyte Brechung in d nach $d\,e$; $f\,d$ und $c\,a$ seyen die Perpendikel. Nach der schon oben gebrauchten Bezeichnung ist demnach: $c\,a\,b = \sigma$; $d\,a\,m = \varrho$; $a\,d\,m = \sigma'$; $f\,d\,e = \varrho'$, und der Winkel, welchen der einfallende Strahl $b\,a$ mit dem ausfahrenden $d\,e$ einschliesst, d. i. $k\,h\,d = \mu$; ferner sey der Winkel des Prismas, d. i. der brechende Winkel $p\,g\,q = \psi$, und wie oben, n der Exponent des Brechungsverhältnisses. Wir erhalten demnach:

$$\sin\,\sigma : \sin\,\varrho = n : 1$$
$$\sin\,\sigma' : \sin\,\varrho' = 1 : n$$
$$\psi = \varrho + \sigma',$$

daher

$$\sin\,\varrho' = n \cdot \sin\,\psi \sqrt{(1 - \frac{1}{n^2} \cdot \sin^2\sigma)} - \cos\,\psi \cdot \sin\,\sigma.$$

Wir haben ferner

$$\mu = \sigma + \varrho' - \psi;$$

in dem Fall wenn $d\,\mu = o$, d. i. wenn μ am kleinsten ist, muss demnach seyn:

$$\sin\,\sigma = n \cdot \sin\,\tfrac{1}{2}\psi;\ \text{es ist alsdann auch}\ \sigma = \varrho'.$$

Sowohl wenn σ von diesem Werthe an zu- als wenn es abnimmt, wird in beyden Fällen μ grösser. Wenn μ am kleinsten ist, erhält man also:

$$\sin\,\mu = 2n \cdot \cos\,\psi \cdot \sin\,\tfrac{1}{2}\psi \sqrt{(1 - n^2 \cdot \sin^2\tfrac{1}{2}\psi)} + \sin\,\psi\,(2n^2 \cdot \sin^2\tfrac{1}{2}\psi - 1).$$

Wenn die kleinen im Dunstkreise schwebenden Eiskrystalle aus sechsseitigen, oder auch wenn sie aus dreyseitigen Prismen bestehen, schliessen die zwey Flächen, durch welche das Licht möglicher Weise gebrochen werden kann, einen Winkel von 60^0 ein, so dass $\psi = 60^0$. Sind diese Eiskrystalle die Ursache der Entstehung der Höfe grosser Art, so müssen wir für $\psi = 60^0$ aus der vorhergehenden Gleichung nahe $\mu = 22\frac{1}{2}^0$ erhalten, wie diese Art Höfe beobachtet werden. Bey Wasser von mittlerer Temperatur ist bekanntlich für die rothen Strahlen der Exponent des Brechungsverhältnisses, d. i. $n = 1{,}33$. Da das Eis einen beträchtlich grösseren Raum einnimmt als Wasser, also geringere Dichtigkeit und folglich auch geringeres Brechungsvermögen hat, so muss man für Eiskrystalle diesen Exponenten etwas weniges kleiner annehmen. Ich setze daher $n = 1{,}32$, und alsdann findet man mittelst obiger Gleichung $\mu = 22^0\ 36'$. Eine nähere Uebereinstimmung dieser Art Beobachungen mit der Theorie wird man nicht erwarten. Da für die blauen Strahlen der Exponent des Brechungs-Verhältnisses grösser ist als für die rothen, und folglich für erstere auch μ grösser wird, so müssen sie im Hofe nach aussen liegen, wie sie beobachtet werden.

Endigen die Eisprismen sich in eine sechsseitige Pyramide, wie es bey sechsseitigen Prismen gewöhnlich der Fall ist, so werden die Flächen der Pyramide dem Lichte auch noch einen anderen brechenden Winkel darbieten. Schliessen die zwey an der Spitze gegenüber liegenden Flächen der Pyramide einen Neigungswinkel von 88^0 ein, so erhält man für diese zwey Flächen, mittelst obiger Gleichung im Fall des Minimums, $\mu = 45^0$, wodurch demnach der zweyte Hof grosser Art entstünde. Dass das Wasser sehr nahe dieser Krystallisation fähig ist, geht schon aus *Bernhardi's* Untersuchungen hervor, welchen zu Folge die Grundgestalt des Eises ein dem Kalkspathe gleiches Rhomboeder ist. Da die Flächen der Pyramide viel kleiner sind, als die des Prismas, so muss schon aus diesem Grunde die Intensität des zweyten Hofes grosser Art viel geringer seyn, als die des ersten. Eine andere Ursache, weswegen der zweyte Hof schwächer seyn muss, als der erste, ist, dass bey einerlei Flächen die Intensität des gebrochenen Lichtes um so geringer seyn wird, je grösser der Brechungswinkel ist. Dieses sind demnach die Ursachen, weswegen der zweyte Hof

viel seltener und nur dann beobachtet wird, wenn der erste sehr vollkommen gebildet ist, und grosse Intensität hat.

Aus der Natur des Maximums und Minimums weiss man, dass, wenn μ nahe am kleinsten ist, alsdann σ merklich geändert werden kann, indess μ sich verhältnissmässig nur wenig ändert, dass aber, wenn μ vom Minimum weit entfernt ist, schon durch eine kleine Aenderung von σ eine verhältnissmässig grosse Aenderung von μ hervorgebracht wird. Da die Aenderungen der Intensität des Lichtes sich ohngefähr verhalten, wie die hier genannten Aenderungen von μ, so liegt hierin grössten Theiles der Grund, weswegen das Licht, welches mittelst der Eisprismen möglicher Weise auch noch von dem Raume ausserhalb des Hofes in das Auge gelangen kann, im Vergleich mit dem des Hofes nur sehr schwach ist, und dieses ist auch die Ursache, weswegen diese Art Höfe nach aussen weniger begränzt sind als nach innen. Man kann sich nicht wohl denken, dass die Flächen der Eiskrystalle im Dunstkreise eine bestimmte in Bezug auf das Auge des Beobachters und den leuchtenden Körper regelmässige Lage haben, und sie müssen in jedem Sinne unregelmässig liegend gedacht werden können, was zum Theil schon daraus hervorgeht, dass der Hof als ein voller Kreis gesehen wird. Aus diesem Grunde kann nur ein Theil der Krystalle die Lage haben, bey welcher μ am kleinsten ist, aber wegen des obengenannten Verhältnisses der Aenderungen von μ und σ, im Falle des Minimums, ist dieser Theil nicht so klein, als man vielleicht glauben möchte; er ist es um so weniger, wenn die Prismen sechsseitig sind; weil dann zwey Mal soviel der unregelmässig liegenden Krystalle dem Lichte eine vortheilhafte Seite darbieten müssen, als bey dreyseitigen. Wären es auch immer nur wenige der in jedem Sinne unregelmässig liegenden Krystalle, welche der Wahrscheinlichkeit nach die vortheilhafte Lage haben können, so müsste dennoch der Eindruck auf das Auge des Beobachters gross seyn; weil die gleichartigen Strahlen parallel aus dem Krystal treten, und folglich selbst in grossen Entfernungen dieselbe Intensität haben müssen, welche sie zunächst am Krystal haben. Der unregelmässigen Lage der Krystalle wegen können die Farben des Hofes nur dann gut erkannt werden, wenn das Licht sehr intensiv ist; weil sie nach aussen immer etwas gemengt werden müssen, zum Theil auch weil das Auge bey schwachem Lichte weniger sicher über die Farbe urtheilt.

Hevel, welcher so glücklich war, im Jahre 1661 das vollständige Phänomen der Höfe grosser Art zu beobachten, sah ausser jenen, welche $22\frac{1}{2}^0$ und 45^0 vom leuchtenden Körper abstehen, auch noch einen dritten Hof in ohngefähr 90^0 Abstand. Ohngeachtet dieser dritte Hof meines Wissens noch von keinem anderen Naturforscher beobachtet wurde, so dürfen wir doch an dessen Existenz nicht zweifeln, da uns der Name des Beobachters hinlänglich dafür bürgt. Sind wir im Stande mittelst derselben oben beschriebenen Eiskrystalle auch diesen dritten Hof zu erklären, und stimmt die Beobachtung auch hier mit der Rechnung überein, so ist es ein neuer Beweis für die Richtigkeit der Theorie dieser Art Höfe. *Hevel* sagt ausdrücklich, dass dieser Kreis weiss, d. i. farbenlos gewesen sey. Dieses leitet auf die Idee, dass er vielleicht durch Reflexion des Lichtes im Inneren der Eisprismen entstanden seyn möchte; wir wollen daher den Weg des auf ein Prisma fallenden und im Inneren reflektirten Lichtes allgemein verfolgen.

Auf das sechsseitige Prisma $f\,g\,h\,k\,m\,n$ falle der Strahl $a\,b$, und $b\,c$ sey der gebrochene Strahl, welcher im Inneren in c reflektirt wird, so dass $c\,d$ der reflektirte Strahl, und $d\,e$ der nach der zweyten Brechung austretende ist. Damit die Folgerung allgemein werde, heisse der Winkel, welchen die Seite $f\,g$ mit der Seite $n\,m$ einschliesst ψ. Wie gross auch ψ seyn mag, sey die reflektirende Seite $h\,k$ gegen die Seiten $g\,f$ und $m\,n$ gleich geneigt; demnach ist nach der schon oben gebrauchten Bezeichnung $r\,b\,a = s\,d\,e = \sigma$; $c\,b\,q = c\,d\,q = \varrho$; $b\,c\,q = d\,c\,q = \sigma'$; und $a\,p\,e = \mu$. Es ist daher:

$$\begin{aligned} sin\ \sigma &= n \cdot sin\ \varrho \\ \psi &= \sigma' + \varrho \\ \tfrac{1}{2}\mu &= \sigma' + \varrho - \sigma. \end{aligned}$$

In dem Falle, wenn der Strahl an der Fläche $h\,k$ durch Brechung nicht mehr austreten kann, und also anfängt im Inneren vollständig reflektirt zu werden, ist $sin\,\sigma' = \frac{1}{n}$, und wir erhalten daher für diesen Fall:

$$sin\tfrac{1}{2}\mu = sin\psi\sqrt{[1-(sin\psi\sqrt{(n^2-1)}-cos\psi)^2]} - cos\psi\cdot(sin\psi\cdot\sqrt{(n^2-1)}-cos\psi)$$

Mittelst dieser Gleichung erhält man für das sechsseitige Prisma, d. i. für $\psi = 60^0$, und den oben für die rothen Strahlen gebrauchten Expo-

nenten des Brechungsverhältnisses bey Eis, $\mu = 91^0\,30'$; und für die violetten Strahlen, für welche bey Eis n nahe um 0,01 grösser ist, $\mu = 89^0\,56'$. Eine nähere Uebereinstimmung mit dem von *Hevel* nur ohngefähr angegebenen Abstand wird man bey Beobachtungen dieser Art nicht erwarten.

Es bleibt uns demnach bey Eiskrystallen, deren Flächen die Neigungswinkel von 60^0 und 88^0 einschliessen, zur Erklärung der Höfe grosser Art nichts zu wünschen übrig, und die Voraussetzung, dass diese Krystalle im Dunstkreise seyen, ist die einzige, mittelst welcher das Phänomen völlig genügend erklärt werden kann. Bey den horizontalen Nebensonnen werden wir Gelegenheit haben, wieder auf diesen Gegenstand zurück zu kommen.

Entstehung der Nebensonnen, des horizontalen Kreises u. s. w.

An der grossen Mannigfaltigkeit dieser Phänomene sind bis jetzt alle Hypothesen, welche man zur Erklärung der Ursachen ihrer Entstehung aufgestellt hatte, gescheitert. Da sie, wie wir sehen werden, grössten Theils nur mittelst der erst in neuerer Zeit näher erforschten Gesetze der gegenseitigen Einwirkung der Strahlen genügend erklärt und durch Versuche bestätigt werden können, so muss hier wiederholt das, was sich auf diese Modifikation des Lichtes bezieht, als bekannt vorausgesetzt werden[1]). Um diese Phänomene leichter in Zusammenhang bringen zu können, glaube ich vorher von den vertikalen Nebensonnen sprechen zu müssen, ohngeachtet diese niemal von Höfen grosser Art begleitet gesehen wurden.

Vertikale Nebensonnen.

Das Phänomen der vertikalen Nebensonnen, vollkommen ausgebildet, ist eines der seltensten; dass es aber wirklich existirt, dafür bürgt uns

---

1) Eine neuere Abhandlung von mir, diesen Gegenstand betreffend, ist im 8. Hefte von Gilberts Annalen der Physik 1823 abgedruckt.

Cassini's Name. Das oben beschriebene, von *C. Rothmann* beobachtete Phänomen dieser Art, scheint am vollkommensten ausgebildet gewesen zu seyn. Aus der Vergleichung der Beobachtungen von *Rothmann*, *Cassini* und *Malézieu* geht hervor, dass die scheinbare Entfernung der vertikalen Nebensonnen von der wahren Sonne nicht immer dieselbe und folglich veränderlich ist.

Durch einen Versuch kann man genau dasselbe Phänomen, welches *Rothmann* beobachtete, hervorbringen, indem man die aufgehende Sonne durch ein Gitter beobachtet, welches aus parallelen horizontalen Fäden besteht, in welchem die Entfernung der Mitte je zweyer Fäden, welche ε heissen mag, im ganzen Gitter gleich ist, und in welchem ohngefähr $\varepsilon = 0{,}0022$ Pariser Zoll. Man sieht nämlich mittelst dieses Gitters zu jeder Seite der wahren Sonne, in vertikaler Richtung, eine Nebensonne, welche gegen die wahre Sonne zu etwas blau, nach aussen roth, in der Mitte aber weiss ist. Sind die Entfernungen der Fäden nicht völlig gleich, so erkennt man die Farben der Nebensonnen weniger bestimmt. Von den Nebensonnen geht ein dem Durchmesser der Sonne gleicher Lichtstreifen aus, welcher etwas farbig gesehen wird, wenn die Entfernungen der Fäden des Gitters genau gleich sind, weniger farbig aber ist dieser Streifen, wenn die Fäden weniger genau gleiche Entfernung haben. Zu beyden Seiten der wahren Sonne ist die Erscheinung symmetrisch. Bey einem Gitter, in welchem $\varepsilon = 0{,}0020$, reicht die wahre Sonne ohngefähr einen Zoll ihres Durchmessers in die Nebensonnen hinein, wie bey dem von *Rothmann* beobachteten Phänomen. Ist ε kleiner, so ist der scheinbare Abstand der Nebensonnen grösser; dagegen wird dieser Abstand kleiner seyn, wenn ε grösser ist. Bekanntlich entsteht dieses mit einem aus parallelen Fäden bestehenden Gitter hervorgebrachte Phänomen durch gegenseitige Einwirkung der durch die schmalen Zwischenräume gebeugten Strahlen. Wie bekannt können die Farben nur dann vollkommen entwickelt seyn, wenn der scheinbare Durchmesser des leuchtenden Körpers sehr klein ist; da aber der scheinbare Durchmesser der Sonne ohngefähr $30'$ beträgt, so müssen, indem man durch ein Gitter die Sonne beobachtet, die verschiedenen Farben $30'$ ineinander fallen, und können daher nicht anders als gemengt d. i. weniger entwickelt gesehen werden, selbst wenn die Entfernungen der Fäden im ganzen Gitter

gleich wären; sind die Entfernungen weniger gleich, so ist dieses noch eine zweyte Ursache zur Mengung oder Verlöschung der Farben. Aus den Gesetzen der gegenseitigen Einwirkung gebeugter Strahlen weiss man, dass durch eine Aenderung des Verhältnisses der Breite eines Zwischenraumes zur Dicke eines Fadens, wenn auch ihre Summe ungeändert bleibt, dennoch die Intensität der verschiedenen Spectra sich auf sehr mannigfaltige Art ändert, und folglich das Phänomen in dieser Beziehung vieler Veränderungen fähig ist.

Bey dem beschriebenen Versuche ist es eben nicht nöthig, dass das Gitter aus Dräthen, Haaren etc. bestehe; ein Planglas mit Blattgold belegt, in welches Parallellinien in den angegebenen Entfernungen radirt sind, bringt auf dieselbe Weise dieses Phänomen hervor. Wenn man in ein Gitter dieser Art, in welchem $\varepsilon = 0{,}0022$, noch eine andere Reihe Linien radirt, deren Entfernung bedeutend grösser, z. B. $\varepsilon = 0{,}02$ ist, und welche die kleineren unter einem rechten Winkel schneiden, so ändert dieses, indem man die Sonne durch dieses Gitter beobachtet, das Phänomen nur wenig; weil die Nebensonnen, welche die grösseren ε hervorbringen, fast ganz in die wahre Sonne fallen, und daher nicht bemerkt werden können. Dasselbe Phänomen wird auch hervorgebracht, indem man z. B. in ein Messingblättchen runde Löcher so bohrt, dass sie wie die eben beschriebenen Linien in parallelen Reihen liegen.

Man wird aus diesen Versuchen schliessen, dass die vertikalen Nebensonnen, welche die Natur hervorbringt, wahrscheinlich durch gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen auf einander hervorgebracht werden. Auf welche Art dieses geschieht, mag aus Folgendem hervorgehen.

Es sey *a b c*, Tab. III. Fig. 3, ein Segment der Oberfläche der Erde, welches man sich jedoch als ein Segment einer Kugel denken muss; mit ihr parallel *d e f* eine Schichte des Dunstkreises. In dieser Schichte liegen Dunstkügelchen, deren Durchmesser durch δ bezeichnet werde; sie seyen, in Hinsicht ihrer gegenseitigen Lage in Bezug auf die Weltgegenden, unregelmässig verbreitet; ihre Zwischenräume aber, d. i. die Entfernung von einem Kügelchen zum anderen, seyen ohngefähr gleich gross, so dass das in *b* stehende Auge die in *c* befindlichen Kügelchen, wenn es selbe gewahr werden könnte, sehr nahe in gleichen Abständen sehen würde. Dieser Zwischenraum, welchen die Kügelchen für einen vertikal auffallen-

den Strahl dem Lichte darbieten, heisse γ, so dass die Entfernung der Mitte je zweyer Kügelchen für den vertikalen Strahl $= \gamma + \delta = \varepsilon$. Wegen der vorausgesetzten unregelmässigen Lage der in nahe gleichen Abständen befindlichen Kügelchen, haben die gegen das Zenith gelegenen, für das Auge b, die Entfernung ε horizontal in jedem Sinne, d. i. nach allen Weltgegenden. Ein horizontal, z. B. von Ost kommender Strahl hf wird die Schichte schief durchschneiden, und für diesen Strahl müssen im vertikalen Sinne, d. i. in der Richtung kf, die Zwischenräume der in f befindlichen Kügelchen, von b aus gesehen, kleiner seyn, als sie es für dasselbe Auge im horizontalen Sinne, d. i. in der Richtung von Nord nach Süd, sind, wo ihr Zwischenraum noch $= \gamma$ ist. Man sieht leicht ein, dass in diesem Falle die Kügelchen sich einer regelmässigen Lage nähern müssen, und ein grosser Theil derselben für den Strahl hf so liegen muss, als lägen sie ohngefähr in abgerissenen parallen Linien, deren Mitten im vertikalen Sinne die Entfernung $(\gamma + \delta) \cdot \sin bfg$, im horizontalen Sinne aber noch die Entfernung $\gamma + \delta$ haben. Die Strahlen, welche an den Dunstkügelchen gebeugt werden, wirken nämlich in vertikaler Richtung vielmal näher aufeinander ein, als horizontal, und sind daher am geeignetsten das Phänomen der gegenseitigen Einwirkung hervorzubringen, und dem in b befindlichen Auge sichtbar zu machen. Da, wenn die Sonne nur wenig über dem Horizonte erhaben ist, der Winkel bfg (gf ist die Tangente), welcher φ heissen mag, immer sehr klein ist, so sieht man leicht, dass in vertikaler Richtung $\gamma + \delta$ d. i. ε sehr viel kleiner seyn muss, als in horizontaler, und aus diesem Grunde kann, wenn vertikal die Nebensonnen gut ausgebildet sind, horizontal kaum etwas ähnliches bemerkt werden.

An verschiedenen Tagen kann ε verschieden seyn, und hierin liegt der Grund, weswegen der scheinbare Abstand der vertikalen Nebensonnen nicht immer derselbe seyn kann. Ist in der Schichte des Dunstkreises ε für die verschiedenen Kügelchen weniger gleich, und hat diese Ungleichheit einen gewissen Grad erreicht, so können die vertikalen Nebensonnen nicht ausgebildet seyn, und es wird dann nur ein vertikaler Lichtstreifen, eine sogenannte Feuer- oder Lichtsäule gesehen. Dass dieser Lichtstreifen, so wie die Nebensonnen, roth gesehen werden, kömmt eben daher, wes-

wegen die Sonne am Horizonte gewöhnlich roth gesehen wird. Die angegebene Ursache der Entstehung des Phänomenes der vertikalen Nebensonnen zeigt deutlich genug, weswegen es nur bey sehr niederem Stande der Sonne beobachtet werden kann.

Horizontaler Kreis.

Der Kreis oder das Segment eines Kreises, welches durch den leuchtenden Körper geht, und ohngefähr seinen Durchmesser zur Breite hat, ist fast immer mit dem Horizonte parallel, auch wenn der leuchtende Körper beträchtlich über dem Horizonte erhaben ist; wir kennen nur eine einzige Ausnahme durch die Beobachtung des *W. Hall.* — Dieses horizontale Segment, welches die Höfe grosser Art durchschneidet, und in dessen Durchschnittspunkten die horizontalen Nebensonnen liegen, ist ohne prismatische Farben, nur die Nebensonnen selbst, welche in diesem Segmente liegen, sind nach innen roth.

Wenn man eine Seite einer Glastafel mit einer durch Talg oder ein anderes Fett beschmutzten Hand oder mit einem weichen Leder mehrmal genau nach ein und derselben Richtung überfährt, so wird das Glas schwach doch gleichmässig beschmutzt. Mit dem Mikroskope besehen scheinen sich die Fetttheilchen am Glase einer parallelen Lage zu nähern, und man findet sehr schmale Linien, wo die Fläche des Glases ohne Fett ist. Diese Linien sind in Hinsicht ihrer Entfernung von einander im hohen Grade ungleich, und entstehen beym Beschmutzen des Glases durch die kleinen Unebenheiten des Leders oder der Hand; doch sind sie sehr nahe unter sich parallel, wofern das Glas nach einer Richtung gerieben, d. i. beschmutzt wurde. Hält man dieses Glas so vor das Auge, dass die genannten Linien vertikal laufen, und sieht durch dasselbe nach einem leuchtenden Körper, so sieht man zu beyden Seiten des leuchtenden Gegenstandes von demselben einen horizontalen weissen Lichtstreifen ausgehen, welcher den Durchmesser des leuchtenden Körpers zur Breite hat, in seiner Länge aber nur durch die Glastafel begränzt wird, und dessen Intensität nach aussen abnimmt. Wenn man in eine Glastafel, welche

mit Goldblättchen belegt ist, Linien radirt, die in Hinsicht ihrer Entfernung voneinander in hohem Grade ungleich doch unter sich parallel sind, so beobachtet man durch dieses Glas dasselbe Phänomen eines von dem leuchtenden Körper ausgehenden weissen Lichtstreifens.

Bekanntlich sind die Farbenspectra, welche durch ein Gitter gesehen werden, das aus parallelen gleichweit entfernten Fäden besteht, um so grösser und weiter von dem leuchtenden Körper entfernt, je kleiner die Entfernung der Mitte je zweyer derselben, d. i. ε ist. Mit einem Gitter, welches aus parallelen doch in ihrer Entfernung ungleichen Fäden oder Linien besteht, müssen daher die kleineren ε grosse und weiter entfernte, die grösseren ε dagegen kleinere und weniger abgelenkte Spectra hervorbringen, welche also gemengt werden; weswegen bey einer grossen Ungleichheit der verschiedenen ε das durch gegenseitige Einwirkung der durch die schmalen Zwischenräume gebeugten Strahlen abgelenkte Licht weiss seyn muss.

Sind in f, in der Schichte des Dunstkreises, Tab. III. Fig. 3, kleine unregelmässig liegende Körper, so müssen sie sich, wie wir oben gesehen haben, für das Auge b einer regelmässigen Lage nähern, und für den horizontal kommenden Strahl $h\,f$ ohngefähr so liegen, als lägen sie in vertikalen Linien. Man kann sich, wie verschieden auch die Entfernung seyn mag, eine mittlere Entfernung je zweyer derselben denken. Sind diese mittleren Abstände, d. i. ihre Zwischenräume, im Vergleich mit den Durchmessern der beugenden Körperchen sehr klein, so werden sie dem Strahle $h\,f$ in vertikaler Richtung keine Zwischenräume darbieten, und es können nur noch die horizontalen übrig seyn, daher nur in diesem Sinne das Licht abgelenkt werden kann. Da es bey diesem Phänomen nur darauf ankömmt, dass die beugenden Körperchen sich einer regelmässigen Lage nähern, so kann ihre Form wie immer gedacht werden, wenn sie nur klein und von Rändern begränzt sind; es können also auch kleine Krystalle, Kügelchen etc. seyn. Es seyen, Fig. 4, c und d zwey solche Körper, und der Durchmesser eines jeden $= \delta$, ihr Zwischenraum $a\,b = \gamma$, und die Entfernung ihrer Mittelpunkte $c\,d = \varepsilon$. Für Strahlen, welche in der Richtung $g\,a$ parallel auffallen, d. i. vertikal auf $c\,d$, ist der Zwischenraum, welchen die Körper dem Lichte darbieten $= a\,b = \gamma$, für Strahlen dagegen, welche in der Richtung $k\,f$ auffallen, ist dieser

Zwischenraum, d. i. $k\,m = \varepsilon\ sin\ \varphi - \delta$. Je kleiner demnach φ ist, um so kleiner ist $k\,m$, und von da angefangen, wo $\varepsilon \cdot sin\ \varphi = \delta$, ist in diesem Sinne, d. i. in vertikaler Richtung, kein Zwischenraum mehr übrig, und das Licht kann nur durch die Zwischenräume fahren und gebeugt werden, welche in horizontaler Richtung noch $= \gamma$ sind, und folglich kann das Licht in diesem Falle nur im horizontalen Sinne abgelenkt werden, und nur in dieser Richtung in das Auge gelangen. Dass der horizontale Kreis, wie er beobachtet wird, immer weiss ist, zeigt, dass die Krystalle sehr ungleiche Entfernung unter sich, vielleicht auch ungleiche Durchmesser haben können. Ihre Form schon muss diese Wirkung hervorbringen, weil sie auch in Bezug auf ihre Axe unregelmässig liegend gedacht werden müssen.

Ist $k\,m$ nicht für alle Krystalle $= o$, und bietet ein grosser Theil derselben dem Lichte auch noch in dieser Richtung einen Zwischenraum dar, so kann ausser dem horizontalen auch noch ein vertikaler Lichtstreifen von dem leuchtenden Körper ausgehen, und in diesem Falle wird derselbe in einem weissen Kreuze gesehen, wie *Hevel* und andere es beobachtet haben. Künstlich kann man dieses Kreuz hervorbringen, indem man die Glastafel, deren eine Fläche nach einer Richtung dünn mit Fett bestrichen ist, auch auf der zweyten Seite nach einer anderen Richtung, welche die erstere unter einem rechten Winkel schneidet, mit Fett beschmutzt.

Es ist bekannt, auf wie mannigfaltige Art das Phänomen, welches durch gegenseitige Einwirkung gebeugter Strahlen entsteht, geändert wird, wenn das Verhältniss von γ zu δ und die Summe dieser Grössen, d. i. ε, sich ändert; daher auch das Phänomen des horizontalen Kreises einiger Aenderungen fähig seyn muss; je nachdem das arithmetische Mittel jeder dieser im Dunstkreise sehr ungleichen Grössen sich ändert, oder je nachdem die Differenzen vom arithmetischen Mittel grösser oder kleiner sind. Ist z. B. das arithmetische Mittel der verschiedenen ε sehr klein, aber diese Grösse für die verschiedenen Theile der Schichte dennoch ungleich, so muss, dem leuchtenden Körper zunächst, das weisse horizontale Segment schwächer seyn, oder ganz mangeln. Einen solchen, dem leuchtenden Körper zunächst mangelnden, weissen Lichtstreifen erhält man durch

ein Glas, auf welches mit einer Diamantspitze in sehr kleinen doch ungleichen Entfernungen Parallellinien radirt sind.

Wir haben oben vorausgesetzt, dass die Dunstkügelchen oder Krystalle, mittelst welcher das Licht gebeugt wird, in einer Schichte liegen, welche mit der Oberfläche der Erde parallel läuft. Wäre diese Schichte nicht mit der Erdoberfläche parallel, so könnte der besprochene durch den leuchtenden Körper gehende weisse Kreis auch aufhören mit dem Horizonte parallel zu seyn, und so möchte sich auch das von *W. Hall* beobachtete Phänomen erklären.

Da die mit Fett auf die angegebene Art bestrichene Glastafel in Hinsicht ihrer Grösse begränzt ist, so kann man mittelst derselben immer nur einen weissen Streifen sehen, dessen scheinbare Länge der scheinbaren Länge der Glastafel gleich ist, also keinen vollständigen Kreis. Wenn man eine Glastafel *g h k m*, Fig. 5, von einem Punkte *a* aus auf die oben angeführte Weise dünn mit Fett bestreicht, so dass die Fetttheilchen von diesem Punkte aus ohngefähr in geraden Linien liegen, und man giebt der Tafel gegen den leuchtenden Körper ein solche Lage, dass ihn das in *b* stehende Auge in der Richtung *b c d* sieht, so beobachtet man, von *b* aus, einen vollständigen weissen Kreis *a e c f*. Man begreift leicht, dass, je nachdem die Glastafel gegen den Horizont geneigt ist, auch der helle Kreis geneigt seyn muss.

Horizontale Nebensonnen und erhabene farbige Bogen.

Schon aus dem Grunde, weil das besprochenen horizontale Segment den ersten intensivsten Hof grosser Art schneidet, müssen die Durchschnittspunkte heller seyn als die übrigen Theile des Hofes, und schon aus dieser Ursache könnten die genannten Punkte sichtbar seyn, indess sowohl der Hof als das horizontale Segment zu schwaches Licht hätten, um wahrgenommen werden zu können; allein es wirken hier noch andere Ursachen zur Entstehung der horizontalen Nebensonnen mit.

Haben die in der Schichte des Dunstkreises befindlichen Krystalle gegenseitig eine solche Stellung, dass sie sich für das Auge des Beob-

achters einer parallelen Lage nähern, wie es aus obigen Schlüssen folgt, so sind horizontal die Zwischenräume am grössten und die Krystalle decken sich in dieser Richtung gegenseitig am wenigsten, daher sie hier für das durchfahrende Licht am freyesten sind, und von dieser Stelle am mehrsten des durch die Krystalle gebrochenen Lichtes in das Auge gelangen kann, also die horizontalen Stellen des Hofes sehr viel heller seyn müssen, d. i. es müssen horizontale Nebensonnen gesehen werden. Man begreift leicht, dass die Umstände zur Bildung dieser Nebensonnen und des horizontalen Kreises mehr oder weniger günstig seyn können, je nachdem die Anzahl der Krystalle grösser oder kleiner ist u. s. w. Schon der Umstand, dass der Schweif, von welchem diese Nebensonnen gewöhnlich begleitet sind, immer nur nach aussen liegt, weist darauf hin, dass sie durch die Brechung des Lichtes in den Eisprismen entstehen; weil, wenn die Intensität der Strahlen, welche durch diejenigen Prismen gebrochen werden, deren Lage dem Minimum der Brechung entspricht, sehr gross ist, alsdann auch jene Strahlen noch grossen Eindruck auf das Auge machen müssen, für welche μ nicht am kleinsten ist, daher der Raum nach aussen noch sehr hell seyn und allmählich abnehmen muss, d. i. nach dieser Richtung muss die Nebensonne von einem Schweife begleitet seyn. Da auf diese Weise die verschiedenen farbigen Strahlen nach aussen gemengt werden müssen, so erkennt man die Ursache, weswegen bey den Nebensonnen die prismatischen Farben nach aussen weniger entwickelt sind, und sie in dem Schweife nicht erkannt werden.

Wir haben uns oben die Schichte, in welcher die das Licht beugenden Körper, d. i. die Krystalle etc. liegen, als sehr dünn gedacht. Man begreift leicht, dass dieselben Schlüsse, in Hinsicht eines geneigt auffallenden Strahles, auch hier für eine dickere Schichte gelten. Wir können uns diese, mit der Erdoberfläche parallelen, dicken Schichten als aus zwey oder mehreren parallelen Schichten bestehend denken, wenn es auch blos eine seyn sollte, d. i. wenn diese Schichten ungetrennt seyn sollten. Man sieht sehr leicht ein, dass schon für die erste gegen die Sonne gelegene Schichte jene Folgerungen gelten, welche wir oben in Hinsicht der scheinbaren Lage ihrer Theilchen, in Bezug auf das Auge des Beobachters, gezogen haben.

Es ist bekannt, dass die gleichartigen parallel auf ein aus gleichen ε bestehendes Gitter fallenden Strahlen, nach der Modifikation durch das Gitter, zwar für die verschiedenen Spectra unter verschiedenen Winkeln, aber für ein und dasselbe Spectrum dennoch im ganzen Gitter unter sich parallel austreten. Da bey einem aus im hohen Grade ungleichen ε bestehenden Gitter keine Spectra, sondern nur weisses Licht gesehen wird, welches, wenn die Fäden vertikal laufen, horizontal nach allen Richtungen ausfährt, so muss das von dem horizontalen Segmente ausfahrende Licht als im horizontalen Sinne divergirend betrachtet werden. Daraus folgt auch, dass die Intensität des Lichtes der Schichte zunächst grösser seyn muss, als in grösseren Entfernungen. Diese Divergenz der von dem horizontalen Segmente ausfahrenden Strahlen gilt schon für die erste oben gedachte Schichte, und kann in den folgenden Schichten, durch Brechung in den Eiskrystallen, das Licht der horizontalen Nebensonnen noch etwas erhöhen.

Die Strahlen des horizontalen Kreises, welche in horizontaler Richtung divergiren, sind in vertikaler Richtung unter sich parallel. Aus diesem Grunde sind sie bey einer dicken Schichte geeignet, das schon vielmal beobachtete Phänomen der erhabenen Bogen, d. i. der das Zenith umschreibenden farbigen Bogen hervor zu bringen. Diese farbigen Bogen laufen bekanntlich immer mit dem Horizonte parallel, und berühren jedesmal das obere Ende der Höfe grosser Art, wie auch der Stand der Sonne seyn mag. Ihre Entstehung geht aus Folgendem hervor.

Man muss sich erinnern, dass wir uns schon bey den Höfen grosser Art die Krystalle, in Bezug auf ihre Axe, in jedem Sinne unregelmässig liegend denken mussten, dieses also auch für die zweyte oben gedachte Schichte gilt, und demnach auch in dieser Schichte das Licht, wie es auch auffallen mag, immer einige Krystalle treffen muss, welche die zur Brechung geeignete Lage haben. Man begreift leicht, dass, wenn das Auge des Beobachters in vertikaler Richtung beträchtlich über die Erdoberfläche erhaben wäre, es dennoch zu beyden Seiten des leuchtenden Körpers das horizontale weisse Segment sehen müsste, und zwar vielmal unter vortheilhafteren Umständen, weil alsdann φ kleiner wäre. Das höher gestellte Auge würde aber alsdann durch andere vom Zenith weniger weit entfernte Theile der Schichte dieses das horizontale Seg-

ment bildende Licht erhalten, d. i. von andern dem Zenith näher gelegenen Krystallen. Wäre das Auge zunächst an der Schichte, im Zenith, so würde es schon von den ihm nahe gelegenen Krystallen dieses Licht erhalten. Daraus folgt, was man auch schon ohne das Vorhergehende schliessen würde, dass alle Strahlen, welche auf den dem leuchtenden Körper zugekehrten Theil der Schichte auffallen, so modifizirt werden, dass sie in horizontaler Richtung divergiren, indess sie in vertikaler Richtung noch parallel sind. Das Licht nimmt also innerhalb der Schichte überall einen solchen Weg, als käme es von einem horizontalen leuchtenden Segmente. Da dieses schon für die erste oben gedachte Schichte gilt, so fällt es dennoch auf die zweyte Schichte eben so. Wir haben oben bey den Höfen grosser Art gesehen, dass, wenn der leuchtende Körper ein Punkt oder eine kleine runde Fläche ist, alsdann durch die Brechung der Strahlen in den Eisprismen, ein concentrischer die leuchtende Scheibe umgebender Kreis gesehen werden muss. Verfolgt man den Weg der Strahlen ebenso für den Fall, wenn das Licht von einem leuchtenden horizontalen Segmente kömmt, so findet man für die in der zweyten Schichte gelegenen Krystalle, dass alsdann ein das Zenith umschreibender mit dem Horizonte paralleler farbiger Bogen gesehen werden müsse. Durch andere Worte ausgedrückt: wenn auf die zweyte Schichte das Licht so fällt, als käme es von einem horizontalen leuchtenden Streifen, so kann nur dasjenige in den Krystallen der zweyten Schichte gebrochene Licht in das Auge des an der Erdoberfläche befindlichen Beobachters gelangen, welches von einem Bogen ausfährt, dessen Mitte das obere Ende des Hofes grosser Art berührt, und welcher das Zenith umschreibt, folglich mit dem Horizonte parallel ist; d. i. nur für die in diesem Bogen liegenden Krystalle kann für ein von einem leuchtenden Streifen kommendes Licht in vertikaler Richtung μ ein Minimum seyn.

Der erhabene farbige Bogen wird um so heller seyn, je grösser die Intensität des von dem horizontalen weissen Segmente auf die zweyte Schichte fallende Licht ist, und da dieses weisse Segment in der Mitte am hellsten ist, d. i. hier sich scheinbar die wahre Sonne befindet, so kann unter vortheilhaften Umständen sich an dem oberen Ende des Hofes eine Art Nebensonne befinden, d. i. an dem Orte, wo der erhabene Bogen den Hof berührt, wie es schon einige Mal beobachtet wurde.

Weil man sich hier immer in eine hohle Kugel versetzt denken muss, in welcher Kreise, Kreissegmente u. s. w. in verschiedenen Richtungen liegen, diese aber durch eine Zeichnung sehr schwer verständlich darzustellen sind, so kann man einen grossen Theil des hier beschriebenen Weges des Lichtes nur denkend verfolgen.

Da die Schichte, in welcher die Krystalle liegen, mehr oder weniger dick, die Krystalle mehr oder weniger zahlreich, und in dieser Beziehung selbst die verschiedenen Stellen der Schichte verschieden seyn können u. s. w.; so kann man leicht schliessen, dass diese Phänomene einer grossen Mannigfaltigkeit fähig sind, dass demnach die Umstände für das eine Phänomen vortheilhafter als für das andere seyn können u. s. w. Würden die Axen der Krystalle manchmal eine bestimmte regelmässige Lage haben, oder einer solchen sich nähern; so könnte auch dadurch ein oder das andere Phänomen mehr ausgebildet seyn.

Befänden sich die Krystalle blos in einer höheren kalten Schichte der Luft, indess in einer anderen weniger hohen wärmeren Schichte Dunstkügelchen wären; so könnte der leuchtende Körper auch noch von einem Hofe kleiner Art umgeben seyn. Wenn ein Hof grosser Art sich gebildet hat, so erkennt man zwar, selbst bey grosser Aufmerksamkeit, sehr selten auch Höfe kleiner Art; allein sie wurden dennoch schon beobachtet, z. B. von *Newton*.

Durch die hier abgehandelten Folgerungen und Versuche sind demnach sämmtliche Phänomene der Höfe, Nebensonnen u. s. w. auf die bekannten Gesetze des Lichtes zurückgeführt. Die Theorie der Nebensonnen und der sie begleitenden Phänomene wäre zwar in speciellen Fällen einer weiteren Ausführung fähig, weil die mögliche Mannigfaltigkeit sehr gross ist; allein sie würde immer von dem hier gegebenen Allgemeinen abgeleitet werden; daher dieses genügen möchte.

Fig. 1.

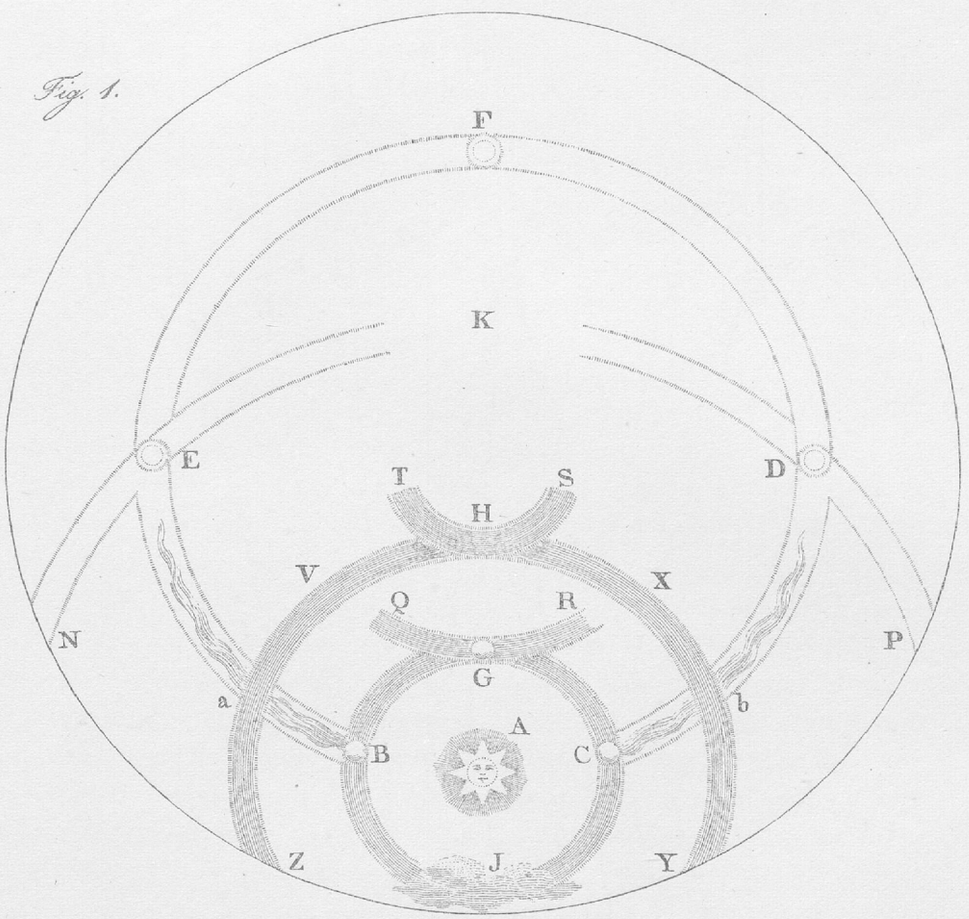
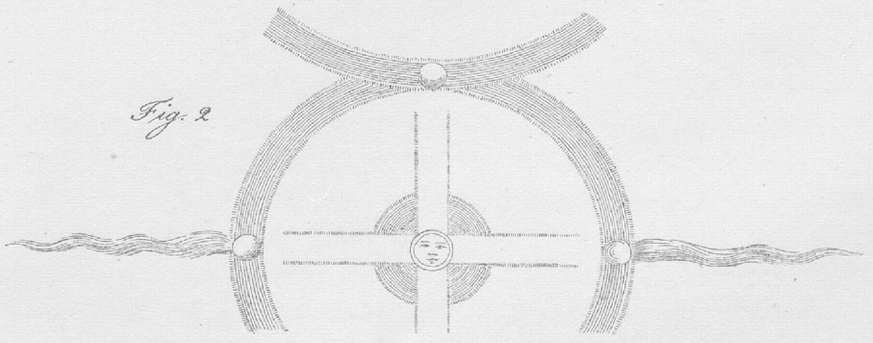


Fig. 2



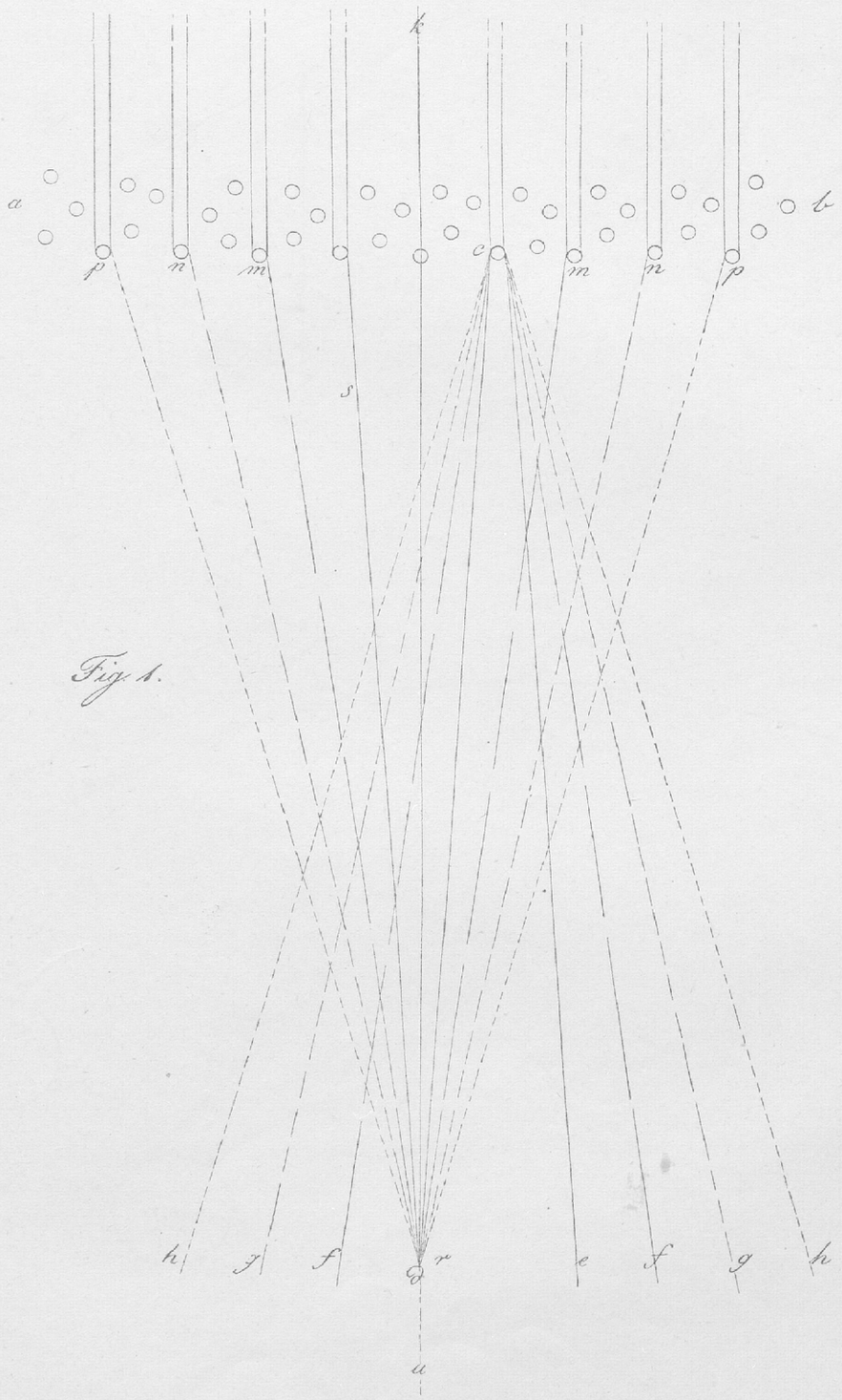


Fig. 1.

Fig. 1.

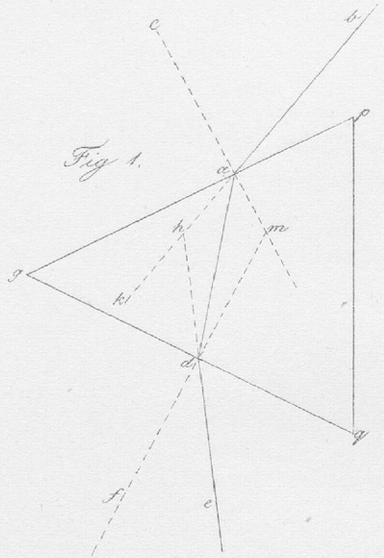
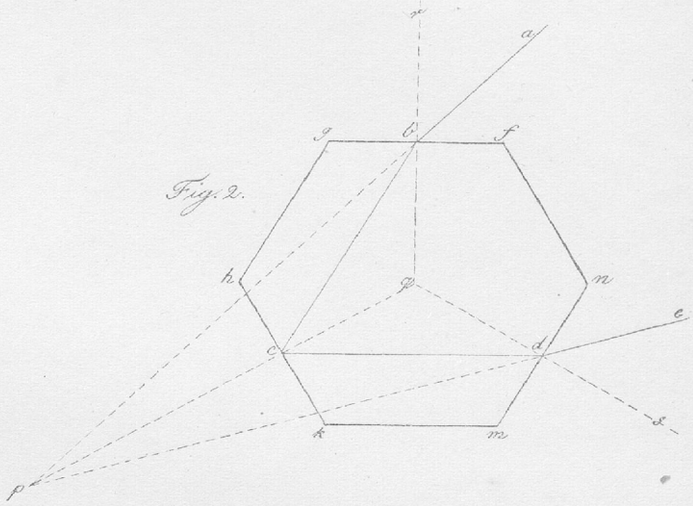


Fig. 2.



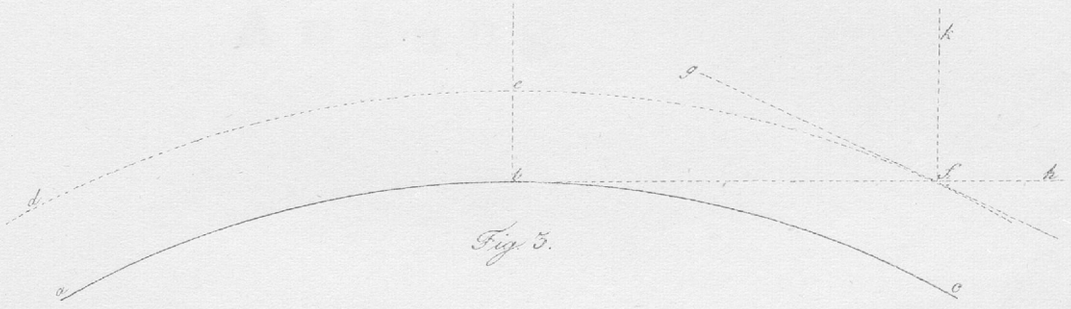


Fig. 3.

Fig. 4.

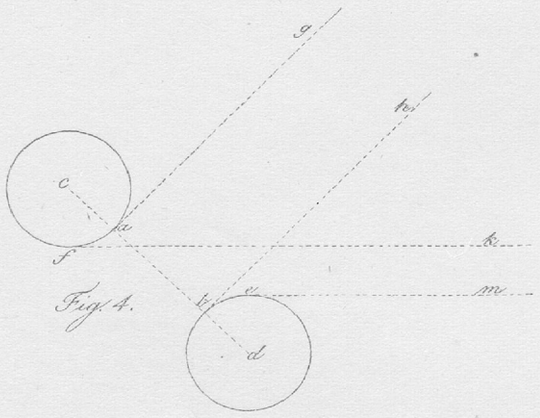
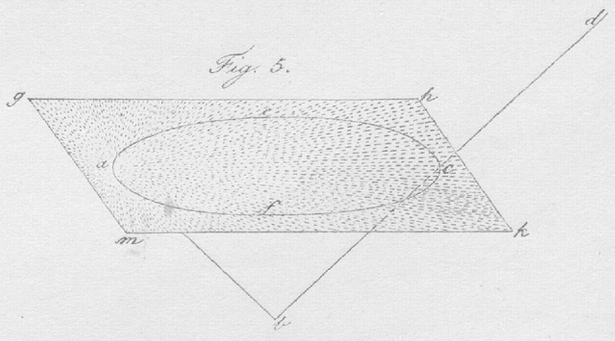


Fig. 5.



Anhang.

Détermination

du

pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques

par

Jos. Fraunhofer
à Munich.

(Schumacher's astronom. Abhandlungen, Heft II, pag. 13—45. 1823.)

Détermination

du

pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre, recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques

par

Jos. Fraunhofer
à Munich.

Le calcul d'un objectif achromatique et, en général, celui de chaque lunette achromatique exigent une connaissance exacte du rapport constant du sinus d'incidence au sinus de réfraction et du rapport de dispersion des différentes espèces de verre, dont on veut se servir pour la composition des lunettes. Les moyens, que l'on a employés jusqu'à nos jours, pour trouver ces rapports, ont donné des résultats assez différents entre eux, malgré les soins et l'exactitude, employés dans le calcul. On devait par conséquent toujours s'attendre à des inexactitudes, qui rendaient la perfection de l'objectif douteuse, et qui ne remplissaient guère les attentes. — Des expériences, réitérées depuis plusieurs années, m'ont fait trouver des nouvelles méthodes pour obtenir ces rapports. Je crois donc répondre aux voeux prononcés de plusieurs savants, en publiant ces expériences et ces essais dans le même ordre, que je les ai faites avec les modifications que ces mêmes expériences m'obligèrent d'y introduire.

Je commençai à déterminer la dispersion d'une seule espèce de verre par la grandeur du spectre prismatique, formé par un prisme d'un angle connu, dans une chambre obscure et à une distance donnée, d'où je déduisis en suite la dispersion. Cependant les bords du spectre étant mal terminés, il restait toujours beaucoup d'incertitude dans les résultats.

Pour déterminer le rapport de réfraction et de dispersion du Flint- et Crownglas, je me servis des prismes de ces deux expèces de verre, ayant leurs angles

réfringents petits et en sens opposé. Ces derniers furent successivement changés au point que d'un côté la réfrangibilité, et de l'autre la réfraction furent nulles. Alors le rapport des angles était en raison inverse de celui de réfrangibilité ou de réfraction. Plusieurs prismes, assemblés deux à deux et faits de mêmes espèces de verre, donnèrent cependant, sur-tout pour le rapport de dispersion, des résultats différents. Je choisis donc, pour la détermination de dispersion relative, des prismes plus grands, ayant leurs angles réfringents en sens opposé, et aussi plus grands. Le prisme de Crownglas était de 60° à 70°. L'angle d'un des prismes fut changé jusqu'à ce que la dispersion fût presque détruite; ce qui y manquait encore, fut alors réglé par le changement de l'angle d'incidence du rayon lumineux. Puisqu'à des prismes à grands angles, même à la plus petite variation de l'angle du rayon incident, la lumière est réfléchie par la seconde face réfringente, j'enduisis les deux faces des prismes, qui étaient opposées et se touchaient, d'un fluide fort réfringent, comme p. E. d'huile. Par ce moyen la lumière passait presque à tous les angles d'incidence. J'appliquai les deux prismes devant l'objectif de la lunette d'un théodolite répétiteur, en les posant sur un plan horizontal, ayant un axe en acier, autour duquel il tournait. La boîte dans laquelle l'axe tournait, était fortement liée avec la lunette (Fig. 1). Par ce procédé je fus à même de mesurer exactement sous quel angle incident la dispersion était détruite. Je regardai d'abord par la lunette, à travers les prismes, un objet éloigné, ayant ses bords verticaux et bien distincts; je changeai en suite l'angle des rayons incidents, en tournant le plan sur lequel les prismes étaient posés, et l'alidade du théodolite, jusqu'à ce que la dispersion me parût être la plus petite, ou plutôt jusqu'à ce que les bords verticaux de l'objet fussent au point le plus net. Pour mesurer l'angle d'incidence, j'avais mis encore une règle sur le plan tournant. Cette règle portait deux pointes en acier, qui touchaient exactement le premier plan des prismes. Sur la règle même était fixée une lunette un peu élevée, dont l'axe était parfaitement parallèle aux deux pointes d'acier (Fig. 2). Cette lunette n'est fixée sur la règle qu'aux deux bouts, de manière que, par l'interstice entre la lunette et la règle, la lumière peut librement tomber sur les prismes. Il était par conséquent facile, de mesurer aussi par le théodolite l'angle d'incidence. Connaissant celui-ci, l'exposant du rapport de réfraction et les angles des prismes, que l'on obtient exactement à l'aide de cette même règle du théodolite, alors le rapport de dispersion pouvait être déduit par une expression très-exacte.

Les observations, faites avec les deux mêmes prismes, s'accordent si bien ensemble, qu'à un objectif, calculé d'après ces données, on n'avait aucune aberration nuisible à craindre. Mais si l'on emploie, pour la recherche de dispersion relative, différentes paires de prismes, travaillés cependant de la même espèce de verre, et ayant leurs angles différents, les résultats du calcul des observations présentent des différences, qui pourraient causer une aberration nuisible aux objectifs d'une dimension considérable; ce résultat me conduisit aux essais suivants.

Si l'on regarde un objet à travers deux prismes de Flint- et Crown-glas à angles réfringents en sens opposé, sur-tout avec une lunette, à travers les prismes, il ne paraît jamais tout-à-fait sans couleurs. A un certain angle des rayons d'incidence, la dispersion est la plus petite; qu'on augmente ou qu'on diminue cet angle, elle augmente dans tous les cas. Ce qui reste encore de la dispersion, vient comme l'on sait, de ce que, pour les différentes couleurs prismatiques des deux espèces de verre, le rapport de dispersion n'est pas le même. Si p. E. au Crownglas la dispersion des rayons rouges est à celle des mêmes rayons du Flintglas, comme 10 : 19; les rayons violets peuvent être dispersés dans le rapport de 10 : 21. Par cette raison la dispersion ne peut être tout-à-fait compensée.

Il serait fort avantageux qu'à chaque espèce de verre, le pouvoir dispersif pût être déterminé séparement pour chaque couleur. Mais puisque les différentes couleurs du spectre ne présentent aucune précision, et ne sont pas distinctement séparées l'une de l'autre, ce spectre ne peut être appliqué à cette recherche, l'incertitude étant trop grande, pour que les expériences puissent promettre quelque avantage. On obtiendrait plus de précision, si l'on avait des verres ou des fluides colorés, par lesquels ne passerait que la lumière d'une même couleur, p. E. l'un ne faisant passer que la lumière bleue, l'autre que la rouge etc. . . . Je ne fus cependant pas assez heureux pour trouver du verre ou du fluide qui eût cette propriété. Dans tous ces objets la lumière blanche qui passait à travers, fut encore décomposée dans toutes les couleurs, avec la seule différence qu'au spectre la couleur dont le verre ou le fluide était teint, était aussi plus vive que les autres. Même les flammes colorées, qu'on obtient en allumant l'alcohol, le soufre etc., vues par un prisme, ne donnent pas une lumière homogène, répondant à leur couleur. Ces flammes cependant, celle d'une lampe, sourtout d'une chandelle, et en général la lumière, produite par la flamme du feu, montraient entre le rouge et le jaune du spectre, une raie ou ligne claire, bien prononcée, au même endroit dans tous les spectres. Cette raie dans la suite joue un grand rôle, et elle me fut d'une grande utilité. Elle paraît être formée par des rayons qui ne sont plus décomposés par le prisme, et qui, par conséquent, sont homogènes. Dans la couleur verte on aperçoit une raie pareille, mais qui n'est pas si distincte et qui est beaucoup plus faible; de sorte que souvent on ne la distingue que très-difficilement. Aussi ne peut-on se servir de cette raie.

Il m'était cependant absolument nécessaire d'avoir de la lumière homogène de chaque couleur, et voici de quels moyens je me servis: Derrière l'ouverture, large de 0,07 et haute de 1,5 pouces, d'un contrevent, je plaçai un prisme A (Fig. 3) de flintglas d'un angle d'environ 40°; à une distance de 13 pieds en BC, je mis six lampes, dont la lumière tombait par des ouvertures étroites sur le prisme A. La largeur de ces ouvertures était de 0,05, la hauteur à peu près de 1,5 et la distance d'une lampe à l'autre de 0,58 pouces. — La lumière des lampes qui venait tomber sur le prisme A en est réfractée, décomposée en couleurs et passe ensuite par l'ouver-

ture du contrevent. De la lampe C p. E. les rayons rouges vont dans la direction de E, les violets dans celle de D; de la lampe B les rayons rouges passent vers F, les violets vers G etc. A la fenêtre d'une autre maison, à une distance de 692 pieds de A, et à la même hauteur du plan $B\,A\,C$, je plaçai le théodolite dont j'ai parlé plus haut, devant la lunette duquel sur le plan horizontal, fut mis le prisme H, dont j'avais l'intention de chercher les exposants des rapports des réfractions pour les différents rayons colorés. Le prisme H ne pouvait recevoir de la lampe C que les rayons rouges; les autres, comme p. E. les violets, allant de côté à D ne tombaient pas sur le prisme. De même de la lampe B ce n'étaient que les rayons violets qui frappaient le prisme H etc. De cette manière, ce prisme recevait de chaque lampe des rayons d'une couleur séparée, partant tous d'un même point. Si le prisme H ou l'ouverture de l'objectif n'a pas trop de largeur, quelques rayons de six lampes comme p. E. ceux entre les violets et les bleus, entre les bleus et les verts etc. ne tomberont point sur le prisme H; ils manqueront par conséquent tout-à-fait. Dans ce cas le spectre des rayons, passant par la petite ouverture A, et vu par le prisme H et par la lunette du théodolite, se présente comme la Fig. 4; ici I est violet, K bleu, L vert etc. . . . et chaque couleur paraît par conséquent séparée et isolée. Les distances $O\,N$, $N\,M$ etc. . . . seront d'autant plus grandes, que le pouvoir dispersif du verre au même angle du prisme H est plus grand. Puisque ces distances et l'angle, formé par le rayon incident avec un rayon émergent, pourront être mesurés par le théodolite avec une grande exactitude, il est facile, au moyen de ce mécanisme, de déterminer le pouvoir réfringent de chaque rayon coloré pour toute espèce de substance réfringente. Audessus du prisme A, à une distance de 1,5 pied, je fis faire au contrevent une autre ouverture dans la même verticale avec A, derrière laquelle je plaçai une lampe, d'où le prisme H reçut aussitôt la lumière. Le spectre des rayons émanés de cette lampe, doit donc paraître par le prisme devant la lunette du théodolite, au-dessous des points colorés, comme $P\,R\,Q$. R représente la raie luisante et rougeâtre (orange) qui paraît dans tout spectre de la lumière du feu. Cette raie servait dans le cas présent à s'assurer qu'à différents jours d'observation, on tenait toujours la même couleur dans les points colorés; ce qui n'a pas lieu, si la table sur laquelle les lampes sont placées, subit le moindre changement par rapport au prisme A. On doit, par cette raison, placer la table de manière que le point N se trouve toujours au même vertical de R; dans le cas contraire, on peut l'y conduire par les vis de correction B et C. Puisque la distance des lampes, ou plutôt celle des petites ouvertures par lesquelles la lumière vient tomber sur le prisme A, est invariable, on est assuré qu'à différents jours d'observation on aura toujours la même couleur dans les points colorés.

Les distances de quelques-uns de ces points colorés, p. E. des violets, des bleus et des rouges, dont la lumière est faible, ne peuvent être mesurées sans éclairer le micromètre filaire de la lunette du théodolite. Ces points colorés perdent cependant, par l'éclairage ordinaire du champ, autant de lumière que les fils en reçoivent; cette espèce d'éclairage ne pouvait donc être employée. Il fallait un mécanisme par le

moyen duquel les fils seuls dussent être éclairés, tandis que le reste du champ restait obscur; je l'ai appliqué au micromètre de mon théodolite. L'éclairage des fils peut être modifié à volonté et à tout instant avec promptitude. Il se fait au côté de l'oculaire moyennant une petite lampe, enfermée dans un globe creux, d'où la lumière vient frapper une lentille, qui la porte parallélement aux fils. Au bord intérieur de l'oculaire, construit à ce dessein, le reste de lumière incidente est absorbé, sans qu'il tombe sur la lentille.

Avec cet appareil j'ai mésuré les angles de réfraction de divers rayons colorés pour plusieurs substances réfringentes, dont la Iere Table présente les résultats. A toutes les substances l'angle du rayon incident est égal à celui du rayon émergent N. Chaque angle fut répété quatre fois. Puisque la lumière, partant de A, ne tombe pas parallèlement sur le prisme H, ou plutôt, puisque le plan sur lequel le prisme H se trouve, n'est pas dans l'axe du théodolite, mais a son centre éloigné de cet axe de 4,25 pouces; il fallait appliquer une petite correction à l'angle, que le rayon incident fait avec le rayon émergent N. La distance de A à H étant de 692 pieds, la correction pour le prisme du Flintglas est de $+$ 31", pour celui du Crownglas de $+$ 40", pour l'eau de $+$ 40" etc. Les angles $L\,M$, $N\,M$ etc. n'ont pas besoin de cette correction.

Table I.

Substances réfringentes.	Température Thermomètre de Réaumur.	Pesanteur spécifique.	Angle du Prisme.	Angle que fait le rayon incident avec le rayon émergent N	ON	NM	NL	NK	NI
Crownglas Nr. 9	3 °	2,535	39° 20′ 35″	22° 38′ 20″	6′ 1″	5′ 46″	11′ 22″	16′ 56″	22′ 16″
Flintglas Nr. 13	5½°	3,723	26 24 30	17 27 9	7 17	7 15	14 18	21 31	28 46
Eau	8 °	1,000	58 5 40	22 36 41	6 35	6 19	12 9	17 45	23 18
Eau	9½°	1,000	58 5 40	22 36 43	6 30	6 12	12 5	17 43	23 10
Acide sulfurique	9½°	1,841	58 5 40	29 27 47	7 50	7 15	14 3	20 30	26 45
Alcohol	9 °	0,809	58 5 40	25 8 32	6 35	6 17	12 55	18 45	
Ether vitriolique	9 °		58 5 40	24 38 39	6 20	6 27	12 55	19 10	
Huile de térébenthine	7 °	0,855	58 5 40	33 22 8	11 00	11 35	22 45	34 20	
Kali dissous dans l'eau	8½°	1,416	58 5 40	27 45 54	8 32	7 58	15 35	23 6	30 24
1 partie Sucre de saturne 3 parties Eau	8½°		58 5 40	24 34 49	7 54	7 31	14 47	21 40	28 22
Huile de térébenthine.	8½°	0,885	58 5 40	33 20 8	11 5	11 32	22 45	33 56	44 50

Je présente dans le tableau suivant les exposants des rapports de réfraction des différents rayons colorés du Flintglas, Crownglas et eau, qui ont été calculés par les angles observés, en nommant On, l'exposant du rapport de réfraction du rayon O, Nn, celui du rayon N etc.

Substances réfringentes.	Exposants des rapports de réfraction.					
	On	Nn	Mn	Ln	Kn	Ln
Flintglas Nr. 13	1,63074	1,63505	1,63933	1,64349	1,64775	1,65203
Crownglas Nr. 9	1,52736	1,52959	1,53173	1,53380	1,53586	1,53783
Eau	1,33209	1,33359	1,33501	1,33635	1,33763	1,33888

De ces données il résulte le rapport de dispersion des différents rayons colorés pour ces substances réfringentes, comme le montre le tableau ci-dessous, dans lequel On', Nn' etc. sont les exposants des rapports de réfraction pour les substances d'une dispersion plus forte.

Substances réfringentes.	Nn' — On' / Nn — On	Mn' — Nn' / Mn — Nn	Ln' — Mn' / Ln — Mn	Kn' — Ln' / Kn — Ln	In' — Kn' / In — Kn
Flintglas Nr. 13 et Crownglas Nr. 9	1,93	2,00	2,01	2,07	2,17
Flintglas Nr. 13 et Eau	2,87	3,01	3,10	3,33	3,42
Crownglas Nr. 9 et Eau	1,49	1,51	1,55	1,61	1,58

Il est facile de voir par cet exposé les grandes anomalies du rapport de dispersion de différents rayons colorés pour quelques substances réfringentes.

Ces expériences m'ont conduit encore à faire quelques observations sur l'influence de la chaleur envers la réfraction des fluides. Au moindre changement de la température, la réfraction de tous les fluides devient plus forte dans la partie inférieure du vaisseau prismatique, qu'elle ne l'est dans la partie supérieure; sous ce rapport tout le fluide acquiert une espèce d'ondulation, qui empêche qu'on ne distingue nettement

les points colorés du spectre. En faisant ces expériences dans la nuit, où la température change continuellement, je fus obligé de remuer fortement le fluide toutes les cinq à dix minutes, pour le rendre homogène. Ces differences ne sont pas considérables pour l'eau; mais pour les autres fluides, elles sont si fortes que tout le spectre se disperse et se brouille, même si l'on ferme le vaisseau de toute manière ou si l'on en a ôté tout l'air. Il résulte de là qu'on ne doit plus espérer d'obtenir de bons objectifs, construits aves des fluides de différente dispersion, au lieu du flintglas. On voit en outre par ces expériences, combien sous ce rapport il est difficile de fondre du Flint- et du Crownglas d'une homogénéité parfaite, puisque, dans chaque four de verrerie, la chaleur de la partie supérieure du creuset est presque d'un tiers plus forte, que celle de la partie inférieure.

Pour obtenir les exposants des rapports de réfraction des différents rayons colorés avec plus d'exactitude, et pour savoir si l'action, que les substances réfringentes exercent sur la lumière du soleil, est la même que sur la lumière artificielle, j'essayai de construire un appareil qui me rendît les mêmes services pour la lumière du soleil, que celui dont j'ai donné plus haut la description pour la lumière du feu. Cependant cet appareil ne me fut bientôt plus d'aucun service.

Dans une chambre obscure et par une ouverture étroite et verticale du contrevent, d'une largeur d'environ 15 secondes et d'une hauteur de 36 minutes, je fis tomber des rayons du soleil sur un prisme de flintglas, placé sur le théodolite. Cet instrument était à une distance du contrevent de 24 pieds et l'angle du prisme à peu près de 60°. Le prisme était placé devant l'objectif de la lunette du théodolite, de manière que l'angle du rayon incident était égal à l'angle du rayon émergent. En cherchant s'il se trouverait dans le spectre de la lumière du soleil une raie luisante, telle que dans le spectre, formé par la lumière d'une lampe, je découvris, au lieu de cette raie, une infinité de raies ou lignes verticales de différente épaisseur. Ces raies sont plus foncées que le reste du spectre, quelquesunes d'entre elles paraissent même toutes noires. Quand le prisme était tourné de manière que l'angle d'incidence devenait plus grand, ces raies disparaissaient. Cela avait également lieu, si l'on faisait cet angle plus petit. Si la lunette était considérablement raccourcie, ces raies reparaissaient à un plus grand angle d'incidence. A un angle d'incidence plus petit, l'oculaire devait être fort allongé, pour qu'on aperçût ces raies. — Si l'oculaire était mis au point qu'on voyait distinctement les raies dans le rouge du spectre, il fallait un peu l'enfoncer pour voir les raies dans le violet. Si l'on élargissait l'ouverture par laquelle les rayons entraient, les raies les plus fines n'étaient plus bien visibles, et elles disparaissaient entièrement, dès que la largeur de cette ouverture allait environ au-delà de 40 secondes. Si elle allait au-delà d'une minute, les raies les plus larges n'étaient aperçues qu'avec peine. Les distances de ces raies ou leur rapport respectif n'éprouvait aucun changement ni par celui de l'ouverture du contrevent, ni par l'éloignement du théodolite de cette ouverture. La substance réfringente dont on faisait le prisme et la grandeur de son angle n'empêchaient pas de distinguer toujours ces raies; elles devenaient seulement

plus fortes ou plus faibles, et étaient par conséquent plus ou moins à distinguer en raison de la grandeur du spectre. — Le rapport même de ces raies entre elles paraissait être le même pour toutes les substances réfringentes, de sorte que p. E. la même raie ne se trouve qu'au bleu, une autre qu'au rouge etc. d'où l'on peut aisément connaître celle qu'on observe. Les spectres formés par les faisceaux ordinaires et extraordinaires du Spath d'Islande représentent les mêmes raies. Les raies les plus fortes ne terminent pas les différentes couleurs du spectre; car la même couleur se trouve presque toujours aux deux côtés d'une raie, et le passage d'une couleur à l'autre est à peine sensible.

La fig. 5 présente le spectre avec ces raies, telles qu'on les voit. Il était cependant impossible d'exprimer dans cette grandeur toutes les raies et la modification de leur grandeur. En *A* se termine à peu près le rouge, en *I* le violet du spectre; d'aucun côté on ne peut cependant prononcer avec sûreté les limites, qui se montrent plus distinctement au rouge qu'au violet. Sie la lumière d'un nuage éclairé tombe par l'ouverture étroite du contrevent sur le prisme, le spectre paraît être limité d'un côté entre *G* et *H* et de l'autre en *B*. Cependant la lumière du soleil d'une très-grande intensité, réfléchie par un héliostate, allonge le spectre de presque la moitié. Mais pour observer cette grande extension, la lumière entre *C* et *G* ne doit pas frapper l'oeil, parceque l'impression de la lumière, sortant des bords du spectre, est trop faible pour l'oeil et qu'elle est anéantie par la lumière du milieu du spectre. En *A* on reconnaît distinctement une raie bien terminée; ce n'est cependant pas là la limite du rouge, qui s'étend encore au-delà. En *a* se trouve un amas de lignes, formant ensemble une bande, plus foncée que la partie voisine. *B* est bien distincte et d'une épaisseur assez considérable. De *B* à *C* on compte 9 raies très-déliées et bien terminées. La raie *C* est fort épaisse et noir comme *B*. Entre *C* et *D* se trouvent à peu près 30 raies très-fines, qui cependant, si l'on en excepte deux, ne peuvent être aperçues qu'avec un fort grossissement ou avec des prismes d'une grande dispersion; elles sont au reste bien terminées. Ce même cas a lieu avec les raies entre *B* et *C*. *D* est formée par deux fortes raies, séparées par une ligne claire. Entre *D* et *E* on rencontre environ 84 raies de différentes grosseurs, *E* consiste en plusieurs raies, dont celle du milieu est la plus forte. De *E* à *b* sont à peu près 24 raies. A *b* on en trouve trois très-fortes, dont deux sont séparées par une raie fine et claire; elles sont du nombre des plus fortes du spectre. L'espace *b F* renferme à peu près 52 raies; *F* est très-grosse. Entre *F* et *G* on compte environ 185 raies de différentes dimensions. En *G* sont amassées beaucoup de raies, dont plusieurs sont remarquables par leur grosseur. De *G* à *H* se trouvent près de 190 raies différentes. Les deux bandes en *H* sont d'une singulière nature, elles sont toutes deux presque égales et formées de plusieurs lignes, dans le milieu desquelles il s'en trouve une forte, extrêmement foncée. De *H* à *I* elles sont également en grand nombre. Il suit de ce que je viens de dire du nombre de ces lignes, que l'espace *B H* en renferme environ 574, dont la figure représente les plus fortes. Les distances respectives des raies les plus fortes furent mesurées avec le théodolite et portées sur le dessin d'après les observations. Seulement

les raies faibles et d'une moindre conséquence y furent mises d'après la simple vue et sans mesure immédiate.

Beaucoup d'expériences et de changements, auxquels j'ai soumis ces raies, m'ont convaincu qu'elles ont leur cause dans la nature de la lumière du soleil, et que ce n'est ni à l'illusion, ni à l'aberration, ni à toute autre chose, qu'il faut les attribuer. En faisant entrer la lumière d'une lampe par la même ouverture étroite, on ne trouve de toutes ces raies que celle qui se distingue par sa clarté, c. à d. *R* fig. 4. Elle est cependant exactement à la même place que la ligne *D* fig. 5, de sorte que l'exposant du rapport de réfraction du rayon *D* est aussi celui du rayon *R*, et que, par conséquent, ils sont égaux. Il est aisé de comprendre pourquoi les raies ne sont plus clairement prononcées ou pourquoi elles disparaissent, si l'ouverture du contrevent devient trop large. Les raies les plus grosses occupent à peu près un espace de 5 à 10 secondes. Si l'ouverture du contrevent n'est pas telle que la lumière, qui la traverse, ne puisse, pour ainsi dire, être regardée comme un rayon seul, ou si l'angle de la largeur de l'ouverture est plus grand que celui de la largeur de la raie, alors l'image de la même raie se projette plusieurs fois l'une à côté de l'autre, elle devient par conséquent peu distincte et disparaît entièrement à une trop grande largeur de l'ouverture. La raison de ce qu'en tournant les prismes, on ne voit pas les lignes ou raies, à moins qu'on ne raccourcisse ou qu'on n'allonge la lunette, s'explique par ce qui suit.

L'émersion des rayons, par rapport à la divergence, se fait comme l'immersion dans le seul cas où les rayons frappent le prisme de manière que l'angle du rayon incident est égal à l'angle émergent. Si le premier angle est plus grand, les rayons, après la réfraction, s'écartent d'un point plus éloigné; s'il est plus petit, ils s'écartent d'un point plus près. La raison en est que le chemin des rayons qui passent plus près de la pointe du prisme, est plus court que celui de ceux qui passent à une plus grande distance de la pointe. Par là les angles des rayons réfractés ne sont point changés, mais les côtés du triangle pour les rayons émergents doivent être, dans un cas plus grands, dans l'autre, plus petits. Cette différence doit s'évanouir si les rayons tombent parallèlement sur le prisme, ce qui d'ailleurs est aussi prouvé par l'expérience. Comme les rayons violets ont par l'objectif, quoique achromatique, de la lunette, une distance focale un peu plus courte, que les rouges, on voit clairement pourquoi l'on doit déplacer l'oculaire, afin d'apercevoir dans les différentes couleurs les lignes bien distinctes.

Les lignes et les raies du spectre sont d'une largeur bien petite; il faut donc que l'appareil ait une grande perfection pour éviter toute aberration, par laquelle les lignes pourraient être rendues indistinctes et être même dispersées. Les côtés des prismes doivent par conséquent être parfaitement plans, le verre dont ces prismes sont construits, ne doit avoir ni raies ni filandres. Avec le Flintglas anglais, qui n'est jamais entièrement dépourvu de ces filandres, on ne verrait donc que les lignes les

plus grosses. Le verre commun, de même que le Crownglas anglais, contient beaucoup de filandres, quoiqu'elles ne soient pas toujours visibles à la vue. Celui qui ne peut se procurer un prisme de Flintglas parfait, fera mieux de se servir d'un fluide d'une grande dispersion, p. E. de l'huile d'anis, pour voir toutes les raies. Dans ce cas le vaisseau prismatique doit avoir ses côtés parfaitement plans et parallèles. En général les côtés de tous les prismes doivent former un angle de 90° avec leur base; cette base doit être placée horizontalement devant la lunette, si l'axe de la lunette est horizontal; l'ouverture étroite par laquelle la lumière passe, doit être exactement verticale etc. La raison pour laquelle les raies deviennent indistinctes, si une des conditions ci-dessus est négligée, est aisée à comprendre.

Comme les raies du spectre se montrent par toute substance réfringente d'une densité homogène, je m'en suis servi pour déterminer le rapport de réfraction d'une substance pour chaque rayon coloré. Cela pouvait s'effectuer avec une exactitude d'autant plus grande, que la plupart des raies sont très-bien coupées et distinctes. Pour mes expériences, je fis choix des plus grosses raies, parceque dans des substances d'une faible réfraction, ou avec des prismes à angles petits, les raies d'une moindre grosseur peuvent à peine s'apercevoir, même avec de forts grossissements. Ce furent les lignes B, C, D, E, F, G et H, que je choisis. Je ne fis pas usage de la ligne b; elle est trop près de F et je tâchai de tenir le milieu entre D et F. On ne peut mesurer de grands arcs, tel que BH, mais seulement les petits, comme BC, CD etc. parce que, pour voir distinctement les raies de différentes couleurs l'oculaire doit être déplacé. Le II Tableau présente les angles mesurés qui appartiennent à différentes espèces de verre et à d'autres substances réfringentes.

Table II.

Substances réfringentes.	Température Thermomètre de Réaumur.	Pesanteur spécifique.	Angle du Prisme.	Angle, que fait le rayon incident avec le rayon émergent D μ	BC	CD	DE	EF	FG	GH
Flintglas Nr. 13	15°	3,723	26° 24′ 30″	17° 27′ 8″	3′ 16″	9′ 4,2″	11′ 50″	10′ 33,9″	0° 20′ 23,9″	0° 18′ 18″
Crownglas Nr. 9	14°	2,535	39 20 35	22 38 19	2 44,5	7 23,5	9 14	8 14	15 10	13 18
Eau	15°	1,000	58 5 40	22 36 40	3 24	8 10	9 58	8 38	15 16	12 41,9
Eau	15°	1,000	58 5 40	22 36 40	3 12,4	8 10,6	9 57,5	8 30,5	15 15,6	12 46,2
Kali dissous dans l'eau	9°	1,416	58 5 40	27 45 56	4 2	10 26	12 54	11 12	20 36	17 24
Huile de térébenthine	$8\frac{1}{2}$°	0,885	58 5 40	33 20 12	4 56	13 52	18 46,1	16 14	31 8	27 28
Flintglas Nr. 3		3,512	27 41 35	17 35 16,6	3 8	8 22	10 46	9 50	19 10	17 10
Flintglas Nr. 30		3,695	21 42 15	14 3 9	2 35,6	6 56,8	9 12,6	8 19	16 15,6	14 32,2
Crownglas Nr. 13		2,535	43 27 36	25 26 35,4	3 5	8 14,4	10 28,2	9 10	17 14,8	14 48,4
Crownglas Lit. M.		2,756	42 56 40	26 39 13	3 32,8	9 37,6	12 29,8	11 1,6	20 53,6	18 17,4
Flintglas Nr. 23		3,724	60 15 42	49 55 13,2	11 12,6	31 14,8	41 21,4	38 14,8	1 14 45,2	1 8 3,6
Flintglas Nr. 23		3,724	45 23 14	32 45 12,2	6 26	17 47,8	23 31,8	21 23,8	41 33,4	37 28,8

Pour la mesure des angles, je me servis du même théodolite dont j'ai parlé plus haut; ils furent tous multipliés six fois. La distance du théodolite au contrevent de la chambre obscure, par lequel la lumière passait, n'étant que de 24 pieds, la correction de l'angle μ, provenant de la distance de 4,25 pouces du prisme à l'axe du théodolite, aurait dû être trés-considérable. Pour éviter l'incertitude qui résulte d'une grande correction, je déterminai cet angle μ pour la lumière d'une lampe, parce que, d'après ce qui est dit plus haut, les rayons D et R (fig. 4) ont la même réfrangibilité. Dans ce cas, la lampe se trouvait à une distance de 692 pieds; la correction de μ devenait donc petite; au prisme, avec lequel j'ai fait les expériences, elle n'était pour l'eau p. E. que de 40,5 secondes. Je ne mesurai donc dans la chambre obscure que les arcs $B\,C$, $C\,D$, $D\,E$ etc. . . . les corrections sont petites et par conséquent très-exactes. Au prisme de l'eau p. E. elles ne montaient pour $B\,C$ qu'à 2,5, pour $C\,D$ qu'à 6,5, pour $D\,E$ qu'a 8 secondes. Tous les angles du II Tableau sont affectés de cette correction.

En nommant σ l'angle du rayon incident, ϱ l'angle du rayon émergent, ψ l'angle du prisme et n l'exposant du rapport de réfraction, on obtient le dernier par l'expression

$$n = \frac{\sqrt{[(\sin.\varrho + \cos.\psi.\sin.\sigma)^2 + (\sin.\psi.\sin.\sigma)^2]}}{\sin\psi}\ *)$$

Si l'angle du rayon incident est égal à celui du rayon émergent, on aura, en nommant μ l'angle que le rayon incident forme avec le rayon émergent,

$$n = \frac{\sin.\frac{1}{2}(\mu+\psi)}{\sin\frac{1}{2}\psi}.$$

Cette dernière expression de n ne serait pas de toute rigueur à des substances d'une grande dispersion pour un rayon émergent, dont l'angle n'est pas égal à celui du rayon incident, car ce dernier ne peut l'être qu'à un seul des rayons émergents, p. E. à D, sans l'être aussi pour un autre p. E. pour H, dans la supposition toutefois que le prisme ne change point de place. — Pour faire usage de cette dernière expression au calcul des exposants avec toute exactitude, je ne mesurai les arcs $B\,C$, $C\,D$, $D\,E$ etc. que quand la distance des deux lignes était la plus petite. Mais cette distance convient seulement à deux lignes du spectre, si un rayon, au milieu d'elles, fait le plus petit angle avec le rayon incident. Quand je mesurais p. E. l'arc $G\,H$, la place du prisme était telle, qu'un rayon, à peu près au milieu entre G et H, faisait

*) En dessinant la route de la lumière, passant par un prisme, on trouvera aisément l'origine de cette formule, qui d'ailleurs est rigoureuse.

avec le prisme le même angle que faisait le rayon incident avec le prisme. Celui-ci acquiert cette position, si l'angle de réfraction de ce rayon moyen est le plus petit. A l'aide de la lunette et en tournant le plan où le prisme est placé, on peut trouver aisément cette position avec une très-grande exactitude. A des substances d'une dispersion moindre, ou à des prismes à angle petit, on n'a pas besoin de tant de soins pour obtenir l'exactitude requise.

En nommant En l'exposant du rapport de réfraction pour le rayon E, on a

$$En = \frac{\text{sin. } \frac{1}{2} (\mu + \psi + DE)}{\text{sin. } \frac{1}{2} \psi}$$

pour le rayon F

$$Fn = \frac{\text{sin. } \frac{1}{2} (\mu + \psi + DE + EF)}{\text{sin. } \frac{1}{2} \psi}$$

ce qui est assez exact.

La III Table contient les exposants des rapports de réfraction pour les différents rayons colorés de chaque substance réfringente, tels qu'ils résultent du calcul de la II Table.

Table III.

Substances réfringentes.	Bn	Cn	Dn	En	Fn	Gn	Hn
Flintglas Nr. 13	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas Nr. 9	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Eau	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Eau	1,330977	1,331709	1,333577	1,335849	1,337788	1,341261	1,344162
Kali	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Huile de térébenthine	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas Nr. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas Nr. 30	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas Nr. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684
Crownglas Lit. M.	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas Nr. 23 Prisme de 60°	1,626596	1,628469	1,633667	1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
Flintglas Nr. 23 Prisme de 45°	1,626564	1,628451	1,633666	1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

La IV Table renferme les rapports de la différente dispersion des différents rayons colorés dans plusieurs paires de substances réfringentes, comme ils résultent de la III Table. A chaque paire la dispersion de la substance d'un moindre pouvoir dispersif est nommée 1.

Table IV.

Substances réfringentes.	$\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$	$\frac{Dn' - Cn'}{Dn - Cn}$	$\frac{En' - Dn'}{En - Dn}$	$\frac{Fn' - En'}{Fn - En}$	$\frac{Gn' - Fn'}{Gn - Fn}$	$\frac{Hn' - Gn'}{Hn - Gn}$
Flintglas Nr. 13 et Eau	2,562	2,871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flintglas Nr. 13 et Crownglas Nr. 9	1,900	1,956	2,044	2,047	2,145	2,195
Crownglas Nr. 9 et Eau	1,349	1,468	1,503	1,560	1,613	1,697
Huile de Térébenthine et Eau	1,371	1,557	1,723	1,732	1,860	1,963
Flintglas Nr. 13 et Huile de Térébenthine	1,868	1,844	1,783	1,843	1,861	1,899
Flintglas Nr. 13 et Kali	2,181	2,388	2,472	2,545	2,674	2,844
Kali et Eau	1,175	1,228	1,243	1,254	1,294	1,310
Huile de Térébenthine et Kali	1,167	1,268	1,386	1,381	1,437	1,498
Flintglas Nr. 3 et Crownglas Nr. 9	1,729	1,714	1,767	1,808	1,914	1,956
Crownglas Nr. 13 et Eau	1,309	1,436	1,492	1,518	1,604	1,651
Crowngl. Lit. M. et Eau	1,537	1,682	1,794	1,839	1,956	2,052
Crownglas Lit. M. et Crownglas Nr. 13	1,174	1,171	1,202	1,211	1,220	1,243
Flintglas Nr. 13 et Crownglas Lit. M.	1,667	1,704	1,715	1,737	1,770	1,816
Flintglas Nr. 3 et Crownglas Lit. M.	1,517	1,494	1,482	1,534	1,579	1,618
Flintglas Nr. 30 et Crownglas Nr. 13	1,932	1,904	1,997	2,061	2,143	2,233
Flintglas Nr. 23 et Crownglas Nr. 13	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

Ce tableau fait voir la différence de la dispersion relative des différents rayons colorés pour quelques paires de matières réfringentes; p. E. pour Flintglas Nr. 13 et Eau, le rapport de la dispersion des rayons de l'espace $B\,C$ est comme 1 : 2,56, de l'espace $G\,H$, comme 1 : 3,73. Ces différences cependant sont, dans quelques substances, très petites, p. E. à Flintglas et huile de térébenthine. On peut donc espérer avec quelque confiance, qu'en variant les matières composantes, on pourrait obtenir une espèce de verre, dans lequel ces différences seront plus petites, qu'à celui que, jusqu'à nos jours, on a employé pour les objectifs. Crownglas Lit. M. est p. E. d'une telle composition, dont je fis un essai en petit sous ce point de vue.

En nommant 1 l'aberration d'un objectif de Crownglas Nr. 9 et de Flintglas Nr. 3 produite par la différence de la dispersion rélative des différentes couleurs, cette aberration devient environ 0,57 pour un objectif d'un même foyer et composé de Crownglas Nr. 9 et de Flintglas Nr. 13; elle sera 0,52 à un objectif de Crownglas Lit. M. et de Flintglas Nr. 13, et enfin 1,74 à un de Crownglas Nr. 9 et de Crownglas Lit. M. En calculant ces aberrations, j'eus égard à l'intensité relative des différents rayons colorés, de laquelle je parlerai d'abord.

Les resultats que donnent les deux prismes de Flintglas Nr. 23, fournissent les preuves, jusqu'à quel point on peut se fier aux angles mesurés. Au prisme de 45°, fait de ce verre, un changement d'un arc de 2 secondes change de 1 la cinquième décimale de l'exposant du rapport de réfraction; à un prisme de 60° il faut 3″,5 pour obtenir le même changement.

Puisque, si dans des objectifs achromatiques, l'aberration, produite par la réfrangibilité inégale des différents rayons colorés, doit être détruite, la longueur du foyer des lentilles de Flint- et Crownglas doit être à peu près en raison de la dispersion des deux espèces de verre, et puisqu'au contraire le rapport de la dispersion pour les différentes couleurs n'est pas le même, il est clair qu'il resterait encore quelque aberration; et il faut alors chercher le rapport, afin que cette aberration soit un minimum pour la distinction nette des objets. Cela ne peut pas avoir lieu, si la différence entre les distances focales pour les rayons de différente réfrangibilité dans l'objectif même, est la plus petite, car les différentes couleurs n'ont pas la même intensité; l'aberration des rayons jaunes p. E. qui sont d'une grande clarté, feraient en raison de leur intensité un plus mauvais effet que les violets, si l'aberration pour ceux-ci est de la même grandeur. Il s'ensuit qu'il faut connaître l'intensité de chaque couleur du spectre, ou qu'il faut savoir en quelle raison l'impression, produite par l'une ou l'autre des couleurs du spectre sur l'oeil, est plus forte ou plus faible que celle d'une autre couleur. Je construisis l'appareil suivant pour mesurer cette intensité.

A un oculaire, construit à cet effet pour la lunette du théodolite, j'appliquai un petit miroir plan de métal, dont le bord bien taillé coupait le champ de la lunette au milieu (fig. 7 et 8). Il fut placé devant la lentille oculaire sous un angle de 45°

à l'endroit, où vient tomber l'image, formée par l'objectif. L'oculaire est tiré de manière qu'on voit distinctement son bord, qui doit être vertical. A côté de l'oculaire, et dans une direction perpendiculaire au bord du miroir, et à l'axe de la lunette, je fixai un tuyau, coupé dans sa longueur; dans cette entaille on pouvait passer un tuyau plus étroit et court, qui traverse le plus gros tuyau dans la verticale. Dans ce tuyau étroit se trouvait une petite flamme dans l'axe du gros tuyau, qui était nourrie par un vaisseau extérieur, rempli d'huile. Le tuyau vertical étroit b a dans l'axe du gros tuyau une petite ouverture ronde, tournée vers le miroir, par laquelle la lumière de la flamme va frapper celui-ci. Par ce moyen on aperçoit dans la moitié du champ le miroir éclairé par la flamme, tandis que dans l'autre moitié on voit une des couleurs du spectre, formée par un prisme, qu'on a mis devant l'objectif. Plus on approche le tuyau b du miroir, plus fort il sera éclairé. On est par conséquent à même d'obtenir l'impression produite sur l'oeil par la lumière du miroir, vue par l'oculaire, de la même force, que celle qui est produite par une couleur du spectre dans l'autre moitié du champ. Les carrés des distances de la flamme au miroir pour les différentes couleurs du spectre sont alors, en raison inverse, les rapports de leur intensité. Quoique au premier abord il paraisse difficile de comparer la lumière de deux couleurs différentes, pourtant quelque usage et un peu d'habitude le faciliteront beaucoup. L'intensité de la lumière du miroir se rapproche le plus de celle d'une couleur du spectre, si, à la même position de l'oculaire, son bord vertical est le moins distinct. Rencontre-t-on avec le miroir un endroit plus ou moins éclairé du spectre, le bord du miroir devient alors, dans les deux cas, plus net et plus distinct; parceque, dans le premier cas, le miroir paraît être placé dans l'ombre, et, dans le second cas, c'est la couleur du spectre, qui s'y trouve. L'essai par le moyen du miroir est un peu difficile et incertain, si l'on distingue clairement les raies et les lignes du spectre, parce que les raies les plus claires et les plus obscures se touchent presque à chaque couleur. Par cette raison l'ouverture du contrevent reçut une largeur telle que seulement les plus fortes raies furent à peu près visibles, et par conséquent les plus fines pas du tout. A la place du miroir hors du contrevent, par lequel la lumière entrait, j'avais mis un plan blanc éclairé par le soleil, parce que, par une imperfection du miroir, la lumière est dispersée irrégulièrement, ce qui rend les observations plus douteuses.

Pour mettre quelque changement dans les essais, j'agrandis une fois l'ouverture ronde devant la flamme, d'autres fois je la rétrécis. Je plaçai aussi au bout du gros tuyau en c un verre dépoli, par lequel le miroir recevait la lumière. Dans ce cas je mesurai les distances de la flamme au verre dépoli. Pour éviter toute illusion, l'ouverture devant l'oculaire doit être petite et se trouver à l'endroit où les rayons principaux, c. à d. les axes des rayons, venant du bord du champ, coupent l'axe de la lunette. J'obtins les résultats suivants avec le prisme de flintglas Nr. 13 ayant un angle de $26^{0}\ 24',5$. Quoique les essais fussent faits par un temps très-clair et à midi, j'aperçus dans le cours des observations quelquefois un léger changement dans la densité de la lumière, que le prisme recevait. Les différences dans ces quatre essais peuvent

en partie avoir pour cause ce changement; aussi la flamme peut, pendant l'intervalle des observations, avoir changé son intensité. La multiplication des observations de ce genre pourra seule compenser ou diminuer l'influence nuisible de ces changements. Si l'on nomme 1 l'intensité de la lumière à l'endroit le plus clair, elle est alors

1er Essai	2e Essai
en B = 0,010	en B = 0,044
— C = 0,048	— C = 0,096
— D = 0,61	— D = 0,59
entre D et E = 1,00	entre D et E = 1,00
— E = 0,44	— E = 0,38
— F = 0,084	— F = 0,14
— G = 0,010	— G = 0,029
— H = 0,0011	— H = 0,0072

3me Essai	4me Essai
en B = 0,053	en B = 0,020
— C = 0,15	— C = 0,084
— D = 0,72	— D = 0,62
entre D et E = 1,00	entre D et E = 1,00
— E = 0,61	— E = 0,49
— F = 0,25	— F = 0,19
— G = 0,053	— G = 0,032
— H = 0,0090	— H = 0,0050

Milieu des quatre Essais

en B = 0,032
— C = 0,094
— D = 0,64
entre D et E = 1,00
— E = 0,48
— F = 0,17
— G = 0,031
— H = 0,0056

L'endroit le plus clair se trouve à peu près à un tiers ou à un quart de *D* à *E*. On ne peut le déterminer plus exactement, ce qui n'est pas non plus ici d'une nécessité absolue.

La courbe fig. 6 représente l'intensité de la lumière des différentes couleurs. Les valeurs trouvées ci-dessus sont les ordonnées et les arcs mesurés BC, CD etc. pour Flintglas Nr. 13, Table II, les abscisses. Le rapport des ordonnées aux abscisses est indifférent et dépend de la volonté. On peut supposer que la quantité de la lumière dans les différents espaces est représentée par les aires de la courbe BC, CD, etc. Si l'on nomme cette quantité 1 pour l'aire DE, elle sera pour

$$\begin{aligned} \text{l'aire BC} &= 0{,}021 \\ \text{—} \quad \text{CD} &= 0{,}299 \\ \text{—} \quad \text{DE} &= 1{,}000 \\ \text{—} \quad \text{EF} &= 0{,}328 \\ \text{—} \quad \text{FG} &= 0{,}185 \\ \text{—} \quad \text{GH} &= 0{,}035 \end{aligned}$$

Dans la supposition qu'à un objectif achromatique l'aberration des rayons de la plus grande intensité soit plus nuisible à la vue distincte en raison de leur intensité que l'aberration des rayons d'une moindre intensité, la netteté sera la plus grande, si le rapport de la dispersion, que l'on peut mettre égal à 1 : x, est pris tel, que

$$x = \frac{b\beta + c\gamma + d\delta + e\varepsilon + f\xi + g\eta}{\beta + \gamma + \delta + \varepsilon + \xi + \eta}\ *)$$

où β, γ, δ etc. expriment la quantité de la lumière dans les espaces BC, CD, DE etc. et b, c, d etc. les quotients $\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$, $\frac{Dn' - Bn'}{Dn - Bn}$ etc. . . . ce rapport est par conséquent pour Flintglas Nr. 30 et pour Crownglas Nr. 13 égal à 1 : 2,012. Cependant j'ai trouvé qu'aux objectifs de ces deux espèces de verre la netteté est la plus grande, si l'on prend ce rapport égal à 1 : 1,98. Cela prouve que si la netteté doit être la plus grande, l'aberration pour les rayons d'une moindre densité doit être plus grande qu'elle ne l'est, en raison inverse de l'intensité.

Ayant plusieurs objectifs d'une même ouverture et même longueur du foyer, construits des mêmes espèces de verre, on reconnaît, pour lequel d'entre eux l'aberration, produite par la réfrangibilité inégale, est le mieux compensée, si l'on couvre chacun d'eux à moitié, en coupant le centre de l'objectif en ligne droite. A ceux alors où les lignes ou bords d'un objet éloigné, parallèles à l'intersection de l'objectif, paraissent le plus distinctes, l'aberration est le mieux compensée. En faisant cet essai, on ne doit regarder que la netteté de l'objet, et ne pas se laisser tromper par les

---

*) Dans ce cas on a

$$(x-b)\beta + (x-c)\gamma + (x-d)\delta + (x-e)\varepsilon + (x-f)\xi + (x-g)\eta = 0.$$

couleurs que l'on aperçoit, parce qu'un objectif peut présenter moins de couleurs qu'un autre, tandis que la netteté est moindre. Cette méthode détaillée pour trouver le meilleur rapport de la dispersion ne servit que pour savoir de combien l'aberration des rayons d'une moindre densité doit être plus grande que celle des rayons d'une plus grande densité. Ce résultat approchera encore d'une plus grande exactitude, s'il est obtenu par des essais faits avec des objectifs plus grands, dont l'ouverture sera en raison de la longueur du foyer la plus grande que possible. C'est pour un autre temps, que je me réserve ces observations. Au reste, il n'est pas nécessaire de dire qu'à tous les objectifs employés pour ces essais, l'aberration de sphéricité fut entièrement compensée. Il y a encore une autre aberration, qui s'opère dans l'oeil même, à laquelle on doit avoir égard, si l'on veut trouver le meilleur rapport de la dispersion colorique, et c'est celle dont je vais parler maintenant.

En mettant la couleur rouge du spectre au milieu du champ de la lunette du théodolite, et en plaçant l'oculaire de manière à bien distinguer le fil très-fin du micromètre, on ne verra plus ce fil, dès qu'on fait entrer le violet dans le champ, supposé l'oculaire toujours à la même place. Pour revoir le fil dans cette couleur, il faut de beaucoup rapprocher l'oculaire du fil, c. à d. de plus que du double de l'aberration produite par la réfrangibilité inégale de deux espèces de rayons dans la lentille de l'oculaire. Cela prouve que les différents rayons colorés dans l'oeil n'ont point la même distance focale, et que l'oeil n'est point achromatique. La distance, de laquelle l'oculaire aux différentes couleurs doit être déplacé, pour voir distinctement le fil, sert pour le calcul de cette aberration dans l'oeil, laquelle n'est point petite, mais il faut avoir égard à l'aberration du même genre produite par la lentille de l'oculaire. Il n'est pas nécessaire de rappeler que dans une observation sur ce sujet, aucune autre lumière que celle du spectre ne doit entrer dans le champ de la lunette, et qu'également le fil ne doit point recevoir une lumière étrangère. J'ai trouvé avec une lentille de Crownglas Nr. 13 d'un foyer de 0,88 pouce de Paris, que l'oculaire, en passant le fil du rayon *C* à *G*, doit être déplacé de 0,054 pouce, pour distinguer le fil avec la même netteté aux deux couleurs. Une lentille de Crownglas Nr. 13 d'un foyer de 1,33 pouces doit pour les mêmes couleurs être déplacée de 0,111, pour produire le même effet; une lentille du Flintglas Nr. 30 de 0,867 foyer exige dans le même cas un déplacement de 0,074, et une de Flintglas Nr. 30 de 1,338 foyer un de 0,148 pouce. Tandis que dans ces essais, je regardais d'un oeil le fil par la lentille, je visai avec l'autre un objet invariable, placé dans l'axe de cet oeil, afin d'être assuré qu'aux différents rayons colorés l'oeil était toujours également susceptible de réunir sur la rétine des rayons blancs d'une divergence déterminée; et que, par conséquent, sous ce rapport il ne changeait point à des couleurs différentes. Même sans cette précaution les résultats ne différaient guère des précédents. La première lentille donne pour résultat, que, si les rayons rouges tombent parallèlement sur l'oeil, les rayons bleus doivent s'écarter d'un point, éloigné de 23,7 pouces, pour avoir dans l'oeil la même distance focale. Cet éloignement sera pour la seconde lentille 2,13, pour la troisième 19,5, pour la quatrième

17,9 pouces. Dans ce calcul j'ai eu égard à l'influence produite sur ce déplacement par la réfrangibilité inégale de deux espèces de rayons dans la lentille. Cette aberration dans l'oeil ne pourra être fixée et déterminée plus rigoureusement, que par des essais variés et réitérés. Il serait à désirer que ces observations fussent répétées par les yeux de différentes personnes, pour qu'on pût prendre un milieu, au cas qu'l y ait des différences. Afin de déterminer cette aberration encore avec plus de précision, il faut avoir aussi égard au diamètre du cylindre lumineux, formé par les rayons qui de l'oculaire vont dans l'oeil. Le diamètre de ce cylindre est différent et dépend de l'ouverture de l'objectif et du foyer des lentilles de l'oculaire. On conçoit aisément que cette aberration est d'autant plus grande que le diamètre de ce cylindre l'est aussi. Il résulte encore qu'il vaut la peine pour le calcul des objectifs achromatiques, d'avoir attention à cette aberration dans l'oeil et de la faire évanouir par les objectifs.

Si, dans le calcul des objectifs achromatiques à cause de l'aberration de sphéricité des faces, on veut entièrement faire disparaître cette aberration, les exposants supposés du rapport de réfraction pour les rayons moyens des deux espèces de verre (c. à d. Flint- et Crownglas) doivent appartenir au même rayon coloré; dans le cas contraire, si ces exposants appartiennent à des rayons différents, cette aberration n'est, malgré le plus rigoureux calcul, jamais tout-à-fait détruite. La découverte des raies du spectre servant à trouver avec facilité ce dont il s'agit ici, leur utilité est par conséquent d'une grande importance pour l'anéantissement de cette aberration.

Avant la découverte des raies du spectre, je trouvai l'identité du pouvoir réfringent de deux morceaux de verre, en collant ces morceaux, dont je formai un seul prisme. Si les deux spectres, vus par ce prisme, se présentaient au même endroit et sans déplacement réciproque, j'en concluais que leur pouvoir réfringent était le même. Après la découverte de ces raies cependant je trouvai que deux morceaux, tels que je les avais employés, pouvaient avoir encore un pouvoir réfringent différent, sans qu'on eût pu s'en apercevoir de la manière ci-dessus. C'étaient non seulement des morceaux pris dans différents endroits du creuset de fonte, qui présentaient une différence dans leur pouvoir réfringent; mais aussi dans deux morceaux pris des deux extrémités des côtés opposés d'un même morceau de verre, j'ai souvent trouvé encore des différences sensibles. Par des essais multipliés dans la fabrication du Flint- et du Crownglas, je suis maintenant arrivé au point que, d'un creuset contenant 400 livres de Flintglas, deux morceaux, dont un fut pris au fond, l'autre en haut, ont le même pouvoir réfringent.

En voyant la quantité des raies et des lignes du spectre, produites par la lumière du soleil, on sera peut être porté à croire que la diffraction de la lumière aux ouvertures étroites du contrevent pourrait être en quelque rapport avec ces raies, quoique les essais décrits n'en donnent pas le moindre indice, et qu'ils en prouvent le contraire. A cet effet, tant pour m'assurer tout-à-fait de ce que j'ai avancé, que pour faire encore d'autres observations, je changeai les essais de la manière suivante.

Si l'on fait passer la lumière solaire par une petite ouverture r o n d e du contrevent, d'un diamètre à peu près de 15 secondes, et qu'on la fasse tomber sur un prisme

placé devant la lunette du théodolite, il est clair que le spectre vu par la lunette ne peut avoir qu'une très-petite largeur et par conséquent ne peut former qu'une ligne. Cependant dans une ligne qui n'a presque pas de largeur, il est impossible de voir des raies très-fines et déliées qui la traversent, et c'est la raison pour laquelle on ne voit point dans ce spectre les raies fixes, dont j'ai donné la description plus haut. Pour voir dans ce spectre toutes les raies, il ne s'agissait que de rendre, par l'objectif, le spectre plus large, sans lui faire subir un changement dans sa longueur. J'atteignis ce but, en mettant contre l'objectif un verre dont l'une des faces était parfaitement plane et l'autre travaillée en segment d'un cylindre d'un très-grand diamèter. L'axe du cylindre était exactement parallèle avec la base du prisme; le spectre ne pouvait donc pas être changé dans sa longueur et ne gagnait qu'en largeur. Dans ce spectre ainsi changé, je reconnus toutes les raies dans la même position comme je les voyais, si la lumière tombait par une ouverture étroité et longue.

J'employai ce même appareil pour regarder dans la nuit la planète Vénus, sans laisser tomber la lumière par une petite ouverture. Je trouvai dans le spectre de cette lumière les mêmes raies, telles qu'on les voit dans celui de la lumière du soleil. Celle de Vénus ayant cependant peu de densité si on la compare à la lumière du soleil réfléchie par un miroir, l'intensité des rayons violets et des rouges extérieurs est très-faible; par cette raison on aperçoit même les raies les plus fortes dans ces deux couleurs avec quelque difficulté; dans les autres couleurs elles sont très-faciles à distinguer. J'ai vu les raies D, E, b, F (Fig. 5) très-bien terminées, et j'ai même reconnu que celles en b sont formées par deux, c. à d. par une plus fine et plus forte ligne. Le peu de lumière empêchait cependant de voir que la plus forte de ces deux lignes est formée encore par deux autres. C'est par cette raison que les autres raies plus fines ne pouvaient être bien distinguées. Par une mesure approximative des arcs DE et EF, je me suis convaincu que la lumière de Vénus, sous ce rapport, est de la même nature que celle du soleil.

J'ai fait également avec cet appareil des observations sur la lumière de quelques étoiles fixes de la première grandeur. La lumière des étoiles étant beaucoup plus faible, que celle de Vénus, la clarté du spectre doit par conséquent être encore moindre. J'ai vu néanmoins et sans illusion dans le spectre de la lumière de Sirius trois raies larges, qui, d'après l'apparence, n'ont point de ressemblance avec celles de la lumière du soleil; une d'elles se trouve dans le vert, deux dans le bleu. On reconnaît également des raies dans le spectre de la lumière d'autres étoiles de la première grandeur; mais ces étoiles paraissent, par rapport à ces raies, être différentes entre elles. L'objectif de la lunette du théodolite n'ayant que 13 lignes d'ouverture, il s'ensuit qu'au moyen d'un objectif d'une plus grande dimension ces expériences peuvent être répétées avec une plus grande précision. Je les répèterai avec des modifications convenables et avec un objectif plus grand, afin de donner occasion à l'un ou à l'autre des physiciens habiles, de les continuer. Une suite de ces essais est d'autant plus à desirer qu'ils servent en même temps à une comparaison exacte de la réfrangibilité de la lumière des étoiles et du soleil.

La lumière électrique est, par rapport aux lignes et aux raies du spectre, très-différente de la lumière du soleil et d'une lampe. On rencontre dans le spectre de cette lumière plusieurs lignes en partie très-claires, dont l'une dans le vert, en comparaison avec les autres parties du spectre, paraît très-brillante. Une autre, qui n'est pas tout-à-fait si luisante, se trouve dans l'orange; elle paraît être de la même couleur que celle du spectre de la lumière d'une lampe; mais en mesurant l'angle de réfraction, on trouve que sa lumière est réfractée beaucoup plus fortement, à peu près comme les rayons jaunes de la lumière d'une lampe. Vers l'extrémité du spectre, on aperçoit dans le rouge une raie de peu de clarté; pourtant sa lumière, comme jusqu'à présent je m'en suis assuré, a la même réfrangibilité que celle de la ligne claire de la lumière d'une lampe. Dans le reste du spectre on peut encore distinguer facilement quatre raies assez claires*).

En faisant tomber la lumière d'une lampe par une ouverture étroite, large de 15 à 30 secondes, sur un prisme d'une grande dispersion, placé devant la lunette, on voit que la ligne rougeâtre de ce spectre est formée par deux lignes claires très-déliées, pareilles en grosseur et en distance aux deux lignes foncées *D* (fig. 5). Que l'ouverture par laquelle la lumière de la lampe passe, soit étroite ou large, et si l'on couvre la pointe de la flamme et l'extrémité bleue inférieure, la ligne rougeâtre paraît moins claire, et elle est plus difficile à distinguer. Il paraît par conséquent que cette ligne tire son origine principalement de la lumière des deux extrêmités de la flamme, sur-tout de l'inférieure.

La ligne rougeâtre est, en raison des autres parties du spectre, très-claire dans les spectres de la lumière, produite par la flamme du gaz hydrogène et de l'alcohol. Dans le spectre de la flamme du soufre, on la reconnaît difficilement.

Je répèterai les essais qui ont rapport à la perfection des lunettes achromatiques avec un nouvel instrument, par lequel j'espére obtenir une exactitude qui passe le double de celle dont les observations ci-dessus ont été susceptibles. J'y joindrai de nouvelles observations, faites avec le même instrument et pour lesquelles l'instrument décrit ci-dessus n'était point convenable. Ces dernières deviendront peut-être d'un grand intérêt pour l'optique pratique et physique.

En faisant les essais, dont j'ai parlé dans ce mémoire, j'eus principalement égard à ce qui avait rapport à l'optique pratique; mon temps ne me permit pas d'en faire d'autres, ou de les étendre plus loin. Le chemin tracé dans ce mémoire peut fournir des résultats intéressants pour l'optique physique; il est par conséquent fort à désirer que des physiciens habiles daignent y donner quelque attention.

*) Pour obtenir une lumière contiguë de l'électricité, j'approchai à un demipouce près deux conducteurs et je les réunis par un fil de verre trés-délié. L'un d'eux était lié avec une machine électrique, l'autre était communiqué au sol. De cette manière la lumière paraissait passer continuellement sur le fil de verre, lequel même par conséquent formait une ligne fine et luisante.

Nouvelle modification

de la lumière, par l'influence réciproque et la diffraction des rayons lumineux, avec l'examen des lois de cette modification

par

Jos. Fraunhofer
à Munich.

(Schumacher's astronom. Abhandlungen, Heft II, p. 46—112. 1823.)

Nouvelle modification de la lumière, par l'influence réciproque et la diffraction des rayons lumineux, avec l'examen des lois de cette modification

par

Jos. Fraunhofer
à Munich.

Le physicien, dont l'oeil est armé de bons instruments d'optique, donne à ses expériences un degré de précision, auquel, sans ce secours, beaucoup des découvertes les plus importantes ne sauraient atteindre. Jusqu'à ce moment la loupe était le seul instrument qui pût servir avec quelque avantage à examiner la diffraction de la lumière, et c'est à cela qu'il faut attribuer sans doute le peu de progrès qu'on a faits jusqu'ici dans cette partie de la physique, et l'ignorance presque absolue où l'on est encore sur quelques uns de ces phénomènes. Il serait d'autant plus à désirer de les connaître, que lorsque l'obliquité des rayons incidents comptés de la surface est très-petite, la diffraction influe sur la réfraction et sur la réflexion et joue dans plusieurs cas un rôle important, qui échappe souvent à nos observations. Ces expériences seraient d'autant plus importantes qu'elles servent en même temps à nous faire mieux connaître la nature de la lumière.

Si l'on introduit dans une chambre bien obscure, par un petit trou fait au volet, un rayon solaire, qu'on le fasse tomber à quelque distance sur une ouverture étroite, pratiquée dans un écran opaque, et qu'on le reçoive ensuite à quelques pieds de distance sur une surface blanche, ou sur un plan de verre dépoli, la partie éclairée de cette surface sera plus large qu'elle ne l'aurait été si la lumière en passant par l'ouverture avait continué sa route en ligne droite. On en verra les bords colorés, et l'on en conclura qu'il y a eu diffraction des rayons dans le voisinage du biseau de la petite ouverture de l'écran. L'inflexion est d'autant plus grande, que l'ouverture est plus étroite. Les ombres de tous les corps, exposés à un rayon de lumière, que

l'on introduit dans une chambre obscure, par un petit trou pratiqué dans un volet, présentent sur le plan qui les reçoit des franges colorées, qui sont, à distances égales, de même largeur pour tous les corps de différentes matières. L'ombre d'un objet étroit, celle d'un cheveu p. E., a des bandes colorées à ses bords, et même dans l'intérieur. Ces dernières ont d'autres dimensions, selon que le cheveu est plus ou moins épais, mais du reste elles ressemblent aux bandes extérieures*). Comme ces bandes sont très-étroites, et que le plan qui reçoit l'ombre absorbe beaucoup de lumière, on ne saurait attendre beaucoup de précision de la manière dont ce phénomène a été observé jusqu'ici, et d'autant moins qu'elle ne nous présente aucun moyen de mesurer directement les angles des rayons diffractés, ce qui est cependant nécessaire, pour en connaître les lois. Pour obtenir la mesure des angles qui doivent nous faire connaître le chemin que prend la lumière en s'infléchissant, on a mesuré la largeur des bandes colorées, et leur éloignement du corps diffringent, mais les suppositions dont on est parti étant fausses, on n'a pu arriver qu'à des faux résultats.

De nos jours les phénomènes d'optique ont été tellement multipliés, qu'il faut de l'attention pour ne pas s'exposer à des illusions, et pour ramener ces phénomènes à leurs lois les plus simples. Cette attention est surtout nécessaire, lorsqu'on étudie les lois de la diffraction de la lumière. Pour mettre plus de clarté et de précision dans l'ensemble et l'enchainement des expériences et des observations qui vont nous occuper, je ne les rapporterai point dans l'ordre où je les ai faites, mais je les présenterai dans celui qui pourra répandre le plus de jour sur cette matière.

De la diffraction de la lumière qui passe par une seule ouverture.

Pour faire parvenir à l'oeil toute la lumière diffractée par une ouverture étroite, pour obtenir les phénomènes sous de plus grandes dimensions, et surtout pour pouvoir mesurer immédiatement et avec une précision extrême les angles des rayons diffractés, je plaçai devant l'objectif de la lunette d'un théodolite un écran avec une ouverture verticale, étroite, dont la largeur pouvait varier au moyen d'une vis. Pour diriger horizontalement, par une ouverture étroite, dans une chambre obscure, un rayon solaire sur cet écran, je me servis d'un héliostat. En passant par l'ouverture de cet écran, le rayon lumineux se diffractait. Je pouvais examiner ici sous de grandes dimensions

*) On trouve tout ce que, jusqu'à nos jours, on connaît sur la diffraction de la lumière rassemblé dans le traité de physique exp. et math. T. 4. p. 743 et dans les Commentaires de Göttingue Vol. IV. p. 49.

et avec une clarté suffisante tous les phénomènes de la diffraction, et au moyen de mon théodolite mesurer avec exactitude tous les angles.

Les séries des couleurs, que produit la lumière qui se diffracte en passant par une seule ouverture étroite, ressemblent à celles des anneaux colorés de *Newton*, formés par le contact de deux verres peu convexes, avec la différence, que la tache noire au milieu ne s'y trouve pas. La fig. III de la planche I. facilitera l'intelligence de la description. Si l'on dirige la lunette du théodolite de manière, qu'en ôtant l'écran qui doit servir à diffracter le rayon lumineux, on voit l'ouverture de l'héliostat, et que le fil du micromètre la coupe, qu'ensuite on replace devant l'objectif l'écran, dont l'ouverture doit être très-étroite, on apercevra au milieu du champ de la lunette une bande blanche $L^I\ L^I$. Le fil du micromètre sera au milieu en K. Cette bande est jaune à ses deux extrémités, et puis rouge. Dans l'espace $L^I\ L^{II}$ on voit un spectre, dont les couleurs sont très-vives. Il est indigo près de L^I, ensuite bleu, vert, jaune, et enfin rouge vers L^{II}. Le spectre dans l'espace $L^{II}\ L^{III}$ est beaucoup moins intense. Voici l'ordre des couleurs. Bleu, près de L^{II} jaune, vert, et rouge près de L^{III}. Le spectre dans l'espace $L^{III}\ L^{IV}$ est plus faible encore; il est vert du côté de L^{III} et rouge du côté de L^{IV}. Suivent encore un grand nombre de spectres, mais qui vont toujours en s'affaiblissant, et se perdent enfin dans une bande de lumière, qui se répand sur un grand espace. Tous ces spectres, des deux côtés de K, sont parfaitement égaux et par conséquent symmétriques. Le passage d'une couleur à l'autre est presqu'imperceptible. Il en est de même de celui d'un spectre à l'autre.

Pour mes observations et pour pouvoir mesurer les angles, je me suis servi d'un théodolite répétiteur de 12 pouces, dont les verniers donnent 4″. Au milieu du cercle, mais en dessus, cet instrument porte un disque bien plan de six pouces de diamètre, dont le centre coïncide exactement avec l'axe du théodolite. Ce disque a ses divisions particulières, qui sont de 10″. Au milieu de ce disque se place l'écran, qui se trouve par conséquent dans l'axe même du théodolite, ce qui rend inutile toutes les corrections qu'il faudroit faire à la mesure des angles, si les corps diffringents étaient à quelque distance de l'axe. Les divisions de ce disque servent à mesurer, s'il était nécessaire, l'angle d'incidence des rayons, etc. A la distance de $3\frac{1}{3}$ de pouce de ce disque, à compter du centre, est placée la lunette. Son objectif a 20 lignes d'ouverture, et son foyer est à 16,9 de pouce. Cette lunette est posée solidement sur l'alidade du cercle divisé, dont le diamètre est de 12 pouces, et le tout est contrebalancé. L'axe de la lunette est exactement parallèle à l'horizon, ainsi qu'au plan de ce cercle. Je me suis servi d'oculaires qui grossissaient 30 à 50 fois. L'instrument ne communique point avec le sol de la chambre, dont il est absolument isolé. L'héliostat est placé dans le prolongement de l'axe optique à une distance de $463\frac{1}{3}$ pouces du centre du théodolite. Pour faire suivre à l'héliostat le mouvement horaire du soleil, l'observateur fait mouvoir la vis du miroir au moyen d'une longue branche de fer, qui s'étend de l'héliostat au théodolite, et il peut encore avec cet appareil augmenter ou diminuer

à volonté pendant l'observation l'intensité de la lumière solaire. L'ouverture de l'héliostat est verticale, longue de deux pouces, et on peut la varier à volonté. Les largeurs ordinaires ont été de 0,01 et de 0,02 de pouce.

J'ai mesuré la largeur de l'ouverture de l'écran avec un microscope achromatique, construit à ce dessein. Il importe qu'elle soit connue le plus exactement possible. Au pied de ce microscope est un coulant, qu'une vis fait mouvoir. Cette vis fait à peu près 88 pas par pouce de Paris. L'écran se fixe sur ce coulant, de manière que l'ouverture qu'on veut mesurer, se trouve placée perpendiculairement sur cette vis. Deux fils très-fins se croisent au foyer de l'oculaire du microscope; on les voit distinctement en même temps que l'objet. Au moyen de la vis qui fait mouvoir le coulant on met en contact apparent l'un des bords du fil, avec l'un des bords de l'objet, puis l'autre bord de l'objet avec le même bord du fil, en prenant note, dans l'un et l'autre cas de la position de la vis. La différence de ces deux positions est le diamètre de l'objet, un pas de vis étant pris pour unité; cette mesure est absolument indépendente de tous les éléments optiques du microscope, comme p. E. du grossissement etc. La périphérie de la tête de la vis étant divisée en 1000 parties, au moyen d'un vernier, on apprécie encore exactement la 0,00002 partie d'un pouce, pourvu que le corps dont on veut connaître le diamètre soit bien net à ses bords. Même dans certains cas on saisit encore la 0,00001 partie d'un pouce. Je me suis d'ordinaire servi d'un microscope qui grossit 110 fois le diamètre de l'objet.

Aucun des spectres formés par la diffraction de la lumière, au moyen d'une seule ouverture étroite, ne présentant un point fixe quelconque, je m'en suis tenu, pour mesurer l'angle de déviation, à la limite des différents spectres, c'est à dire aux lignes L^{I}, L^{II}, L^{III} etc. ou à l'extrémité rouge de chaque spectre. Les distances $L^{I}L^{I}$, $L^{II}L^{II}$ etc. ont été déterminées pour le moins par trois répétitions. La moitié de ces distances est donc la mesure de l'éloignement du point central, ou des distances KL^{I}, KL^{II} etc. Je me servirai des lettres L^{I}, L^{II}, etc. pour désigner l'angle de cette distance, c'est à dire l'angle de déviation. Je nommerai spectres de *première classe* tous ceux formés par la diffraction, au moyen d'une seule ouverture, pour les distinguer de spectres d'une autre espèce dont je parlerai plus bas. Le tableau suivant présente les angles de déviation qui résultent d'ouvertures de différents diamètres. La lettre γ représente ces derniers, exprimés en fraction du pouce de Paris. Je désigne par la lettre L la moyenne arithmétique de $L^{I}, \frac{L^{II}}{2}, \frac{L^{III}}{3}$ etc.

Nro.	Largeur de l'ouverture en fractions du pouce de Paris. γ	L^{I}	L^{II}	L^{III}	L^{IV}	Terme moyen arithmétique L	Produit de l'ouverture par l'arc L $L\gamma$
1	0,11545	0′ 37″,58	1′ 15″,5	1′ 53″		0′ 37″,66	0,0000210
2	0,06098	1 11,6	2 22,7	3 31,7	4′ 44″,7	1 11,17	0,0000210
3	0,03690	1 57,1	3 53,3	5 48,3		1 56,6	0,0000209
4	0,02346	3 4	6 7,7	9 16,3		3 4,43	0,0000210
5	0,01237	5 48,5	11 38	17 26,5	23 14,7	5 48,7	0,0000209
6	0,01210	6 —	12 1	18 14	24 9	6 1,84	0,0000212
7	0,01020	6 56	13 56	20 54		6 57,3	0,0000206
8	0,00671	11 6	22 12,7	33 14	44 35	11 6,4	0,0000217
9	0,00642	11 11	22 18	33 43	44 58	11 12,2	0,0000209
10	0,00337	21 3	42 16	1° 4 —		21 10,3	0,0000207
11	0,00308	23 31	47 6	1 10 43		23 32,7	0,0000211
12	0,00218	33 30	1° 7 40			33 40	0,0000213
13	0,00215	35 24,7	1 10 16			35 17	0,0000220
14	0,00114	1° 4 53				1° 4 53	0,0000215

Les angles que présente ce tableau sont exactement tels que je les ai obtenus sans aucune correction. Ils serviront à faire juger des limites de l'exactitude. Le passage d'un spectre à l'autre n'étant pas nettement prononcé, il faut, pour certaines limites, recourir à l'estimation. Lorsque les spectres sont grands, ce qui a lieu lorsque les ouvertures de l'écran sont très-étroites, cette estimation devient plus difficile, que lorsque les ouvertures sont moins étroites, ou les spectres plus petits. Ces limites étant alors moins rapprochées, les angles ne sauraient présenter entre eux la même uniformité. Les rapports, relativement à l'exactitude, sont presque les mêmes.

Il résulte de ce tableau:

Que les angles de déviation des rayons lumineux qui passent par une seule ouverture, sont en raison inverse de la largeur de cette ouverture.

Que lorsqu'un rayon est diffracté en passant par une ouverture étroite, les distances des rayons rouges du milieu de la bande lumineuse, dans chaque spectre forment, de part et d'autre du milieu de la bande, une progression arithmétique dont la différence est égale au premier terme.

D'autres expériences nous apprendront plus tard, que cette même loi a lieu pour tous les autres rayons colorés, ainsi que pour les spectres très-distants de l'axe.

Si γ désigne l'ouverture étroite d'un écran, en fractions du pouce de Paris, les arcs L^{I}, L^{II} etc. des angles des rayons infléchis sont en général, pour le rayon du cercle $= 1$,

$$L^{I} = \frac{0{,}0000211}{\gamma}$$

$$L^{II} = 2 \cdot \frac{0{,}0000211}{\gamma}$$

$$L^{III} = 3 \cdot \frac{0{,}0000211}{\gamma} \text{ etc.}$$

Pour examiner si les spectres résultants de la diffraction sont de couleurs homogènes, je plaçai devant l'oculaire du théodolite un petit prisme de flintglas, dont l'angle était à peu près de 20° de manière que l'axe de ce prisme était parallèle à l'horizon, et l'arête de l'angle réfringent tourné vers la terre. Si, avec un tel oculaire, les couleurs du spectre dans le champ de la lunette sont homogènes, telles p. E. que le sont celles que donnent un bon prisme placé devant l'objectif, on apercevra distinctement les fils croisés dans le foyer de l'oculaire, dans quelle couleur du spectre qu'on les plonge; mais si la lumière dans le champ de la lunette n'est pas homogène, le fil horizontal de l'oculaire disparaît. On en voit aisément la raison. Si l'on fait arriver à la lunette les spectres qui résultent de la diffraction de la lumière, à son passage par une seule ouverture d'un écran, le premier et le second ne laissent apercevoir aucune trace du fil horizontal; on croit en voir quelque chose dans le troisième spectre,

il paraît un peu mieux, mais encore bien faiblement dans le quatrième; cela va en augmentant de spectre en spectre, et ce n'est que loin du milieu que ce fil se présente avec quelque netteté. Il en résulte donc que les spectres les plus voisins de l'axe ne sont pas d'une lumière homogène; mais cette lumière le devient de plus en plus, à mesure qu'ils s'éloignent de l'axe.

Dans le premier spectre, le prisme placé devant l'oculaire change en bleu l'extrémité horizontale rouge qui regarde la terre, et en rouge l'extrémité bleue tournée en haut; ce qui prouve également que la lumière des premiers spectres n'est pas homogène, car on ne saurait changer ni en bleu le rouge, ni en rouge le bleu d'un spectre, produit par un prisme. La lumière étant réfractée par le prisme de l'oculaire, et les rayons bleus p. E. l'étant plus que les rouges par l'effet de leur réfrangibilité inégale, il s'ensuit, que lorsqu'un spectre homogéne est dans le champ de la lunette, (spectre qui sans ce prisme serait paralléle à l'horizon,) le fil, vu par le prisme oculaire cesse d'être horizontal; la partie qui plonge dans les rayons plus réfrangibles est plus basse, l'extrémité opposée est plus haute; il prend ainsi une direction oblique, ce qui se comprend facilement. Or, comme les spectres résultants de la diffraction et fort éloignés de l'axe, se couvrent l'un l'autre, et qu'une partie de chaque spectre plonge dans le précédent, et dans le suivant, conséquence immédiate de la seconde loi énoncée ci-dessus, il est difficile de les distinguer. La position oblique du fil sert à nous convaincre de leur existence, et nous met mieux en étant de les compter; car lorsque plusieurs spectres se couvrent l'un l'autre dans le champ de la lunette, on voit autant de fils obliques qu'il y a de spectres. Je reviendrai plus bas sur ce point.

J'ai décrit jusqu'ici les phénomènes de la diffraction qui ont lieu lorsque deux biseaux qui forment l'ouverture étroite de l'écran, sont à distance égale de l'objectif, ou du point lumineux. Examinons actuellement ce qui a lieu, lorsque ces deux biseaux ne sont pas l'un et l'autre à la même distance de l'objectif, et qu'ils présentent pourtant un passage étroit au rayon incident.

Le plateau horizontal $a\,b\,c$, Fig. 1. Planche II., devant l'objectif, fait corps avec la lunette du théodolite, et peut tourner sur son centre d'un mouvement lent et gradué. C'est sur ce plateau qu'on place les écrans, dont l'ouverture donne passage aux rayons lumineux. Posons sur ce plateau deux écrans, dont les biseaux $e\,f$ et $g\,h$ soient verticaux, et parfaitement alignés: que l'un soit plus près de l'objectif que l'autre. Un rayon de lumière $k\,d$, se mouvant parallèlement à l'horizon, passera d'un coté tout près du biseau $e\,f$, et de l'autre tout près du biseau $g\,h$: par conséquent ces deux biseaux présenteront au rayon incident une ouverture étroite, qui deviendra plus étroite à mesure que ces biseaux se rapprocheront d'avantage de l'axe prolongé de la lunette, jusqu'à ce qu'enfin, en coupant cet axe, ils ferment tout passage au rayon incident: alors la lumière ne parviendra plus à l'objectif. On peut donc à volonté élargir ou retrécir cette ouverture, que les deux écrans presentent au rayon incident, en faisant tourner le plateau sur son centre. Si on le tourne dans la direction de b à c, cette

ouverture deviendra plus étroite; elle sera plus large, si on le fait tourner en sens opposé.

Si l'on fait tourner ce plateau de manière que les deux biseaux de l'écran présentent à la lumière une ouverture, large à peu près de 0,02 à 0,04 de pouce, les spectres ressemblent absolument à ceux que seroient formés par un écran, dont les biseaux sont dans un seul et même plan. Mais si l'on continue à tourner le plateau dans la direction de *b* à *c* de manière que l'ouverture devienne toujours plus étroite, les spectres d'un côté de l'axe s'étendront horizontalement en largeur plus que ceux qui sont de l'autre coté: en d'autres termes, il n'existe plus de symmétrie entre les spectres situés des deux côtés de l'axe. Les ouvertures sont-elles très-étroites, l'inégalité devient telle, qu'un spectre peut être, d'un côté, de deux à trois fois plus grand, que de l'autre. Continue-t-on à mouvoir lentement le plateau, dans la direction de *b* à *c*, les plus grands spectres commencent à disparaître successivement, et cela de manière, que le cinquième spectre p. E. remplit presque subitement tout le champ de la lunette, jusqu'à ce, qu'enfin il cesse d'être appréciable; alors le tour en vient au quatrième, qui présente les mêmes phénomènes, puis au troisième, et ainsi de suite. Pendant ce temps les spectres de l'autre côté de l'axe ne subissent aucun changement sensible, mais du moment où les premiers sont évanouis ceux-ci disparaissent à leur tour; non pas successivement mais tous à la fois; ce dernier phénomène a lieu, lorsque les deux biseaux, en coupant l'axe optique ferment l'ouverture et interceptent absolument tout passage à la lumière. Les plus grands spectres sont toujours du côté de l'écran qui est le plus voisin de l'objectif. Ces spectres non symmetriques, et la manière dont ils disparaissent, sont des phénomènes très-intéressants pour la théorie de la diffraction de la lumière.

Jusqu'ici nous n'avons introduit la lumière, au moyen de l'héliostat, que par une ouverture verticale et étroite, afin qu'elle parût émaner en quelque sorte d'une ligne lumineuse d'une largeur apparente très-petite, ou en d'autres termes pour que le rayon fût pour ainsi dire sans largeur. Dans tout autre cas on aurait des faisceaux lumineux, dont chaque rayon produirait ses propres spectres, qui en se plaçant les uns à côté des autres, se confondraient tous. Si la lumière émanait p. E. d'un plan lumineux, dont la largeur apparente outrepassât celle des spectres, nous n'obtiendrions plus de spectres au moyen de l'ouverture étroite d'un écran, parce que les rayons qui partiraient du côté droit du plan lumineux feraient tomber les rayons rouges du spectre sur le même point où tomberaient les rayons violets, qui partiraient du côté gauche du même plan etc. Le mélange de tous ces rayons colorés donnerait de la lumière blanche. Puisque la lumière se diffracte lorsqu'elle passe par une ouverture étroite, on pourrait peut-être en conclure, que la lumière qui passe par l'ouverture de l'héliostat, arrive à l'écran diffractée et par conséquent deja modifiée. Cependant quoique cette supposition tombe d'elle même, soit qu'on réflechisse au diamètre du soleil, soit qu'on fasse quelques autres considérations encore, j'ai cependant voulu appuyer ces raisonnements de quelques expériences directes. Nous n'avons besoin pour cela que d'un

faisceau de lumière, qui paraisse émaner d'une ligne lumineuse quelconque. J'ai fait tailler à cette fin un verre, long de deux pouces, large de $\frac{1}{3}$ de pouce, plan d'un côté, et ayant de l'autre la courbure d'un cylindre de 0,66 pouce de diamètre. La lumière en tombant parallèlement sur ce verre, en sort après la réfraction comme si elle arrivait d'une ligne distante du verre de 0,62 pouces. J'ai donné à l'ouverture de l'héliostat une largeur de $\frac{1}{4}$ de pouce, et j'ai placé devant cette ouverture le verre cylindrique. Si l'on poursuit le chemin que prend la lumière en passant par ce verre, on comprendra qu'aucun des rayons qui passent près des bords de l'ouverture de l'héliostat ne peut tomber sur l'écran placé devant la lunette, et que par conséquent aucun rayon diffracté n'y arrive. La lumière qui passe par ce verre cylindrique présente tous les phénomènes de la diffraction qui résultent d'une seule ouverture étroite, et les dimensions des spectres sont exactement telles qu'elles le seraient, si la lumière arrivait immédiatement d'une ouverture étroite de l'héliostat.

Au moyen d'un écran, dont l'ouverture est longue et étroite, la lumière ne sera diffractée que dans un seul sens. Au moyen du mien, dont l'ouverture est verticale, cette diffraction sera parallèle à l'horizon. Un écran dont l'ouverture serait p. E. aussi longue que large, diffracterait aussi la lumière dans une direction verticale. On concevra facilement que dans ce cas la lumière ne pourrait tomber sur l'écran, comme émanée d'une ligne lumineuse, et la diffraction en sens vertical, par des raisons allèguées ci-dessus échapperait à l'observation. Il faudrait pour pouvoir la remarquer que l'ouverture pratiquée à l'héliostat fût aussi longue que large. Je la faisais d'ordinaire ronde, d'un diamètre de 0,04 jusqu'a 0,08 de pouce. Si l'on place un écran, dont l'ouverture est longue et étroite, devant la lunette, et qu'on fasse arriver par un trou rond la lumière à cet écran, les spectres n'auront donc que peu de hauteur, mais quant à leur direction horizontale, ils seront absolument tels que si la lumière avait traversée, en partant de l'héliostat, une ouverture longue et verticale. On ne voit donc en quelque sorte qu'une seule ligne parallèle à l'horizon, sur laquelle les couleurs alternent de la manière décrite ci-dessus, et qui est plus étroite en raison que l'ouverture ronde de l'héliostat est plus petite. Cependant cette ouverture ne doit pas l'être trop, parce que dans le cas où la lumière devrait être diffractée dans d'autres directions, la clarté ne serait plus suffisante.

Faisons passer par une ouverture ronde la lumière réfléchie par l'héliostat; que l'ouverture de l'écran devant la lunette soit exactement quarrée, que les bords en soient parfaitement allignés, et les angles bien marqués; sous ces conditions on verra dans le champ de la lunette une croix colorée, où les couleurs, tant celles verticales, que celles parallèles à l'horizon, alterneront comme celles qui résultent de la lumière diffractée par une ouverture longue et étroite. Dans les angles de cette croix colorée on voit quelques spectres *a*, *b*, *c*, *d* Tab. II. Fig. 2. dont les couleurs sont peu intenses. L'origine de ces spectres, qui ne sont visibles que dans les angles de la croix, s'expliquera par les expériences dont il sera question ci-après. Les dimensions des

couleurs dont cette croix se compose sont exactement les mêmes, que celles qui résultent d'une ouverture de même largeur, savoir: $L^{I} = \frac{0{,}0000211}{\gamma}$; $L^{II} = 2 \cdot \frac{0{,}0000211}{\gamma}$ etc. tant en sens vertical, que parellèlement à l'horizon. Donne-t-on à cette ouverture à angles droits moins de largeur que de hauteur, les spectres verticaux de la croix seront d'une autre largeur que les spectres parallèles à l'horizon, et ceux dans les angles suivent les mêmes proportions. Par conséquent au moyen d'un écran, dont l'ouverture à angles droits est moins large que haute, on aura une croix colorée, dont les branches verticales se composeront de spectres plus petits que ceux des branches horizontales, et cela en raison inverse de la hauteur à la largeur.

A-t-on pratiqué dans l'écran placé devant la lunette une petite ouverture ronde, (supposée ronde l'ouverture de l'héliostat) on verra dans le champ de la lunette des anneaux colorés, qui par rapport à l'ordre que prennent les couleurs, sont absolument semblables aux anneaux qui résultent du contact de deux verres convexes, avec la différence cependant, que dans ce dernier cas, on voit au centre une tache noire qui n'existe pas dans les premiers. Ces anneaux colorés, produits par la lumière qui se diffracte en passant par une ouverture ronde, sont d'autant plus grands, plus cette ouverture est petite. En variant ces ouvertures, j'ai pris au moyen du théodolite, les diamètres des anneaux colorés, et le tableau ci-dessous en donne les dimensions. J'ai pris partout l'extrémité rouge de chaque anneau pour le point de départ et j'ai mesuré de cette sorte le diamètre de chaque anneau. L^{I} est le demidiamètre, c'est-à-dire la distance des dernières limites du rouge au centre. L^{II} est cette même distance pour le second anneau, et ainsi de suite. L est ici le terme moyen arithmétique des différences.

Nro.	Diamètre de l'ouverture en fractions du pouce de Paris. γ	L^I	L^{II}	L^{III}	L^{IV}	L^V	Terme moyen arithmétique des différences L	$L^I\gamma$	$L\gamma$
1	0,10426	0′ 53″,8	1′ 36″,3	2′ 16″	2′ 58″,5		0′ 41″,6	0,0000272	0,0000210
2	0,06713	1 22,3	2 27	3 30	4 32,3		1 3,3	0,0000268	0,0000206
3	0,05001	1 48,8	3 17,3	4 46,8	6 15,5	7′ 47″,7	1 29,7	0,0000264	0,0000217
4	0,03997	2 12,7	4 2,9	5 55,1	7 48,6	9 40,9	1 52	0,0000257	0,0000217
5	0,03791	2 15,7	4 8,5	6 6,3	8 5,1		1 56,5	0,0000249	0,0000214
6	0,03318	2 41,7	4 52,4	7 6,4	9 18,7	11 32	2 12,6	0,0000260	0,0000213
7	0,02682	3 13,1	6 1,4	8 49,7	11 42		2 49,6	0,0000251	0,0000223
8	0,02318	3 49,4	6 57,8	10 14,5	13 23,6		3 11,4	0,0000258	0,0000215
9	0,02237	3 54,7	7 9,4	10 24,1	13 40,5		3 15,3	0,0000255	0,0000212
10	0,02134	4 3,6	7 24,5	10 56,4	14 15,4		3 20,6	0,0000252	0,0000208
11	0,01824	4 45,5	8 51,3	12 54,9	17 3,5		4 6	0,0000252	0,0000217
12	0,01746	5 3	9 19,4	13 22,9	17 52		4 16,3	0,0000257	0,0000217
13	0,01238	6 55,5	12 57,5	18 48,6			5 56,5	0,0000249	0,0000214
14	0,00922	9 27,3	17 35,4	25 34,5			8 3,6	0,0000254	0,0000216

Il est beaucoup plus difficile de prendre la mesure du diamètre d'un anneau coloré qu'il ne l'est de mesurer la distance d'un spectre à l'autre, quand ils résultent du passage du rayon par une ouverture longue et étroite. Dans ce dernier cas le fil du micromètre peut coïncider dans toute sa longueur aux dernières limites du spectre, tandis qu'il ne coïncide avec l'anneau qu'en un seul point. Cette circonstance empêche, qu'on ne puisse donner ici à la mesure des diamètres ce même degré de précision; et ce qui rend la chose plus difficile encore, c'est qu'ici la clarté est moins grande, que lorsque le rayon passe par une ouverture longue et étroite. Après ces considérations, et sans sortir des limites de l'exactitude, il résulte du tableau ci-dessus:

Que lorsque la lumière est diffractée par des ouvertures rondes de différents diamètres, les diamètres des anneaux colorés sont en raison inverse des diamètres des ouvertures;

et

Que dans les anneaux colorés, formés par la lumière diffractée au moyen d'une ouverture ronde, les distances des rayons rouges extrêmes des différents anneaux au centre, forment une progression arithmétique, dont la différence est plus petite que le premier terme.

Soit γ le diamètre d'une ouverture ronde, en fractions du pouce de Paris, on aura en général:

$$L = \frac{0{,}0000214}{\gamma} = L^{II} - L^{I} = L^{III} - L^{II} = L^{IV} - L^{III} \text{ etc.}$$

$$L^{I} = \frac{0{,}0000257}{\gamma}$$

$$L^{II} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + L$$

$$L^{III} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + 2\,L$$

$$L^{IV} = \frac{0{,}0000257}{\gamma} + 3\,L \text{ etc.}$$

Le quotient pour L diffère très-peu de celui qu'on obtient lorsque la lumière passe par une ouverture longue et étroite. La petite différence qui se présente provient peut-être de quelque erreur d'observation. Cet accord presque absolu, et la grande différence que présente L^{I} dans l'un et l'autre cas sont remarquables.

Si l'on recouvre par les moyens connus une lame de verre poli, sur l'une de ses faces, de deux ou trois couches de feuilles d'or battu, le verre devient imperméable à la lumière, et l'on peut tracer dans cet or des lignes extrêmement fines, qui rouvrent de nouveau dans toute leur longueur le passage à la lumière. Si l'on trace donc sur

l'or d'un plateau de verre à faces planes et parallèles, une ligne très-fine, et qu'on le place, au lieu de l'écran, devant la lunette, cette ouverture longue et extrêmement étroite diffractera la lumière comme le ferait toute autre ouverture étroite, et si l'on enlève l'or de manière à former sur le verre une ouverture circulaire d'un trés-petit diamètre, on aura exactement les mêmes resultats que donne une ouverture ronde du même diamètre.

Pour connaître l'éffet que produit sur la lumière une ligne circulaire d'une largeur déterminée, j'en traçai une dans l'or du plateau, de manière qu'elle fût partout d'une ouverture égale. Je plaçai ce petit plateau de verre devant la lunette, en faisant passer la lumière de l'héliostat par une ouverture ronde, adaptée à cet instrument. Il n'arrivait par conséquent d'autres rayons de lumière à l'objectif de la lunette, que ceux qui passaient par le petit anneau tracé dans l'or du plateau. On voit alors dans le champ de la lunette des anneaux colorés qui, pour ce qui concerne l'arrangement des couleurs, ressemblent à ceux, que produit la lumière à son passage par une ouverture ronde, pratiquée dans l'écran, mais qui en diffèrent par leur diamètre et leurs proportions respectives. Le diamètre des anneaux ne dépend sous aucun rapport du diamètre des lignes circulaires tracées dans l'or qui recouvre le petit plateau, il dépend uniquement de la largeur de cette ligne. Soit γ la largeur de cette ligne, en fractions du pouce de Paris, le demi-diamètre des dernières limites des rayons rouges du premier anneau sera $= \frac{0{,}0000211}{\gamma}$; celui du second anneau sera $= 2 \cdot \frac{0{,}0000211}{\gamma}$ et ainsi de suite; et par conséquent ce demi-diamètre sera absolument égal à la distance entre les dernières limites du rouge, et le milieu d'un spectre, produit par une ouverture de la même largeur, dont les biseaux sont formés de lignes droites. Si l'on recouvre la moitié du cercle tracé sur le plateau de verre, les anneaux colorés seront encore visibles, mais ils n'auront plus la même clarté. Mais si p. E. on recouvre un segment de ce cercle de 220°, les anneaux colorés ne seront plus complets, et des deux côtés opposés, Fig. 3. Planche II, il leur manquera 40 degrés. Recouvre-t-on un espace de 270 degrés, les anneaux colorés, des deux côtés opposés, occuperont un espace de 90 degrés. En général l'espace que les segments des anneaux colorés occupent de chacun des deux côtés opposés, est égal au nombre de degrés que conserve le cercle tracé dans l'or du plateau. On concevra la raison de tous les phénomènes de la lumière diffractée au moyen d'une ligne circulaire, si l'on considère un très-petit segment de cercle comme une ligne droite, et qu'en suivant le chemin que prend la lumière, on se la représente comme passant par une ouverture longue et étroite de la même largeur. Il ne faut cependant pas oublier, que les rayons incidents émanent d'une ouverture ronde pratiquée à l'héliostat, et par conséquent les spectres, produits par un écran dont les deux biseaux seraient des lignes droites, n'auraient presque pas de largeur. Pour obtenir des phénomènes complets, il est nécessaire que la ligne circulaire tracée dans l'or du plateau soit exactement ronde, et partout également large. Du

reste toutes les expériences relatives à la lumière diffractée exigent beaucoup de lumière solaire. Au moyen de la simple lumière, d'une nue p. E. on ne voit aucun de ces phénomènes dans le champ de la lunette.

Influences réciproques d'un grand nombre de rayons diffractés.

Pour faire tomber sur l'objectif de la lunette un grand nombre de rayons diffractés, j'ai tendu sur un cadre un très-grand nombre de fils, d'égale grosseur, bien parallèles, et très-rapprochés l'un de l'autre. La lumière se diffractait en passant entre ces fils. Pour m'assurer de leur parallèlisme, et pour avoir des distances absolument égales, j'adaptai aux deux bouts opposés de ce cadre une vis, qui en traversait toute la largeur, et qui comptait, par pouce de Paris, 169 pas. C'est dans les sillons de cette vis que je tendis les fils, qui par conséquent se trouvaient nécessairement parallèles entre eux, et à distances exactement égales l'un de l'autre.

Le cadre se composait à peu près de 260 fils parallèles. Le diamètre de chaque fil était de 0,002021 de pouce. Le bord d'un fil était éloigné du bord de l'autre de 0,003862 de pouce. Je donnai à l'ouverture de l'héliostat 2 pouces de long sur 0,001 de pouce de large. J'introduisis par cette ouverture un rayon lumineux très-intense, et je plaçai devant l'objectif le cadre de manière que les fils en étaient perpendiculaires à l'horizon. Je pris soin d'empêcher qu'aucune autre lumière, outre celle qui passait par les interstices des fils, ne parvint à l'objectif de la lunette. La lumière diffractée par ces interstices l'était donc ici de la manière la plus uniforme. Je fus tout étonné de trouver dans le champ de ma lunette des phénomènes bien différents de ceux qui resultaient d'une seule ouverture. On voit par la lunette l'ouverture pratiquée à l'héliostat exactement comme on la verrait, s'il n'y avait pas de cadre placé devant l'objectif, et à quelque distance de cette ouverture, des deux côtés, un grand nombre de spectres colorés, exactement pareils à ceux qu'on verrait à travers un bon prisme. Ils sont plus larges à mesure qu'ils s'éloignent de l'axe optique et diminuent d'intensité dans la même proportion. Fig. I. Planche I représente une partie de ces spectres. On voit en A l'ouverture de l'héliostat, absolument sans couleurs, avec des limites absolument nettes, comme on les voit sans le réseau, (je nommerai ainsi ce petit appareil), par la lunette. Des deux côtés de A les phénomènes présentent la symmetrie la plus complette. Lorsque l'appareil est bien fait, l'espace AH^{I} est absolument sans lumière. Le premier spectre remplit l'espace $H^{I}C^{I}$. H^{I} est la limite du violet, C^{I} la limite du rouge. L'espace $C^{I}H^{II}$ n'est pas éclairé. Entre H^{II} et C^{II} il y a un second spectre, du double plus large que le premier. L'ordre des couleurs y est le même. Leur intensité est un peu moindre. Le troisième spectre remplit l'espace entre C^{II} et

F^{IV}; mais une partie des rayons violets se mêle aux rayons rouges du second, ainsi qu'une partie des rayons rouges du troisième se mêle avec les rayons bleus du quatrième. L'intensité du troisième spectre est moindre que celle du second. On voit entre F^{IV} et D^{IV} le quatrième spectre, dont l'extrémité bleue se perd dans le troisième, et l'extrémité rouge dans le cinquième spectre. Suivent beaucoup d'autres spectres, d'une lumière beaucoup plus faible. Pour peu que l'appareil soit bon, on en compte sans peine 13 de chaque côté de A, et l'on en aperçoit un bien plus grand nombre encore, qu'il n'est pas facile de compter parce qu'ils deviennent toujours plus larges, et se recouvrent par conséquent davantage les uns les autres, dans la même proportion.

Lorsque l'oculaire de la lunette est placé de manière qu'on puisse voir sans intermédiaire du réseau les biseaux de l'ouverture de l'héliostat parfaitement nets, on aperçoit dans les spectres produits par les fils du réseau les mêmes raies, les mêmes bandes, que j'ai découvertes dans les spectres produits par la lumière solaire, au moyen de bons prismes*). Observation très interessante, parce qu'elle nous met à même de découvrir d'une manière très-complète les lois de cette modification de la lumière, qui résulte de l'influence réciproque d'un grand nombre de rayons diffractés. On ne retrouvera cependant dans mes dessins que les raies et les bandes principales, celles précisement qui nous serviront plus tard; mais on en voit, et surtout dans les spectres plus larges, un très-grand nombre, comme on les voit au moyen du prisme. La largeur de ces lignes, les proportions qui règnent entre elles, la manière dont elles se grouppent, sont absolument les mêmes. Il n'y a de différence frappante entre les spectres résultants de notre réseau et ceux du prisme, que dans les places qu'occupent dans le spectre les différentes couleurs. Il faut donc, et surtout parce que quelques espèces de réseaux à fils parallèles donnent de très-petits spectres, il faut un oeil bien exercé à ces nouveaux phénomènes, pour reconnaître dans un spectre quelconque, quelle est la ligne dont il s'agit, ce qui est d'autant plus nécessaire, que les spectres éloignés de l'axe se recouvrent les uns les autres.

Je nommerai *spectres de seconde classe, parfaits*, ceux produits par des réseaux à fils parallèles, pour les distinguer d'autres spectres produits par l'influence réciproque d'un plus petit nombre de rayons diffractés, dans lesquels on ne voit ni lignes ni bandes, qui présentent d'autres particularités encore, et que je nommerai *spectres de seconde classe, imparfaits*.

Pour varier autant que possible les phénomènes, je me suis servi de réseaux qui différaient, et par la grosseur des fils, et par la grandeur des interstices. Dans ce but je me suis fait une vis, qui avait à peu près 340 pas, par pouce de Paris. J'ai

*) Je les ai décrits dans un mémoire qui a pour titre: Détermination du pouvoir réfringent et dispersif de différentes espèces de verre; recherches destinées au perfectionnement des lunettes achromatiques.

aussi tracé dans l'or de mes plateaux de verre des lignes droites, parallèles, à distances parfaitement égales, et j'en ai obtenu absolument les mêmes phénomènes.

La grandeur des spectres parfaits de seconde classe, produits par des réseaux à fils parallèles, ne depend ni de la largeur des interstices, ni du diamètre des fils, mais de la somme des deux, c'est à dire de la grandeur des distances, à compter du milieu d'un interstice à l'autre. Plus cette somme est petite, plus les spectres sont grands; par conséquent plus les pas de la vis qui porte les fils seront rapprochés, plus les spectres seront grands. Pour ce qui concerne par conséquent les spectres de seconde classe il importe peu que les fils soient plus ou moins gros, et les interstices plus ou moins larges. La matière des fils influe tout aussi peu sur les phénomènes; qu'on prenne des cheveux, des fils d'argent, des fils d'or, l'effet est le même: mais il importe que les fils soient tous de même grosseur, et absolument parallèles entre eux, afin que d'un bout à l'autre les distances soient absolument les mêmes. Lorsqu'on se sert de fils de métal ce travail est un peu plus difficile, parce que ces fils se courbent facilement. Les cheveux ne sont pas de bon effet, parce qu'ils sont rarement de même largeur dans toute leur étendue.

Lorsque les pas de la vis qui porte les fils sont un peu gros, c'est à dire lorsque les distances à compter du milieu d'un interstice à l'autre sont grandes, les spectres comme on l'a vu ci-dessus sont petits, et se trouvent par conséquent réunis dans un petit espace: mais si les pas de la vis, et les fils eux-mêmes sont gros, et par conséquent les insterstices proportionellement plus petits, on voit là, où les spectres de seconde classe cessent, ou plutôt où ils diminuent d'intensité le commencement d'autres spectres, qui sont beaucoup plus larges et dépourvus des lignes et des bandes que l'on voit dans les spectres produits au moyen du prisme. Ils ne sont modifiés que par la largeur des interstices que produisent les différentes grosseurs des fils, et ressemblent du reste parfaitement aux spectres de première classe, produits par une seule ouverture étroite. Voilà pourquoi je les désignerai les uns comme les autres par les lettres L^{I}, L^{II} etc.

Nous verrons qu'au moyen de réseaux à fils parallèles bien faits, quelles que soient leurs différences, relativement à la grosseur des pas de vis et le diamètre des fils, les spectres de première classe sont presque toujours présents. Quelque fois une partie d'un spectre de première classe recouvre une partie d'un spectre de seconde classe, et en modifie l'intensité. L'observation nous fera connaître la raison de ce singulier phénomène.

Si en se servant du réseau à fils parallèles, on adapte, de la manière décrite ci-dessus, à l'oculaire de la lunette le petit prisme dont nous nous sommes déjà servis, en diffractant la lumière par une seule ouverture, on voit que les spectres parfaits de seconde classe se composent entièrement de lumière homogène, et qu'à compter du troisième leur accroissement en largeur fait, qu'en passant l'un sur l'autre ils se recouvrent en partie. Au moyen du prisme adapté à l'oculaire, la différente refrangibilité

des rayons colorés sépare les spectres l'un de l'autre, comme on le voit Fig. 4 Planche II. On voit p. E. l'extrémité rouge du troisième spectre en C^{III} et l'on y reconnaît les lignes qui appartiennent à cette couleur. On voit pareillement en H^{III} le bout violet du troisième spectre et les lignes qui s'y trouvent. La même chose a lieu relativement aux spectres plus éloignés de l'axe. Comme les spectres deviennent plus larges à mesure qu'ils s'en éloignent, et qu'avec un prisme d'un angle déterminé, appliqué à l'oculaire, la hauteur $C^{I}d$ est la même pour tous les spectres, il faut que l'obliquité des limites supérieures et inférieures, p. E. pour le second spectre, soit moins grande que pour le premier: pour le troisième moins grande que pour le second, et ainsi de suite. Nous verrons bientôt que le rapport des influences d'un verre et d'un réseau à fils parallèles relativement à la lumière n'est pas le même pour les différents rayons colorés: c'est pour cela que les limites supérieures et inférieures d'un spectre vû par un prisme adapté à l'oculaire de la lunette ne forment pas des lignes droites. Dans tous les spectres parfaits de seconde classe on voit le fil du micromètre très-net dans tous ses points, et il sert encore ici à compter des deux côtés les spectres qui sont loin de la ligne du milieu, et qui, vû leur extrême largeur, et leur peu d'obliquité seraient encore difficiles à distinguer, même au moyen du prisme adapté à l'oculaire de la lunette.

Lorsqu'on adapte à l'héliostat un verre de forme cylindrique, on obtient au moyen du réseau à fils parallèles les mêmes phénomènes, que produit la lumière qui passe par une ouverture étroite.

Pour désigner les différentes lignes du spectre, je me suis servi dans les expériences qui vont suivre, des mêmes lettres qui m'ont servi pour désigner les lignes que donne un prisme; savoir: C, D, E, F, G, H *). Pour le premier spectre je me servirai des

---

*) J'ai repété ici ce qui a été dit en d'autres termes dans le mémoire susmentionné, relativement aux lignes et aux bandes fixes, du spectre prismatique. B est une ligne extrêmement nette, bien avant dans le rouge. Il faut des rayons solaires d'une grande intensité, pour pouvoir déterminer sa place avec certitude. Pour l'eau, l'exposant du rapport de réfraction, relativement à ce rayon, ou Bn = 1,33095. La ligne C est aussi dans le champ rouge. Elle est extrêmement nette et de toutes les lignes simples elle est la plus marquée. Pour l'eau Cn = 1,33171. Dans un très-grand spectre, formé au moyen d'un prisme, spectre dont il est question ici, on distingue encore dans l'espace entre B et C neuf lignes très fines. D est une ligne double, dans l'orange. Il faut cependant que le spectre soit très-grand pour qu'on la voie double. Dn pour l'eau est = 1,33357. Dans l'espace entre C et D on distingue encore 30 lignes, la plupart très-fines. Dans un grand spectre, E se compose de plusieurs lignes très-fines, très-rapprochées l'une de l'autre, et qui par cette raison ne paraissent en faire qu'une. Cette ligne est dans le vert. Comme on voit encore des deux côtés et à quelque distance de E des lignes qui, comme les précedentes, se composent d'autres lignes extrêmement fines qui par conséquent ont quelque ressemblance avec E, et facilement pourraient être confondues avec cette dernière, il faut quelqu'exercice pour ne pas s'y tromper. Elle est la plus marquée de celles qui appartiennent à cette couleur. Pour l'eau En = 1,33585. Dans l'espace entre D et E il y a environ 84 lignes qui peuvent être distinguées l'une de l'autre. Dans l'espace entre E et F à peu près trois fois plus près de E que de F, dans

lettres C^I, D^I, E^I etc. Pour le second des lettres C^{II}, D^{II}, E^{II} etc. Je nomme δ le diamètre des fils des réseaux et γ la largeur des interstices. Ces deux grandeurs seront toujours des fractions du pouce de Paris. La lettre C désignera les moyennes arithmétiques de C^I, $\frac{C^{II}}{2}$, $\frac{C^{III}}{3}$ et ainsi de suite; la lettre D, les moyennes arithmétiques de D^I, $\frac{D^{II}}{2}$, $\frac{D^{III}}{3}$ etc. J'ai répété pour le moins six fois, au moyen du théodolite, les angles des distances de deux spectres symmétriques pour chaque couleur, ou plutôt les angles des lignes qui leur appartiennent. Comme ces lignes sont très-nettes, les réseaux à fils parallèles m'ont mis à même, de prendre les mesures d'une précision extrême. Je donne tous les angles tels que je les ai pris, sans y faire aucune correction. Le réseau à fils était toujours placé au milieu du plateau horizontal du théodolite. Tous les angles p. E. C^I, D^I, E^I etc. sont les distances prises de la ligne du milieu A. Pour les produits $(\delta + \gamma)$ C etc., je me suis servi des Sinus des angles. Cependant pour des angles aussi petits, il est indifférent de se servir des Sinus ou des arcs.

Réseau à fils parallèles Nr. 1.

$\gamma = 0{,}000628$ $\qquad$ $\delta = 0{,}001324$

B^I	= 44′ 45″	D^{IV}	= 2° 33′ 14″,7
C^I	= 42 42,3	E^I	= 34 12,6
C^{II}	= 1° 25 25	E^{II}	= 1 8 28,3
D^I	= 38 19,3	E^{III}	= 1 42 42,7
D^{II}	= 1 16 38	E^{IV}	= 2 16 59,7
D^{III}	= 1 55 —	F^I	= 31 32,6

---

le vert, on voit trois lignes très marquées, dont deux sont beaucoup plus près l'une de l'autre que la troisième. Elles sont le plus marquées dans les couleurs claires. F est une ligne très-marquée, au commencement du champ bleu. Pour l'eau Fn est égal à 1,33780. On compte à peu près 76 lignes dans l'espace EF. La ligne G est dans l'indigo. En cet endroit plusieurs lignes très fines forment une bande, au milieu de laquelle se trouve une ligne très-marquée, que je nomme G . Gn = 1,34127. Entre F et G on compte environ 185 lignes, de force différente et différemment grouppées. H est dans le violet. C'est une bande très-large, qui se compose de beaucoup de lignes. On en voit une autre tout près, qui lui ressemble parfaitement. J'ai nommé H la bande du côté de G. On ne la voit que lorsque la lumière solaire est très intense. Pour l'eau Hn = 1,34417. Dans l'espace entre G et H on peut compter à peu près 190 lignes, plus ou moins marquées. De toutes les lignes contenues dans le spectre, je n'ai désigné par des lettres que celles, qui m'ont paru les plus avantageuses et les plus utiles tant pour le calcul que pour l'observation, soit à cause des caractères particuliers qui les distinguent, soit par rapport à leur situation.

F^{II}	$= 1^{0}\ 3'\ 10''$	G^{II}	$= 55'\ 51{,}7''$
F^{III}	$= 1\ 34\ 44$	H^{I}	$= 25\ 42{,}3$
G^{I}	$= 27\ 57{,}3$	H^{II}	$= 51\ 31{,}7$
B	$= 44\ 45$	F	$= 31\ 34{,}1$
C	$= 42\ 42{,}4$	G	$= 27\ 56{,}5$
D	$= 38\ 19{,}2$	H	$= 25\ 44$
E	$= 34\ 14$		

$(\gamma+\delta)$ B	$= 0{,}00002541$	$(\gamma+\delta)$ F	$= 0{,}00001792$
$(\gamma+\delta)$ C	$= 0{,}00002425$	$(\gamma+\delta)$ G	$= 0{,}00001587$
$(\gamma+\delta)$ D	$= 0{,}00002176$	$(\gamma+\delta)$ H	$= 0{,}00001461$
$(\gamma+\delta)$ E	$= 0{,}00001944$		

Réseau à fils parallèles Nr. 2.

$\gamma = 0{,}001112$ $\qquad$ $\delta = 0{,}001817$

B^{I}	$= 29'\ 50{,}3''$	D^{IV}	$= 1^{0}\ 42'\ 11{,}3''$
B^{II}	$= 59\ 38{,}3$	D^{V}	$= 2\ 7\ 46{,}3$
C^{II}	$= 56\ 57$	E^{II}	$= 45\ 41{,}6$
D^{I}	$= 25\ 33$	F^{II}	$= 42\ 7{,}6$
D^{II}	$= 51\ 6{,}3$	G^{II}	$= 37\ 16$
D^{III}	$= 1^{0}\ 16\ 35{,}7$	H^{II}	$= 34\ 22{,}3$
B	$= 29\ 49{,}7$	F	$= 21\ 3{,}8$
C	$= 28\ 28{,}5$	G	$= 18\ 38$
D	$= 25\ 32{,}9$	H	$= 17\ 11{,}1$
E	$= 22\ 50{,}8$		

$(\gamma+\delta)$ B	$= 0{,}00002541$	$(\gamma+\delta)$ F	$= 0{,}00001795$
$(\gamma+\delta)$ C	$= 0{,}00002426$	$(\gamma+\delta)$ G	$= 0{,}00001587$
$(\gamma+\delta)$ D	$= 0{,}00002177$	$(\gamma+\delta)$ H	$= 0{,}00001464$
$(\gamma+\delta)$ E	$= 0{,}00001946$		

Réseau à fils parallèles Nr. 3.

$\gamma = 0{,}000972$ $\qquad$ $\delta = 0{,}001964$

C^{I}	$= 28'\ 23''$	D^{I}	$= 25'\ 28{,}7''$
C^{II}	$= 56\ 50$	D^{II}	$= 50\ 58$

D^{III}	$= 1^{0}\ 16'\ 27''{,}7$	F^{III}	$= 1^{0}\ 2'\ 45''$
E^{I}	$= 22\ 44{,}3$	G^{I}	$= 18\ 28{,}7$
E^{II}	$= 45\ 27$	G^{II}	$= 37\ 3{,}3$
E^{III}	$= 1\ 8\ 14{,}7$	H^{I}	$= 16\ 58{,}5$
F^{I}	$= 20\ 56$	H^{II}	$= 33\ 58$
F^{II}	$= 41\ 53{,}7$		
C	$= 28\ 24$	F	$= 20\ 55{,}9$
D	$= 25\ 29$	G	$= 18\ 30{,}1$
E	$= 22\ 44{,}2$	H	$= 16\ 58{,}7$
$(\gamma+\delta)$ C	$= 0{,}00002425$	$(\gamma+\delta)$ F	$= 0{,}00001788$
$(\gamma+\delta)$ D	$= 0{,}00002176$	$(\gamma+\delta)$ G	$= 0{,}00001580$
$(\gamma+\delta)$ E	$= 0{,}00001942$	$(\gamma+\delta)$ H	$= 0{,}00001450$

Réseau à fils parallèles Nr. 4.

$\gamma = 0{,}000549$ $\qquad$ $\delta = 0{,}003359$

B^{II}	$= 44'\ 43''{,}7$	E^{VI}	$= 1^{0}\ 42'\ 46''{,}1$
C^{I}	$= 21\ 21{,}5$	E^{VII}	$= 1\ 59\ 56{,}6$
C^{II}	$= 42\ 40{,}9$	E^{IX}	$= 2\ 34\ 16$
C^{III}	$= 1^{0}\ 4\ -$	E^{X}	$= 2\ 51\ 24$
C^{IV}	$= 1\ 25\ 21{,}5$	E^{XI}	$= 3\ 8\ 30$
D^{I}	$= 19\ 10{,}7$	E^{XII}	$= 3\ 25\ 36$
D^{II}	$= 38\ 18{,}7$	E^{XIII}	$= 3\ 42\ 46$
D^{III}	$= 57\ 29{,}3$	F^{I}	$= 15\ 45{,}5$
D^{IV}	$= 1\ 16\ 37{,}7$	F^{II}	$= 31\ 32{,}3$
D^{V}	$= 1\ 35\ 47{,}3$	F^{III}	$= 47\ 24{,}7$
D^{VI}	$= 1\ 54\ 58{,}7$	F^{IV}	$= 1\ 3\ 10{,}2$
D^{VII}	$= 2\ 14\ 13{,}3$	G^{I}	$= 13\ 56{,}1$
E^{I}	$= 17\ 7{,}1$	G^{II}	$= 27\ 55{,}9$
E^{II}	$= 34\ 13{,}9$	G^{III}	$= 41\ 54{,}1$
E^{III}	$= 51\ 25{,}5$	H^{I}	$= 12\ 47{,}8$
E^{IV}	$= 1\ 8\ 32{,}2$	H^{II}	$= 25\ 37{,}6$
E^{V}	$= 1\ 25\ 42{,}7$	H^{III}	$= 38\ 33{,}4$
B	$= 22\ 21{,}8$	F	$= 15\ 46{,}8$
C	$= 21\ 20{,}5$	G	$= 13\ 57{,}3$
D	$= 19\ 9{,}8$	H	$= 12\ 49{,}2$
E	$= 17\ 8$		

$(\gamma + \delta)$ B = 0,00002542	$(\gamma + \delta)$ F = 0,00001794
$(\gamma + \delta)$ C = 0,00002426	$(\gamma + \delta)$ G = 0,00001586
$(\gamma + \delta)$ D = 0,00002178	$(\gamma + \delta)$ H = 0,00001457
$(\gamma + \delta)$ E = 0,00001947	

Réseau à fils parallèles Nr. 5.

γ = 0,003862 $\quad$ δ = 0,002021

C^{I}	= 14′ 8,″9	E^{IV}	= 45′ 21,″5
C^{II}	= 28 20,6	F^{I}	= 10 25,3
D^{I}	= 12 42	F^{II}	= 20 52,6
D^{II}	= 25 25,3	F^{III}	= 31 20,2
D^{III}	= 38 7,3	F^{IV}	= 41 45,2
D^{IV}	= 50 48,7	G^{I}	= 9 13
E^{I}	= 11 18,3	G^{II}	= 18 27,6
E^{II}	= 22 36,9	H^{I}	= 8 18
E^{III}	= 34 1,2		
C	= 14 9,6	F	= 10 26,1
D	= 12 42,3	G	= 9 13,4
E	= 11 19,5	H	= 8 18

$(\gamma + \delta)$ C = 0,00002423	$(\gamma + \delta)$ F = 0,00001786
$(\gamma + \delta)$ D = 0,00002174	$(\gamma + \delta)$ G = 0,00001578
$(\gamma + \delta)$ E = 0,00001938	$(\gamma + \delta)$ H = 0,00001420

Réseau à fils parallèles Nr. 6.

γ = 0,001036 $\quad$ δ = 0,006759

C^{II}	= 21′ 21,″8	E^{III}	= 25′ 39,″7
D^{I}	= 9 35,7	E^{IV}	= 34 15,9
D^{II}	= 19 11,7	E^{V}	= 42 48
D^{III}	= 28 45,3	E^{VI}	= 51 24,7
D^{IV}	= 38 20,3	E^{IX}	= 1° 17 8,3
D^{V}	= 47 55,7	E^{X}	= 1 25 46,7
D^{VI}	= 57 32,3	E^{XI}	= 1 34 17,3
D^{VII}	= 1 7 7,7	E^{XII}	= 1 42 52,3
E^{I}	= 8 33,4	E^{XIII}	= 1 51 24,3
E^{II}	= 17 6,5	F^{II}	= 15 43,8

F^{III}	= 23′ 36″,2	G^{II}	= 14′ 2″,1
F^{IV}	= 31 32,9	H^{II}	= 12 47,8
C	= 10 40,9	F	= 7 52,4
D	= 9 35,4	G	= 7 1
E	= 8 33,9	H	= 6 23,9
$(\gamma+\delta)$ C	= 0,00002422	$(\gamma+\delta)$ F	= 0,00001785
$(\gamma+\delta)$ D	= 0,00002175	$(\gamma+\delta)$ G	= 0,00001591
$(\gamma+\delta)$ E	= 0,00001942	$(\gamma+\delta)$ H	= 0,00001451

Réseau à fils parallèles Nr. 7.

γ = 0,00567 $\quad$ δ = 0,00610

D^{I}	= 6′ 20″,8	E^{III}	= 17′ —″
D^{II}	= 12 42,3	F^{I}	= 5 12,3
D^{III}	= 19 3,1	F^{II}	= 10 25,4
D^{IV}	= 25 23,8	F^{III}	= 15 39
D	= 6 20,9	F	= 5 12,6
E	= 5 40		
$(\gamma+\delta)$ D	= 0,00002174	$(\gamma+\delta)$ F	= 0,00001784
$(\gamma+\delta)$ E	= 0,00001940		

Réseau à fils parallèles Nr. 8.

γ = 0,014256 $\quad$ δ = 0,003299

D^{III}	= 12′ 46″,3	D^{VII}	= 29′ 50″,3
D^{IV}	= 17 1,8	D^{VIII}	= 34 2,3

D = 4′ 15″,47

L^{I}	= D^{V}	L^{III}	= 1° 4 18
L^{II}	= 43 10	L^{IV}	= 1 23 28

$(\gamma+\delta)$ D = 0,00002174

Réseau à fils parallèles Nr. 9.

$\gamma = 0{,}013470$ $\qquad$ $\delta = 0{,}006999$

$D^{IV} = 14' 34''{,}7$ $\qquad$ $D^{VII} = 25' 34''{,}7$

$D^{V} = 18\ 14{,}7$

$D = 3' 28''{,}9$

$L^{II} = 20\ 37$ $\qquad$ $L^{III} = 31\ 6$

$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002173$

Réseau à fils parallèles Nr. 10.

$\gamma = 0{,}002878$ $\qquad$ $\delta = 0{,}022486$

$D^{IV} = 11' 45''{,}7$ $\qquad$ $D^{VI} = 17' 41''$

$D^{V} = 14\ 44$

$D = 2' 56''{,}7$

$L^{I} = 24\ 47$ $\qquad$ $L^{III} = 1^{o}\ 15\ 32$

$L^{II} = 49\ 52$

$(\gamma + \delta)\ D = 0{,}00002173$

Une très-petite différence dans les distances des fils, ou dans la grandeur des interstices, est suivie de différences proportionelles dans la grandeur des spectres. La moindre irrégularité produit une confusion sensible dans les lignes et les bandes. Quelque exactitude que l'on mette à la construction des réseaux à fils parallèles, cette exactitude a ses bornes. Ce sont ces bornes qui font, qu'avec des réseaux dont les interstices sont très-petits, on ne voit pas toujours certaines lignes assez distinctement, pour en pouvoir déterminer la place avec certitude. Le réseau Nr. 1 a été dans ce cas et par conséquent la ligne B^{II} et les lignes du cinquième spectre, et des spectres suivants n'ont pu être déterminées avec la dernière exactitude. Les lignes B et H sont les moins sensibles de tout le spectre, quelque réseau à fils parallèles qu'on emploie, parce qu'elles sont l'une et l'autre presqu'à l'extrémité du spectre, et que, comparées aux autres lignes du spectre, elles ont le moins d'intensité.

Les spectres du réseau Nr. 4. ont pu être mesurés presque tous avec beaucoup de certitude. Pour quelques spectres je me suis servi du prisme oculaire. Au moyen de cet instrument j'ai pu déterminer la place de quelques lignes, cachées par d'autres spectres. Ce sont les lignes C^{III}, C^{IV}, G^{III}, H^{III}, qui ne sont pas visibles sans prisme.

C'est par ce que tant de spectres se couvrent les uns les autres, qu'on ne peut voir, dans ceux qui sont loin de l'axe, que les lignes qui sont dans la partie la plus intense. La ligne E et celles qui en sont tout près, sont de ce nombre. L'ensemble des spectres vus par le réseau Nr. 4. a un caractère particulier. Les spectres près de E^{VI} et E^{VII} sont faibles. E^{VIII} est invisible, mais les spectres suivants sont visibles. Cependant dans chacun de ces derniers une autre couleur paraît prédominer. Si l'on cherche à déterminer par le calcul, pour $\gamma = 0{,}00549$, c'est à dire pour la largeur de l'espace entre deux fils de ce réseau la place de la ligne L^{I}, quand la lumière ne passe que par une seule ouverture, on trouve que cette ligne est à peu près placée ou E^{VIII} devrait l'être. Nous verrons plus bas que c'est dans cette circonstance qu'il faut chercher la cause du phénomène dont nous venons de parler.

Avec le réseau Nr. 5, le quatrième spectre a trois fois plus de clarté à peu près que le troisième. La raison en est sans doute, parce qu'avec ce réseau L^{I} tombe dans le troisième spectre.

Le réseau Nr. 6 rend invisibles les lignes E^{VII} et E^{VIII}. Les E suivants sont dans des couleurs qui paraissent prédominer. Pour E^{IX} c'est le bleu; pour E^{X} le bleu-clair; pour E^{XI} le vert; pour E^{XII} le jaune; pour E^{XIII} l'orange. Avec ce réseau L^{I} tombe dans l'espace où E^{VII} et E^{VIII} devraient être. Les couleurs qui prédominent en E^{IX} etc. repondent à peu près, quant à la place, à celles que présente le second spectre de première classe, lorsque l'ouverture a 0,006759 de pouce, ce qui est aussi la mesure des insterstices du réseau Nr. 6.

Le réseau Nr. 7. répand sur le troisième spectre une clarté de moitié plus grande, que sur le second.

Comme au moyen du réseau Nr. 8. le premier spectre n'occupe qu'un espace à peu près de deux minutes, des oculaires qui grossissent même 50 fois, ne sauraient encore, même dans les couleurs les plus claires, rendre les raies fixes visibles. D était visible dans le troisième et le quatrième spectre. Les autres lignes ne l'étaient pas assez pour qu'on en pût déterminer la place avec certitude. Le cinquième spectre est presque invisible. On ne remarque que faiblement le sixième. Le septième a beaucoup plus de clarté que le sixième. Au moyen de ce réseau les spectres de première classe se distinguent facilement. Pour en trouver la place par le calcul, et comparer les résultats avec l'observation, il faut, pour ce réseau, dont les fils ont un diamètre moins large que les interstices, substituer δ à γ, ce qu'il faut faire dans tous les cas lorsque cette première grandeur est plus petite que la dernière. On en verra la raison dans les expériences particulières faites dans ce but.

Avec le réseau Nr. 9 les lignes des premiers spectres n'étaient non plus visibles. Le troisième spectre se remarque à peine. Il n'y en a qu'une faible trace. Il en est de même du sixième et du neuvième. L^{I}, L^{II} etc. tombent dans l'espace où devraient être ces spectres. Pour trouver ces grandeurs par le calcul, il faut substituer δ à γ.

Avec le réseau Nr. 10 on n'a pu voir que dans le quatrième spectre la ligne D avec quelque certitude. Le huitième spectre a moins de clarté que le dixième. Le neuvième paraît manquer. Le dixhuitième est comme invisible. Avec ce réseau L^I et L^{II} tombent aussi dans un espace où manquent des spectres.

En comparant les valeurs de $(\gamma + \delta)$ D etc. pour les différents réseaux on pourra juger du haut dégré de précision avec lequel ces observations peuvent être faites. Celui qui ne crairait pas à la possibilité d'une telle exactitude, relativement à la détermination de γ et δ, doit considérer qu'au moyen du microscope décrit ci-dessus, on mesure p. E. 100 pas de la vis qui porte les fils et qu'en divisant la mesure qu'on a trouvée par le nombre des pas c. à d. par 100, on obtient dans beaucoup de cas la somme $\gamma + \delta$ très-exacte même jusqu'à la sixième décimale inclusivement.

Voici les lois qui résultent des expériences faites avec ces différents réseaux à fils parallèles:

Pour deux réseaux différents, dont les fils tendus parallèlement à distances égales sont de même grosseur, la grandeur des spectres qui resultent de l'influence réciproque d'un grand nombre de rayons diffractés par des ouvertures étroites, et leur éloignement de l'axe sont en raison inverse des intervalles, c. à d. $(\gamma + \delta)$.

Par intervalle nous entendons l'espace pris du milieu d'un interstice au milieu de l'autre, ou ce qui revient au même, la somme du diamètre du fil et de la largeur de l'interstice.

Pour tous les spectres parfaits de seconde classe, les distances entre les rayons colorés de même nature des différents spectres, forment une progression arithmétique, dont la différence est égale au premier terme.

Pour un réseau dont le diamètre des fils parallèles et la largeur des interstices est exprimé en fractions du pouce de Paris, est en général:

$$B = \frac{0{,}00002541}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00002425}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00002175}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001943}{\gamma + \delta}$$

$$F = \frac{0{,}00001789}{\gamma + \delta}$$

$$G = \frac{0{,}00001585}{\gamma + \delta}$$

$$H = \frac{0{,}00001451}{\gamma + \delta}$$

Les proportions entre les espaces qu'occupent les différentes couleurs dans les spectres formés par des réseaux à fils parallèles sont très-remarquables. L'espace C D p. E. est à très-peu près, à l'espace G H, comme 2 : 1; mais pour un spectre que donne un prisme de 27°, ces espaces sont à peu près comme 1 : 2; et pour l'eau presque comme 2 : 3.

J'ai déjà rappelé plus haut que pour apercevoir les lignes des spectres de seconde classe, l'oculaire de la lunette doit être placé de manière, qu'on voie sans réseau l'ouverture de l'héliostat absolument nette. Le moindre déplacement de l'oculaire fait qu'on n'aperçoit que faiblement les lignes, ou qu'on ne les voit pas du tout. Par conséquent les rayons, après avoir été modifiés par les fils du réseau, divergent de la même manière comme sans cette modification.

Si l'on place le réseau à une distance considérable de l'objectif, de manière cependant que les rayons que l'héliostat envoye à la lunette passent par le réseau, on voit avec un oculaire placé comme nous venons de le dire, les spectres, de la même manière qu'on les verrait, si les fils parallèles du réseau étaient tout près de l'objectif. Mais on trouve, au moyen du théodolite, que la distance entre les rayons colorés et l'axe est plus petite. Nous allons voir pourquoi.

Lorsque le réseau ab, Fig. 5 Planche II, est dans l'axe c du théodolite, et que le rayon incident hc se divise en deux rayons, cf et ce, il faudra pour avoir, p. E. le rayon ce au milieu du champ de la lunette, c. à d. dans l'axe de la lunette, supposé que cette axe fut d'abord parallèle au rayon incident, tourner la lunette de manière à lui donner la direction ceg; c'est à dire que l'espace qu'on lui aura fait parcourir, sera la moitié de l'angle fce. Or, cet angle est celui que le rayon, en se divisant, fait avec l'axe. Mais si le réseau mn Fig. 6. est hors du centre c du théodolite, il faudra tourner la lunette d'un côté vers rm, et de l'autre vers qn pour avoir dans le champ de la lunette l'un ou l'autre des deux rayons. Celui qui dans ce cas se trouvera dans l'axe de la lunette n'aura point passé par le milieu mn du réseau, et l'angle qcr qui est la mesure du chemin qu'a fait la lunette pour passer d'un rayon à l'autre, est plus petit que l'angle de déviation umc ou cnv, et la différence est égale à l'angle mhn. Pour la moitié de cet angle

$$\text{sin. } mhk = \frac{mc \cdot \text{sin. } mck}{mh}$$

Cet angle mhk, je le désignerai pour D^I par la lettre d^I, pour D^{II} par la lettre d^{II} et ainsi de suite. Dans les expériences suivantes j'ai mesuré avec le théodolite les angles D^I, D^{II} etc. Dans toutes ces expériences $ch = 463{,}56$ et $cm = cn = 33{,}02$ pouces.

Réseau à fils parallèles Nr. 3.

D^{I}	=	23′ 41″	d^{I}	=	1′ 48″,9
D^{II}	=	47 23	d^{II}	=	3 38

Réseau à fils parallèles Nr. 4.

D^{I}	=	17 47,3	d^{I}	=	1 21,8
D^{II}	=	35 35,3	d^{II}	=	3 43,7
D^{III}	=	53 24,3	d^{III}	=	4 5,7
D^{IV}	=	1° 11 14	d^{IV}	=	5 27,7

Réseau à fils parallèles Nr. 5.

D^{II}	=	23 32	d^{II}	=	1 48,2
D^{III}	=	35 22	d^{III}	=	2 42,8
D^{IV}	=	47 24	d^{IV}	=	3 38,1

Les sommes $D^{I} + d^{I}$, $D^{II} + d^{II}$ etc. sont à très-peu près égales à l'angle, qu'on obtient lorsqu'on place le réseau dans l'axe du théodolite. Le dégré de précision auquel on peut parvenir dans ces expériences, n'a pu être aussi grand que celui auquel on arrive, lorsque le réseau est dans l'axe même de l'instrument, en partie parce que le réseau était en contact avec le sol peu solide de l'appartement; en partie parce qu'il est bien difficile de mesurer avec l'exactitude nécessaire ici, des distances de quelques pieds. J'ai mesuré à de plus grandes distances encore du théodolite l'angle de déviation; mais dans ces expériences la correspondance des sommes $D^{I} + d^{I}$ etc. avec les angles que l'on obtient, lorsque le réseau est dans l'axe même du théodolite est moins grande qu'on ne devrait l'attendre. Je ferai à l'avenir de nouvelles recherches sur ce point.

Lorsque le rayon de lumière arrive à l'objectif en passant par deux réseaux, absolument égaux, placés l'un derrière l'autre, les spectres, quant à leur grandeur, sont comme si le rayon ne passait qu'entre les fils d'un seul réseau; mais si p. E. $\gamma + \delta$ de l'un des réseaux, est le double de celui de l'autre, la distance où les spectres sont de l'axe, est comme elle le serait, si l'on plaçait le plus fin des deux réseaux devant l'objectif.

Influence réciproque de deux, trois etc. rayons diffractés.

Lorsqu'au moyen de deux écrans, dont les biseaux, parfaitement allignés et verticaux, se regardent l'un l'autre, on recouvre les interstices du réseau, de manière à n'en laisser qu'un seul découvert, et qu'on dirige ensuite sur cette ouverture le rayon solaire, les phénomènes seront, comme on devait s'y attendre, exactement les mêmes que ceux que donne une seule ouverture de la même largeur. Les spectres seront par conséquent des spectres de première classe, et tels que ceux Fig. III. Pl. I. Place-t-on les deux écrans de manière que les rayons lumineux passent par deux interstices, et que par conséquent deux rayons diffractés arrivent à l'objectif, on voit dans le champ de la lunette, et cela dans l'espace où L^I L^I se trouvaient auparavant, une nouvelle espèce de spectre, tels que M^I, M^{II} etc. Fig. II. Je nommerai ces spectres, *spectres de seconde classe*, *imparfaits*. Dans ces derniers, l'espace $M^I M^I$, relativement aux couleurs et à la manière dont elles se succèdent, est absolument pareil à l'espace $L^I L^I$ dans les spectres de première classe. De même les espaces $M^I M^{II}$ à $L^I L^{II}$ etc. sont sous ce rapport semblables. Ils ne sont visibles que dans l'espace qu'occupe $L^I L^I$, lorsque le rayon lumineux ne passe que par une seule ouverture. Hors de cet espace les spectres sont exactement comme ceux que donne une seule ouverture. On voit donc, lorsque deux rayons diffractés arrivent à l'objectif, les spectres imparfaits de seconde classe en même temps que ceux de première classe. Nous verrons plus bas, dans quelle proportion la grandeur des spectres imparfaits de seconde classe, est à la largeur des interstices etc. Je désignerai l'extrémité rouge de ces spectres par les lettres M^I, M^{II}, M^{III} etc.

Si l'on place les deux écrans devant le réseau de manière que la lumière passe par trois interstices, on voit de nouveaux spectres se former dans l'espace $M^I M^I$, Fig. II., presque de la même manière que nous les avons vu se former dans l'espace $L^I L^I$. Abstraction faite de la grandeur, ils ressemblent complètement aux précédents relativement aux séries des couleurs, et on ne voit ces spectres que dans l'espace $M^I M^I$. Je nommerai cette nouvelle espèce de spectres, *spectres de la troisième classe*, et j'en désignerai l'extremité rouge par les lettres N^I, N^{II}, N^{III}. Hors de l'espace $M^I M^I$ on voit encore des spectres imparfaits de seconde classe, à peu près comme ils resultent de deux rayons diffractés. Cependant quelques réseaux modifient leurs distances à l'axe. De même les spectres de première classe ressemblent encore à ceux que donnent deux rayons diffractés. On voit donc dans ce cas trois différentes espèces de spectres, des spectres de troisième classe, des spectres imparfaits de seconde classe et des spectres de première classe. Nous verrons plus bas le rapport qui existe entre la grandeur des interstices des réseaux et la grandeur des spectres de troisième classe.

Quatre rayons diffractés donnent trois espèces de spectres, ceux de première classe, ceux imparfaits de seconde classe, et ceux de troisième classe. Ces derniers cependant

sont beaucoup plus petits, que lorsqu'il n'y a que deux rayons diffractés qui arrivent à l'objectif. Les spectres imparfaits de seconde classe n'ont été que bien peu modifiés.

Avec cinq rayons diffractés, les spectres de troisième classe sont plus petits encore, qu'avec quatre; tandis que les spectres imparfaits de seconde classe n'ont subi que de legères modifications.

Six rayons diffractés donnent des spectres de troisième classe, plus petits encore. Ceux de sept rayons sont encore plus petits, leur grandeur diminue donc en raison du nombre des rayons, jusqu'à ce qu'enfin on ne puisse plus les distinguer, et qu'il ne reste qu'une ligne incolore, lumineuse, qui ressemble parfaitement à celle qui nait, dans le champ de la lunette, de l'ouverture de l'héliostat. Cependant à mesure que les rayons se multiplient, les spectres de seconde classe se modifient peu à peu, tant par rapport à leur grouppement, que par rapport à leur éloignement de l'axe, et ils se rapprochent à tous égards des spectres parfaits de seconde classe. Ce n'est que lorsqu'un très-grand nombre de rayons diffractés influent à distances égales les uns sur les autres, que les lignes fixes des spectres deviennent visibles et les couleurs homogènes.

Dans les expériences suivantes N^I, N^{II} etc. est l'extremité rouge de chaque spectre de troisième classe. Il en est de même de M^I, M^{II} etc. pour les spectres imparfaits de seconde classe, ce que j'ai déjà rappelé plus haut, et ce que j'ai adopté aussi pour les spectres de première classe. Mes remarques sur ces derniers, relativement à la précision des observations, doivent s'appliquer aussi aux suivants. Les angles M^I, M^{II} etc. sont partout les distances à l'axe.

Réseau Nr. 6.

Pour deux rayons diffractés:

M^I	=	$4' 32''$
M^{II}	=	13 32
M^{III}	=	22 42
M^{IV}	=	31 52,7

Pour trois rayons diffractés:

N^I	=	$3' 1''$
N^{II}	=	5 57
M^{II}	=	12 16,3
M^{III}	=	22 11,3
M^{IV}	=	31 44

Pour quatre rayons diffractés:

N^I	=	$2' 15'',3$
N^{II}	=	4 28,7
N^{III}	=	6 35
M^{II}	=	11 46,7
M^{III}	=	21 59,3
M^{IV}	=	31 40,3

Pour cinq rayons diffractés:

N^I	=	$1' 45''$
N^{II}	=	3 34,3
N^{III}	=	5 21,3

M^{II} = 11′ 38,″3
M^{III} = 21 53,3
M^{IV} = 31 37

Pour six rayons diffractés:

N^{I} = 1′ 28,″8
N^{II} = 3 4,3
N^{III} = 4 29,7
N^{IV} = 5 54,7

M^{II} = 11 25,7
M^{III} = 21 48
M^{IV} = 31 31

Pour sept rayons diffractés:

N^{I} = 1′ 15,″6
N^{II} = 2 34
N^{III} = 3′ 49,″7
N^{IV} = 5 10,7

M^{II} = 11 14,7
M^{III} = 21 52,7
M^{IV} = 31 36,7

Pour huit rayons diffractés:

N^{I} = 1′ 4,″5
N^{II} = 2 14,7
N^{III} = 3 19,7
N^{IV} = 4 26,7
N^{V} = 5 40

M^{II} = 11 4
M^{III} = 21 50
M^{IV} = 31 30,7

Réseau Nr. 10.

Pour deux rayons diffractés:

M^{I} = 1′ 23,″3
M^{II} = 4 8,7
M^{III} = 7 0,3
M^{IV} = 9 53
M^{V} = 12 43,3

L^{I} = 23 21
L^{II} = 48 4
L^{III} = 1° 13 50

Pour trois rayons diffractés:

N^{I} = ′ 57,″3
N^{II} = 1 50,7

M^{II} = 3 49,7
M^{III} = 6 54
M^{IV} = 9′ 48,″7
M^{V} = 12 42,7

L^{I} = 24 1
L^{II} = 48 30
L^{III} = 1° 14 1

Pour quatre rayons diffractés:

N^{I} = ′ 43,″6
N^{II} = 1 23,7
N^{III} = 2 3

M^{II} = 3 39,3
M^{III} = 6 51,7
M^{IV} = 9 48
M^{V} = 12 42,3

L^{I}	=	24′ 27″
L^{II}	=	48 55
L^{III}	=	1° 14 50

Pour cinq rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 35,″5
N^{II}	=	1 8,3
M^{II}	=	3 34,3
M^{III}	=	6 50
M^{IV}	=	9 48
M^{V}	=	12 42,7

L^{I}	=	24′ 50″
L^{II}	=	49 10
L^{III}	=	1° 15 2

Pour six rayons diffractés:

M^{II}	=	3′ 33,″3
M^{III}	=	6 51
L^{I}	=	24 43
L^{II}	=	49 40
L^{III}	=	1° 14 48

Réseau Nr. 9.

Pour deux rayons diffractés:

M^{I}	=	1′ 42,″7
M^{II}	=	5 10
M^{III}	=	8 56
M^{V}	=	15 45,3
M^{VI}	=	20 12

Pour trois rayons diffractés:

N^{I}	=	1′ 9,″3
N^{II}	=	2 18,3
M^{II}	=	4 44
M^{III}	=	8 40
M^{V}	=	15 48,3
M^{VI}	=	20 17,7

Pour quatre rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 54″
N^{II}	=	1 45,3
N^{III}	=	2 34,3
M^{II}	=	4 33,7
M^{III}	=	8 30
M^{V}	=	15′ 50″
M^{VI}	=	20 3,7

Pour cinq rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 44″
N^{II}	=	1 25,3
N^{III}	=	2 4,3
M^{II}	=	4 29,3
M^{III}	=	8 37,3
M^{V}	=	15 56,7
M^{VI}	=	20 16,7

Pour six rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 37″
N^{II}	=	1 12
N^{III}	=	1 46
N^{IV}	=	2 21
M^{II}	=	4 24
M^{III}	=	8 29
M^{V}	=	15 50
M^{VI}	=	20 20

Réseau Nr. 8.

Pour deux rayons diffractés:

M^{I}	=	2′ —″
M^{II}	=	5 20,7
M^{III}	=	10 22,3
M^{IV}	=	14 45,7
M^{V}	=	19 5

Pour trois rayons diffractés:

N^{I}	=	1′ 24,7″
N^{II}	=	2 48,7
M^{II}	=	5 12
M^{III}	=	9 58,7
M^{IV}	=	14 44
M^{V}	=	19 —

Pour quatre rayons diffractés:

N^{I}	=	1′ 4,5″
N^{II}	=	2 10
N^{III}	=	3 14,5
M^{II}	=	5 12
M^{III}	=	9 54,3
M^{IV}	=	14′ 22,7″
M^{V}	=	18 46,7

Pour cinq rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 51″
N^{II}	=	1 41,7
N^{III}	=	2 28,7
M^{II}	=	5 10
M^{III}	=	9 52
M^{IV}	=	14 22
M^{V}	=	18 43

Pour six rayons diffractés:

N^{I}	=	′ 43″
N^{II}	=	1 24,7
N^{III}	=	2 7
M^{II}	=	5 6
M^{III}	=	9 53
M^{IV}	=	14 20

Avec six rayons diffractés on voit, au moyen de tout réseau, même N^{IV} et N^{V}, mais il n'est pas facile dans tous les cas, de donner avec la même exactitude la mesure de l'angle pour tous ces rayons.

En restant dans les limites de l'exactitude, il résulte des observations précédentes:

Que pour un seul et même réseau, mais un nombre d'interstices différent, la distance où les spectres de troisième classe sont de l'axe, est en raison inverse du nombre des rayons lumineux, diffractés par les interstices qui séparent les fils, c'est-à-dire en raison du nombre de ces interstices, à commencer par trois.

Avec des réseaux différents, mais un même nombre d'interstices, la distance où les spectres de troisième classe sont de l'axe, et la grandeur de ces spectres, sont en raison inverse de $\gamma + \delta$.

Pour les spectres de troisième classe, les distances de ces spectres à l'axe forment une progression arithmétique, dont la différence est égale au premier terme.

En général,

Pour trois rayons diffractés:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{3\ (\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2 \cdot \frac{0{,}0000208}{3\ (\gamma+\delta)}$$

Pour quatre rayons diffractés:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{4\ (\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2 \cdot \frac{0{,}0000208}{4\ (\gamma+\delta)}$$

$$N^{III} = 3 \cdot \frac{0{,}0000208}{4\ (\gamma+\delta)}$$

Pour cinq rayons diffractés:

$$N^{I} = \frac{0{,}0000208}{5\ (\gamma+\delta)} \qquad N^{II} = 2 \cdot \frac{0{,}0000208}{5\ (\gamma+\delta)}$$

$$N^{III} = 3 \cdot \frac{0{,}0000208}{5\ (\gamma+\delta)}$$

L'espace $K\,M^{I}$ Fig. II. Planche I. que l'on voit quand deux rayons diffractés influent l'un sur l'autre, contient les spectres de troisième classe, produits par l'influence de trois, quatre etc. rayons diffractés. Voilà pourquoi, lorsque trois, quatre rayons et plus influent à la fois, M^{I} n'est plus visible, et dans ce cas, M^{II} est l'extrémité rouge du premier spectre imparfait de seconde classe, ce qu'il faut bien considérer, lorsqu'on compare les spectres parfaits avec les imparfaits. Comme les spectres de troisième classe, contenus dans l'espace $K\,M^{I}$ décroissent d'autant plus, que le nombre des rayons qui agissent simultanément est plus grand, et que ces spectres, lorsque le nombre des rayons est très-grand, décroissent tellement, qu'il n'est plus possible de les distinguer, et que dans ce cas on ne voit plus qu'une ligne lumineuse incolore, il faut que l'espace entre K et M^{I} soit sans lumière, parce qu'à mesure que le nombre des rayons augmente, les spectres imparfaits de seconde classe ne changent pas proportionellement de place.

Avec le réseau Nr. 9 M^{IV} n'est pas visible, parce que L^{I} en est trop voisin. Comme pour ce réseau γ est plus grand que δ, il faut pour trouver L^{I} par le calcul,

substituer cette dernière grandeur à la première. En voici la raison. Pour produire des spectres de première classe, il faut que le rayon lumineux soit diffracté par deux bords ou deux biseaux, très-voisins l'un de l'autre, il n'est pas nécessaire que les deux tranchants se regardent l'un l'autre, ils peuvent être tournés en sens opposé, pourvu qu'ils soient très-peu distants l'un de l'autre, comme les deux bords d'une lame étroite de métal, un fil metallique ou autre. Mais dans ce cas les spectres de première classe ne peuvent pas être bien observés, parce qu'ils plongent dans de la lumière blanche non diffractée. Cependant, au moyen d'une lunette, on peut se convaincre de leur existence. J'ai tendu, dans ce but, au milieu de l'ouverture d'un écran, ouverture large d'un quart de pouce, un fil, du diamètre de 0,02287 de pouce. J'ai placé cet écran devant la lunette, de manière que le fil était vertical. Les spectres de première classe, produits par l'ouverture large de l'écran, $\gamma = \frac{1}{4}$ de pouce, doivent être tellement petits, qu'ils sont à peine à distinguer, et l'on doit voir l'ouverture de l'héliostat dans le champ de la lunette, comme on la verrait sans l'écran. Mais si le fil tendu au milieu de l'ouverture de l'écran produit des spectres, ces spectres doivent paraître de deux côtés de l'ouverture de l'héliostat; et c'est aussi ce qui a lieu. La largeur de l'ouverture de l'écran fait que l'ouverture de l'héliostat est si lumineuse, que l'oeil en supporte à peine l'éclat: mais des deux côtés sont des spectres de première classe, auquels le fil tendu au milieu de l'ouverture de l'écran, a donné naissance. L'éclat de la lumière dans l'axe est trop grand, pour que L^{I} puisse être mesuré; mais j'ai trouvé $L^{II} = 6' 16''$ et $L^{III} = 9' 30$. Si pour trouver par le calcul L^{II} et L^{III} on prend pour la valeur de γ le diamètre du fil $= 0{,}02287$, on obtient pour les angles dont je viens de parler, des valeurs qui se rapprochent de l'observation, autant que les circonstances, que j'ai indiquées, semblent le permettre*). Pour obtenir des spectres de première classe, il n'est par conséquent pas nécessaire, que les bords qui diffractent le rayon lumineux, se regardent l'un l'autre, ils peuvent être tournés en sens opposé, comme le sont les bords d'un fil. Dans le réseau Nr. 9 les bords des fils sont plus près l'un de l'autre que ne le sont les unes des autres les limites de l'espace qui les séparent. Voilà pourquoi les fils contribuent pour leur part à la production des spectres de première classe.

Les spectres imparfaits de seconde classe sont souvent modifiés par la position des spectres de première classe, et ces modifications dépendent outre cela encore du nombre plus ou moins grand de rayons qui agissent simultanément. La loi que suivent ces petites altérations ne saurait être déduite des expériences rapportées jusqu'ici; il en faut de nouvelles. Cependant nous pouvons déjà conclure de celles que nous connaissons, que pour des réseaux différents, la grandeur des spectres et leur distance à l'axe, sont à très-peu près, en raison inverse de $\gamma + \delta$; de plus que par l'action

*) Ces expériences méritent d'être continuées, parce que dans certains cas on obtient des résultats qui sont hors des limites de l'exactitude.

réciproque de deux rayons, M^{I} est considérablement plus petit, que les différences, c'est à dire $M^{II} - M^{I}$, $M^{III} - M^{II}$ et ainsi de suite; voilà pourquoi ces spectres diffèrent si sensiblement, par rapport à la série des distances des rayons colorés à l'axe, aussi bien de ceux qui sont produits par un trou rond, que de ceux qui résultent d'une ouverture longue et étroite. Pour les réseaux, où δ est plus grand que γ, il n'est pas difficile de découvrir la loi que suivent les spectres imparfaits de seconde classe, comme p. E. pour les réseaux Nr. 6 et 10.

Il n'est presque pas possible de mesurer avec grande exactitude les angles L^{I}, L^{II} etc., lorsque deux, trois rayons ou plus influent simultanément. Voilà pourquoi l'on ne saurait obtenir des résultats sûrs, relativement aux modifications que subissent ces angles, lorsque trois, quatre rayons et plus sont diffractés par le réseau Nr. 10. L'une des raisons en est, qu'il est presque impossible de faire trois ou quatre interstices absolument égaux entre eux, quand même les centres du diamètre des fils seraient à distances égales l'un de l'autre. Nous savons par nos expériences, faites avec un seul rayon diffracté, jusqu'à quel point les distances des spectres (à l'axe) changent lorsqu'avec une ouverture déjà très-petite la largeur de cette ouverture, c'est-à-dire γ, ne change que peu sensiblement. Voilà pourquoi, lorsque trois rayons sont diffractés, on obtient si souvent quelques changements dans la distance où les spectres de première classe devraient être de l'axe, lorsque deux, quatre etc. rayons sont diffractés. Cette inégalité des interstices a beaucoup moins d'influence sur les spectres de seconde et de troisième classe.

Influence reciproque des rayons diffractés dans l'eau et dans d'autres substances réfringentes.

Que les deux parois opposés ab et de du vase $abde$, Fig. 7. Planche II. soient des plateaux de verre exactement plans, que leurs surfaces soient parfaitement parallèles, et que ces deux plateaux soient placés de manière, que l'un soit parallel à l'autre. Remplissons ce vase, qui doit être suffisamment profond, d'un fluide réfringent, d'eau p. E., et plaçons-y un réseau fg, alors il est clair, que les rayons ks et kr, formés par le rayon incident hk en passant par le réseau, seront déviés de la ligne droite au sortir du fluide réfringent, et seront réfractés, d'après les lois de la réfraction, dans les directions mq et np. Si l'on place ce vase au milieu du plateau du théodolite, et qu'on mesure l'angle pcq formé par les rayons émergents, il faudra diviser le sinus de la moitié de cet angle, par l'exposant du rapport de réfraction de la substance réfringente, pour le rayon coloré dont il est question, pour obtenir le sinus de la moitié de l'angle rks, c'est-à-dire l'angle que forment les rayons déviés dans l'eau,

par leur influence respective. En plaçant dans différents fluides, dans l'eau, dans l'huile de térébenthine, dans l'huile d'anis, différents réseaux, j'ai déterminé, pour les différents rayons colorés les angles de déviation, et je donne ici les resultats généraux que j'ai obtenus. Je remarque en même temps, que lorsque le point c n'est pas dans l'axe même du théodolite, il faut pour pouvoir parvenir à des résultats exacts, faire quelque correction à la mesure des angles, à cause de la distance où ce point est de l'axe. Les mêmes lettres désignent ici les mêmes choses que ci-dessus.

Dans l'eau:

$$B = \frac{0{,}00001909}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001338}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001821}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001181}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001631}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00001082}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001368}{\gamma + \delta}$$

Dans l'huile de térébenthine:

$$B = \frac{0{,}00001730}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001208}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001648}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001064}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001475}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00000973}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001315}{\gamma + \delta}$$

Dans l'huile d'anis:

$$B = \frac{0{,}00001651}{\gamma + \delta} \qquad F = \frac{0{,}00001144}{\gamma + \delta}$$

$$C = \frac{0{,}00001573}{\gamma + \delta} \qquad G = \frac{0{,}00001003}{\gamma + \delta}$$

$$D = \frac{0{,}00001405}{\gamma + \delta} \qquad H = \frac{0{,}00000909}{\gamma + \delta}$$

$$E = \frac{0{,}00001249}{\gamma + \delta}$$

Il résulte de ces données, que l'angle du rayon dévié par un réseau, est d'autant plus petit, plus le pouvoir réfringent du milieu dans lequel plonge le réseau est grand. Si l'on multiplie les valeurs qui viennent d'être trouvées, par l'exposant du rapport de réfraction, pour le rayon coloré dont il est question, on obtiendra le même angle que donne le réseau, quand l'air est le milieu où il se trouve placé. Il s'en suit:

Que dans différentes substances réfringentes, les réseaux étant les mêmes, les sinus des angles des rayons déviés par des influences réciproques, sont en raison inverse des exposants des rapports de réfraction.

Soit (Bn) l'exposant du rapport de réfraction pour le rayon B, (Cn) l'exposant du rapport pour le rayon C etc., on aura:

$$B = \frac{0{,}00002541}{(\gamma+\delta)(Bn)} \qquad F = \frac{0{,}00001789}{(\gamma+\delta)(Fn)}$$

$$C = \frac{0{,}00002425}{(\gamma+\delta)(Cn)} \qquad G = \frac{0{,}00001585}{(\gamma+\delta)(Gn)}$$

$$D = \frac{0{,}00002175}{(\gamma+\delta)(Dn)} \qquad H = \frac{0{,}00001451}{(\gamma+\delta)(Hn)}$$

$$E = \frac{0{,}00001943}{(\gamma+\delta)(En)}$$

Les autres lois sont les mêmes que celles qui résultent de l'influence d'un écran placé dans l'air. La même loi a lieu encore pour les spectres de première*) et de troisième classe; mais je ne suis pas encore pleinement convaincu, que cette loi soit exactement applicable aux spectres imparfaits de seconde classe.

Influence réciproque des rayons diffractés par réflexion.

Un plateau de verre bien plan, dont une des faces est parfaitement recouverte de feuilles d'or battu, forme un miroir qui réfléchit beaucoup de rayons de lumière. A-t-on tracé dans la couche d'or, à distances égales, des lignes parallèles de même largeur, et place-t-on ce réseau devant la lunette, de manière que le rayon lumineux,

*) M. M. *Biot* et *Pouillet* avaient déjà trouvé, que les franges colorées qui forment les limites de l'ombre, lorsqu'on dirige par une ouverture étroite le rayon lumineux sur un plateau de verre dépoli, sont plus petites dans l'eau, dans les proportions que nous venons de donner. Biot, Traité de Physique exp. et. math. T. 4.

qui part de l'ouverture étroite de l'héliostat soit réfléchi vers l'objectif par les petits filets d'or du plateau, on voit dans le champ de la lunette tous les phénomènes qu'on obtiendrait, si la lumière passait immédiatement par les interstices du réseau; c'est-à-dire des spectres parfaits de seconde classe avec toutes leurs lignes et leurs bandes, et des spectres de première classe. Comme les deux faces du plateau réfléchissent dans tous leurs points une partie de la lumière incidente, lumière que l'on ne voit au moyen de la lunette que dans l'axe même, il y a-en A tant de lumière, que l'on a peine à reconnaître les lignes du premier spectre, mais on les voit si bien dans les autres, qu'on en peut déterminer la place avec exactitude. La couleur de l'or répand sur le tout des teintes un peu jaunâtres, et même sur les espaces qui d'ailleurs sont sans lumière.

Pour que la lumière réfléchie puisse parvenir à l'objectif, il faut que la lumière incidente arrive un peu obliquement à la surface du verre qui doit la réfléchir. Plus l'angle d'obliquité est petit, plus les spectres sont grands, plus ils s'éloignent de l'axe. Les expériences suivantes nous feront mieux connaître ce phénomène. J'avertis, que dans ces expériences, comme dans toutes les autres, l'ouverture de l'héliostat était verticale, et que les filets d'or du plateau étaient pareillement perpendiculaires à l'horizon. J'avertis encore, que la surface destinée à réfléchir la lumière, était posée sur le plateau horizontal, dans l'axe même du théodolite. La lettre φ désigne l'angle d'incidence.

Réseau Nr. 4.

$\varphi = 25^{0}\ 48'.$

D^{I}	$= 21'\ 16''$	D^{III}	$= 1^{0}\ 3'\ 47''$
D^{II}	$= 42\ 34$	D^{IV}	$= 1\ 25\ 4$

Les angles sont, comme on le voit, plus grands qu'ils ne le sont, lorsque le rayon lumineux passe, perpendiculairement au réseau, par les interstices de cet appareil. Voici la raison de ce changement. Soit $ahgk$ Fig. 8. Planche II. un plateau de verre, et $ag = hk$; que la surface gk soit recouverte de feuilles d'or battu; le rayon incident me sera réfracté en ef et du point f il sera réfléchi en fc. Si l'on a tracé dans l'or des lignes parallèles, la lumière sera déviée. L'un des deux rayons suivra la route fb, l'autre qui lui est symmétrique, la route fd. Au sortir du verre le premier sera réfracté vers bn, l'autre vers dq, mais l'axe de ces rayons, c'est-à-dire le rayon non dévié par les filets d'or, suivra la ligne cp. Pour le rayon incident ef, qui aboutit en f à l'or de la surface gk, la grandeur des intervalles, c'est-à-dire des distances qui sont entre le milieu d'un interstice et le milieu de l'autre, sera dans le rapport du sinus de l'angle efg plus petite que lorsque le rayon lumineux est perpendiculaire à la surface du réseau. Si (D n) est, comme ci-dessus, l'exposant du rapport de réfraction pour le rayon D, on aura:

$$\frac{\text{cos. } mea}{(\text{Dn})} = \text{cos. } bef$$

$$bef = efg = cfk = ecf$$

Après ce qui a été dit plus haut, relativement à l'angle de déviation produit par l'influence réciproque des rayons diffractés dans un milieu réfringent et d'après ce qui vient d'être dit ici:

$$\text{sin. } D^{I} = \frac{0{,}00002175}{(\gamma + \delta)\,(\text{Dn})\,\text{sin. } efg} = \text{sin. } cfb = \text{sin. } cfd$$

$$(\text{Dn})\,\text{cos. } (ecf + D^{I}) = \text{cos. } nbh;$$

$$(\text{Dn})\,\text{cos. } (ecf - D^{I}) = \text{cos. } qdh;$$

Si l'on calcule de cette manière les angles de déviation des rayons par le réseau Nr. 4, l'angle d'incidence donné étant $rem = \varphi$, et le pouvoir réfringent étant celui du Crownglas, dont était le plateau, on aura, à très-peu près, les angles obtenus dans ces expériences. Pour les autres rayons colorés le calcul est le même.

Si l'on enlève tout l'or du plateau, à une seule bande près, très étroite, la lumière réfléchie par cette bande produira dans le champ de la lunette les mêmes spectres, qu'on obtiendrait, si la lumière avait passé par une ouverture étroite de la même largeur *); mais la lumière réfléchie par les surfaces du plateau empêche qu'on ne puisse mesurer exactement la distance des spectres à l'axe.

Comme les filets d'or qui réfléchissent la lumière font ici les mêmes fonctions que les interstices qui la laissent passer, que par cons. γ devient δ, et que cependant, au moyen de la lumière réfléchie, les spectres de première classe se trouvent dans le même espace qu'occupent ceux que produit la lumière qui passe par les interstices du réseau, on voit de nouveau par là, que pour trouver par le calcul la place des spectres de première classe, il n'y a qu'à prendre la plus petite de ces deux grandeurs.

Influence réciproque des rayons diffractés par des ouvertures rondes et carrées.

Dans les cas que nous avons examinés jusqu'ici, les rayons diffractés dans un sens n'influent aussi réciproquement que dans ce même sens. J'examine actuellement les phénomènes qui résultent, quand des rayons diffractés en sens différents influent réciproquement les uns sur les autres.

---

*) MM. *Biot* et *Pouillet* avaient déjà observé, qu'en inclinant tellement un plan poli qu'il n'y ait de réfléchi qu'un trait de lumière très-mince, on obtient des franges colorées, comme au moyen d'une ouverture étroite.

Pour faire arriver à l'objectif de la lunette deux rayons diffractés par deux ouvertures rondes, je perçai dans une feuille de laiton bien mince deux petits trous ronds de même grandeur, l'un à côté de l'autre. Comme les bords de ces trous, quelque mince que fût le laiton, étaient encore trop épais, je les fis évaser de manière à les rendre presque tranchants. Le diamètre des deux petits trous était de 0,02227 de pouce. Le centre de l'un était éloigné de 0,03831 de pouce du centre de l'autre. Je plaçai ce petit écran devant l'objectif de ma lunette, prenant soin qu'il n'y arrivât d'autre lumière que celle qui passait par ces deux petits trous. La lumière de l'héliostat était introduite par une ouverture ronde. Au moyen de cet appareil j'obtins le phénomène, dont la planche III. réprésente l'image. Chaque compartiment est un spectre particulier et l'on retrouve presque dans chacun toutes les couleurs. Nous savons, qu'une seule ouverture ronde donne des anneaux; qu'au centre de ces anneaux on voit un cercle blanc, lumineux, rouge à ses limites. Lorsque les deux petits trous sont l'un de l'autre à la distance ci-dessus, et qu'ils ont le diamètre de ceux de cet écran, le champ de ce cercle se divise en cinq bandes colorées; celle du centre est blanche au milieu, rouge aux extrémités qui sont le plus près des bandes voisines, et à ces extrémités elle ressemble beaucoup aux spectres imparfaits de seconde classe M^{I}, lorsque deux rayons influent réciproquement. La bande colorée la plus voisine est bleue vers celle du centre, rouge vers la dernière. Cette extrémité rouge est comme M^{II} dans les spectres imparfaits de seconde classe, produits par deux rayons. Il en est de même de la bande suivante. On voit par la figure que ces bandes sont symmétriques. Il est remarquable que la distance des limites extrêmes de la troisième bande de l'axe, de chaque côté de l'axe, soit plus grande dans ce cas-ci que la longueur de la bande du centre qui est égale au diamètre du cercle blanc, obtenu au moyen d'un seul trou rond de la même grandeur. L'anneau coloré qui, lorsque le rayon lumineux ne passe que par une seule ouverture ronde, est le premier après le cercle blanc du milieu, se divise en spectres, de la même manière que le cercle blanc est divisé en bandes, quand ce rayon passe par deux ouvertures rondes, distantes l'une de l'autre, comme le sont ici les nôtres; c'est-à-dire que les distances respectives des spectres contenus dans ce cercle sont relativement à leur position verticale sur les bandes du milieu, les mêmes que dans ces derniers. Par rapport à leur éloignement les spectres du premier anneau coloré ressemblent par conséquent aux spectres imparfaits de seconde classe, lorsque deux rayons influent réciproquement l'un sur l'autre. La même chose a lieu pour les spectres du second et du troisième anneau coloré. Plus loin du centre les spectres deviennent toujours moins intenses, et sont dans des bandes parallèles. Des trous, du diamètre et de l'éloignement réciproque des nôtres, donnent cinq bandes parallèles pareilles $a\,a$, avec des spectres faiblement prononcés, rangés symmétriquement et sur une même ligne avec les bandes du milieu, les premières décrites. Trois autres bandes qui ont aussi des spectres faiblement prononcés et dont $b\,b$ marque la direction, forment un angle avec les premières bandes, et les spectres qui s'y trouvent sont aussi rangés symmétriquement. Pour que le phénomène ait la situation qu'on lui

voit dans la figure, les deux petits trous ronds doivent être devant l'objectif dans la direction *c c*.

Les diamètres des deux petits trous ronds restant les mêmes, tandis que leur distance réciproque devient plus grande, l'espace circulaire du milieu, et les anneaux colorés présentent un plus grand nombre de spectres, mais ces spectres sont moins larges, ainsi que cela a lieu pour les spectres imparfaits de seconde classe, lorsque les deux rayons qui influent réciproquement sont plus éloignés l'un de l'autre et l'angle que forment les bandes parallèles *b b* et *a a* devient plus petit. L'éloignement des deux petits trous reste-t-il le même, tandis que leur diamètre s'accroît; alors les diamètres des anneaux colorés sont plus petits, en raison inverse, mais l'éloignement des spectres qu'ils contiennent reste à peu près le même. Il y en a donc moins dans un anneau. Les diamètres de deux petites ouvertures rondes quelconques et la distance d'un centre à l'autre étant donnés, on peut trouver par le calcul, au moyen des formules générales p. 274 relatives à la diffraction par une seule ouverture ronde, les diamètres des anneaux colorés dans leur direction parallèle aux bandes *a a*. Sous les conditions où la lumière influe ici, il est facile de trouver les divisions de ces anneaux, dans leur position verticale sur les bandes *a a*, en les déduisant de nos expériences sur les spectres imparfaits de seconde classe, quoique par approximation seulement pour ceux qui sont plus près du milieu. On pourrait donc, au moyen du calcul, dessiner assez exactement le phénomène qui résulterait de l'influence réciproque de deux rayons, diffractés par deux ouvertures rondes quelconques.

Notre petit écran a-t-il trois ouvertures rondes sur la même ligne, et à distances égales l'une de l'autre, le phénomène, dans le champ de la lunette, est à peu près le même, que celui que présentent deux ouvertures, dont les centres sont à la même distance l'un de l'autre, à la difference près, que la bande parallèle centrale circulaire est un peu mieux séparée de la bande voisine, parce qu'elle est plus étroite. Ce changement est analogue à celui que nous avons observé plus haut, lorsque nous avons fait passer par des ouvertures étroites d'abord deux, puis trois rayons. Avec quatre ouvertures rondes, les distances restant égales, la bande centrale devient plus étroite encore, les autres spectres perpendiculaires aux bandes *a a* sont mieux séparés, et leurs couleurs sont plus vives. Cet isolement devient toujours plus sensible plus on augmente le nombre des trous ronds de même diamètre placés sur la même ligne.

Si l'on perce dans notre petit écran quatre trous ronds, rangés de manière que leurs centres forment les sommets des angles d'un carré, l'espace circulaire du milieu, qui au moyen de deux trous ronds est divisé en bandes parallèles, se divise aussi de la même manière en sens opposé; ce qui donne le phénomène présenté Planche IV. Le diamètre des trous qui ont produit le phénomène dont je donne ici le dessin, était de 0,01596 de pouce, et leurs centres étaient éloignés l'un de l'autre de 0,02897

de pouce*). Avec cet appareil, la surface circulaire du milieu présente, dans ses bandes qui se croisent perpendiculairement, les mêmes rapports que nous avons observés dans les bandes parallèles de cette surface circulaire, dans le phénomène qui résulte de la diffraction de la lumière par deux petits trous. On voit ici neuf carrés, produits par la division en sens perpendiculaire, des trois bandes parallèles de la surface circulaire du centre, obtenue au moyen de deux trous ronds. Les sommets des angles de ces carrés sont arrondis. Le carré du centre est blanc au milieu, rouge vers les bords. Les autres carrés sont bleus du côté de celui du centre, et rouges vers leurs bords opposés. Hors de cet espace circulaire ceux des spectres qui sont parallèles aux bandes $a\,a$ sont à peu près comme ceux des anneaux, produits par deux petits trous, et disposés dans la même direction. On peut par conséquent en calculer la grandeur, ainsi que celle des spectres de la surface circulaire au centre du phénomène, à peu près comme nous l'avons fait pour deux ouvertures, lorsque le diamètre des ouvertures ainsi que les distances sont données. On ne saurait encore en déduire avec sûreté la situation des spectres dans leur direction parallèle aux bandes $c\,c$. Une très-petite inexactitude relative aux distances des centres des petits trous, est d'une influence très-sensible sur ces spectres; ces expériences doivent donc être multipliées. A mesure qu'on s'éloigne du milieu du phénomène, les couleurs des spectres rangés en bandes parallèles deviennent toujours moins intenses. On en distingue cinq bandes dans la direction $a\,a$; cinq plus étroites sont dans la direction des bandes $c\,c$ et forment avec les premières un angle de 45°. Entre ces bandes $a\,a$ et $c\,c$ on en distingue encore trois autres $b\,b$, qui ont aussi des spectres. Les angles que font ces dernières bandes avec $a\,a$ dépendent des distances respectives des centres des petits trous.

Les diamètres des quatre petits trous qui forment le carré restent-ils les mêmes tandis que les distances des centres entre eux s'accroissent, alors la surface circulaire du milieu se divise en un plus grand nombre de carrés, qui par conséquent sont plus petits; de même que les bandes parallèles de cette surface circulaire deviennent plus petites, lorsque la distance réciproque des centres des deux petits trous qui les produisent devient plus grande. Il en est de même des spectres des anneaux colorés. Les distances respectives des centres des petits trous restent-elles les mêmes, tandis que les diamètres décroissent, les dimensions des carrés de la surface circulaire du milieu ne changent pas sensiblement; mais comme dans ce cas le diamètre de cette surface s'accroît, cette dernière contient un plus grand nombre de ces carrés.

Si l'on fait dans l'écran placé devant l'objectif un plus grand nombre de petits trous ronds, tous du même diamètre, mais rangés de manière que les centres de quatre

*) Il est bien difficile de percer quatre trous de manière que leurs centres soient exactement dans les angles du carré qu'ils forment. Une petite différence dans le diamètre des trous, et dans les distances d'un centre à l'autre, est d'une influence très-sensible. Cette construction n'était pas de la dernière exactitude dans le petit écran qui nous a servi ici.

trous forment toujours un carré et que tous ces carrés soient égaux entre eux, le phénomène est à peu près comme celui qu'on obtient au moyen de quatre ouvertures, avec la différence, que les spectres, particulièrement ceux de la surface circulaire, sont d'autant plus détachés l'un de l'autre, et d'autant plus brillants, plus le nombre des ouvertures, dont tous les centres forment un enchaînement de carrés, est grand. Ces changements sont absolument analogues à ceux qui résultent de plusieurs petits trous ronds de même diamètre rangés sur une seule ligne, et comparés aux phénomènes que donnent deux petits trous.

Le groupe de spectres que représente la planche V résulte de trois ouvertures de même diamètre, dont les centres forment un triangle équilatéral. Le diamètre de l'ouverture des petits trous qui ont donné naissance à ce phénomène était de 0,0175 de pouce, et les distances respectives de leurs centres de 0,0302 de pouce. La surface circulaire que l'on voit au moyen d'un seul trou rond au milieu des anneaux colorés, présente avec ce nouvel appareil, sept petites surfaces rondes, qui paraissent un peu aplaties aux limites où elles se touchent. La surface circulaire du milieu est blanche, un peu rouge vers les bords; les autres sont bleues du côté de la surface circulaire centrale, et rouges du côté opposé. Quand les distances d'un centre à l'autre s'accroissent, tandis que les diamètres des ouvertures restent les mêmes, le nombre des surfaces circulaires du milieu s'accroît, mais ces surfaces elles-mêmes deviennent plus petites. Les changements que subissent ces surfaces circulaires, ainsi que ceux des spectres des anneaux colorés, sont analogues à ceux qui résultent de quatre ouvertures, qui forment un carré. Un grand nombre d'ouvertures rondes, dont trois à trois forment un triangle équilatéral, donnent des spectres très-bien détachés, relativement à leur largeur, et les six surfaces circulaires, qui dans le cas ci-dessus, sont rangées autour de la surface circulaire du centre, se développent de manière à former six spectres symmétriques, mais étroits, très-brillants et parfaitement isolés. Les autres spectres sont pareillement plus étroits et plus brillants. Nous décrirons plus bas des spectres étroits semblables, mais plus parfaits. Si les spectres doivent être situés comme ils le sont ici, il faut que les trois ouvertures rondes soient placées devant la lunette comme on le voit en *a b c*. Lorsque trois ouvertures rondes font un triangle, les spectres les plus éloignés du centre sont dans les bandes parallèles, qui se prolongent dans douze directions.

Un des phénomènes les plus brillants de l'optique est celui que présente la planche VI. La lumière introduite par l'ouverture ronde de l'héliostat lui donne naissance, en se rendant à la lunette par un grand nombre d'ouvertures carrées de grandeurs égales et à distances égales l'une de l'autre. Les centres de ces ouvertures forment par conséquent des carrés. On obtient des pareilles ouvertures carrées, en plaçant p. E. deux réseaux à fils parallèles l'un derrière l'autre, de manière que les fils de l'un soient en sens inverse des fils de l'autre. Chaque bande, p. E. H_{II}^{II} C_{II}^{II} représente un spectre parfait, dont le bout violet regarde le dedans, le bout rouge le dehors. En quelques endroits les spectres tombent en partie les uns dans les autres, en beau-

coup d'endroits ils sont isolés, et parfaitement symétriques. On va voir la raison de ces développements. Nous savons par les expériences faites avec les spectres parfaits de seconde classe, que lorsqu'on place un réseau à fils parallèles devant l'objectif de la lunette et qu'on introduit par une ouverture ronde la lumière de l'héliostat, les spectres sont plus étroits, plus l'ouverture de l'héliostat est petite. On aura donc dans l'axe du champ de la lunette l'ouverture de l'héliostat, et des deux côtés les spectres symétriques, rangés tels qu'on les voit planche VI. Le premier spectre est $H_I^{II}\,C_I^{II}$, le second $H_I^{III}\,C_I^{III}$, qui tient au troisième $H_I^{IV}\,C_I^{IV}$, et ainsi de suite. Les spectres suivants se couvrent toujours plus les uns les autres, comme nous le savons déjà. D'après la loi que nous avons trouvée plus haut, la distance entre l'axe et le bout violet du premier spectre est égale à la différence que l'on obtient, lorsqu'on soustrait cette distance de la distance entre l'axe et le bout violet du second spectre, et l'on obtient la même différence, lorsqu'on soustrait la distance entre l'axe et le second spectre de la distance entre l'axe et le bout violet du troisième spectre, et ainsi de suite. Ces différences sont donc égales. Ainsi dans la figure les distances $H_I^{II}\,H_I^{III}$, $H_I^{III}\,H_I^{IV}$, $H_I^{IV}\,H_I^{V}$ et ainsi de suite, sont les mêmes. Il en est de même de tous les autres rayons colorés, quelle que soit leur couleur; par conséquent aussi des rayons rouges. Voilà pourquoi toutes les distances $C_I^{II}\,C_I^{III}$, $C_I^{III}\,C_I^{IV}$, $C_I^{IV}\,C_I^{V}$ etc. sont égales. Je nommerai C la distance du bout rouge d'un spectre au bout rouge du spectre le plus voisin. Je nommerai H cette distance pour les rayons violets. Par conséquent la distance entre l'axe et le bout violet du premier spectre, c'est-à-dire $H_I^{II} = H$. Cette distance pour le second spectre, c'est-à-dire $H_I^{III} = 2\,H$. La même distance pour le troisième spectre, c'est-à-dire $H_I^{IV} = 3\,H$ et ainsi de suite. Pour les rayons rouges $C_I^{II} = C$, $C_I^{III} = 2\,C$, $C_I^{IV} = 3\,C$ et ainsi de suite. Admettons que les rayons lumineux qui tombent sur l'objectif soient de nature à former, dans le champ de la lunette, sans interposition quelconque, le spectre homogène $H_I^{II}\,C_I^{II}$ parallèle à l'horizon; plaçons dans ce cas devant l'objectif un réseau à fils parallèles de manière que ces fils soient eux-mêmes parallèles à l'horizon. Dans cette supposition (relative à la nature des rayons incidents) le réseau aura en $H_{II}^{II} = H$ le rayon violet du premier spectre; celui du second en $H_{III}^{II} = 2\,H$; celui du troisième en $H_{IV}^{II} = 3\,H$, celui du quatrième en $H_V^{II} = 4\,H$ etc. Les rayons rouges seront pareillement dans le prolongement d'une ligne droite verticale; savoir en $C_{II}^{II} = C$ pour le premier spectre; en $C_{III}^{II} = 2\,C$ pour le second; en $C_{IV}^{II} = 3\,C$ pour le troisième, et ainsi de suite. Les rayons colorés entre ces deux extrêmes, p. E. les rayons verts, suivront les mêmes lois, et $H_{II}^{II}\,C_{II}^{II}$ sera par conséquent un spectre complet, mais placé obliquement, par suite de l'action du réseau sur les différents rayons colorés. Le second spectre auquel notre réseau donnera naissance sera $H_{III}^{II}\,C_{III}^{II}$, parce que $C_{III}^{II} = 2\,C$ et $H_{III}^{II} = 2\,H$. Il est plus long que le premier, et par cette raison il est moins oblique. Le troisième spectre $H_{IV}^{II}\,C_{IV}^{II}$ est par la même raison plus long que le second, et moins oblique encore, et ainsi de suite. Si, outre les rayons supposés incidents, il en tombait d'autres sur l'objectif, qui sans le réseau à fils parallèles horizontaux formeraient dans le champ de la lunette les spectres $H_I^{III}\,C_I^{III}$, $H_I^{IV}\,C_I^{IV}$, $H_I^{V}\,C_I^{V}$ etc.

et qui se couvriraient en partie l'un l'autre avec le réseau à fils horizontaux, les rayons $H^{III}_{I}\ C^{III}_{I}$ par exemple, auraient leur premier spectre en $H^{III}_{II}\ C^{III}_{II}$: le second en $H^{III}_{III}\ C^{III}_{III}$; le troisième en $H^{III}_{IV}\ C^{III}_{IV}$ et ainsi de suite. Tous ces spectres s'allongeraient aussi, et deviendraient en même temps moins obliques. Les rayons incidents qui forment $H^{IV}_{I}\ C^{IV}_{I}$, auront au moyen du réseau, leur premier spectre en $H^{IV}_{II}\ C^{IV}_{II}$; leur second en $H^{IV}_{III}\ C^{IV}_{III}$; leur troisième en $H^{IV}_{IV}\ C^{IV}_{IV}$ etc. et seront placés symétriquement comme les premiers; il en est de même des autres rayons, considérés comme rayons incidents. Place-t-on devant la lunette un réseau à fils parallèles verticaux, les rayons arriveront à l'objectif de la même manière qu'ils y arriveraient comme rayons incidents, dans les cas précédents. Place-t-on derrière ce réseau un autre réseau à fils horizontaux, toutes les conditions seront remplies, et au moyen de ces deux réseaux le phénomène aura lieu comme la planche VI le représente. Peu importe lequel des deux réseaux soit placé devant l'autre. Dans l'un et l'autre cas $H^{II}_{III}\ C^{II}_{III}$ par exemple, est le second spectre en sens vertical, et le premier en sens horizontal. $H^{V}_{IV}\ C^{V}_{IV}$ est le troisième vertical, et le quatrième horizontal. La figure de la planche VI résulte donc de deux mesures différentes, de celles de H et de C, qui sont les différences des termes de deux progressions arithmétiques. A partir de l'axe, chacune de ces deux progressions se dirige symétriquement, aussi bien en sens horizontal qu'en sens vertical. Le premier terme de cette progression est comme nous le savons, égal à la différence. Ce rapport est la source de la régularité qui règne dans la position des différents spectres. Il faut chercher dans ce même rapport la raison pour laquelle, par exemple, les spectres $H^{III}_{III}\ C^{III}_{III}$, $H^{IV}_{IV}\ C^{IV}_{IV}$, $H^{V}_{V}\ C^{V}_{V}$ etc. sont sur une seule et même ligne droite.

Avec différents appareils à réseaux, tels que ceux que nous venons de décrire, la distance entre l'axe et les spectres, ou la grandeur de ces spectres, est en raison inverse des intervalles des réseaux, c. à d. de $\gamma + \delta$.

Les spectres que nous venons de décrire sont, comme l'indique leur origine, des spectres parfaits de seconde classe, avec la différence, qu'on ne peut appercevoir ni leurs lignes, ni leurs bandes, en partie parce que l'ouverture ronde de l'héliostat ne doit pas être trop petite, afin qu'il puisse y avoir encore assez de lumière dans un si grand espace, et qu'avec une grande ouverture les lignes, par des raisons connues, ne sont pas visibles, en partie parce que quand l'ouverture est trés-petite, les spectres sont aussi très-étroits et ne forment qu'une seule ligne, qui en tant que telle, n'a pas assez de largeur, pour qu'on puisse y distinguer des transversales. On voit aussi des spectres de première classe avec des réseaux dont les carrés ne sont pas très-petits. La figure qui en résulte, est d'ordinaire assez singulière. Pour ces expériences je me suis servi le plus souvent de deux réseaux, tels que le Nr. 10.

Lorsque les deux réseaux n'ont pas des interstices de la même largeur, la grandeur des spectres qui vont dans une direction est différente de la grandeur de ceux dont la direction est autre. Les réseaux dont les fils sont parallèles à l'horizon, ont-ils des intervalles plus grands que ceux des réseaux perpendiculaires, la mesure

des distances H et C sera plus grande dans le sens horizontal que dans le sens vertical, en raison inverse de la distance des intervalles $(\gamma + \delta)$. La situation des spectres change donc dans les mêmes proportions, mais la symétrie de chaque quart de cercle n'en souffre pas.

Si l'on place deux réseaux de manière que les fils ne se coupent pas à angles droits, mais forment entre eux d'autres angles, on aura, au lieu de carrés, des ouvertures rhomboïdales, et la situation des spectres s'écartera d'autant plus de celle de la figure planche VI plus la différence entre ces angles et l'angle droit sera grande, mais toujours sans que la symétrie en souffre.

Les phénomènes résultants de l'influence des rayons diffractés par des ouvertures rondes ou angulaires peuvent varier à l'infini, mais on pourra toujours les ramener aux mêmes lois.

Les parties très-minces de la barbe de la plupart des plumes d'oiseau, vues par le microscope, contiennent de petits interstices très-réguliers. Un oeil non armé qui contemple à travers la barbe d'une telle plume un point lumineux très-éclairé, sans être cependant trop près de l'observateur, reconnaît des spectres dont la situation a quelque chose de particulier. Au moyen d'une barbe pareille, placée devant l'objectif de la lunette, on voit des spectres de première et de seconde classe. Les spectres que l'oeil non armé peut reconnaître sont ceux de première classe. Ils sont très-grands, mais peu intenses. Voilà pourquoi il faut pour les remarquer, faire attention à l'éloignement où ils sont de l'axe.

Avec quelques réseaux à fils parallèles on croit remarquer dans le champ de la lunette, hors de l'espace qu'occupe la largeur des spectres, et par conséquent dans les parties non éclairées, les fils du réseau, ce qui ne saurait cependant avoir lieu, lorsqu'en regardant par la lunette, on suit la route que prend la lumière. On pourrait peut-être croire que le lumière y parvient en se réfléchissant deux fois dans l'intérieur de l'objectif; mais il est facile de se persuader du contraire, car on peut faire avancer ou reculer l'oculaire de tout un pouce, sans que pour cela on cesse de voir les fils. Ces fils ont aussi une couleur particulière; l'un est d'un rouge tirant sur le jaune, l'autre d'un bleu tirant sur le vert; le troisième est de nouveau d'un rouge tirant sur le jaune et ainsi de suite. Dans quelque autre occasion je reviendrai sur cet objet.

Le phénomène que l'on aperçoit dans le champ de la lunette lorsque la lumière arrive à l'objectif par un écran d'une ouverture triangulaire équilatérale est aussi fort intéressant.

On pourrait être surpris que tant de phénomènes aient pu échapper jusqu'ici aux physiciens, et que, par exemple, ils n'aient pas découvert la loi si simple en vertu

de laquelle la déviation de la lumière qui passe par une seule ouverture est en raison inverse du diamètre de cette ouverture, et qu'au lieu de cela ils aient obtenu des résultats absolument différents. Il faut en chercher la cause dans la manière même dont ils ont fait leurs observations. On tomberait dans des erreurs pareilles, si l'on voulait déterminer, par exemple le chemin que suit la lumière colorée à son passage par des lentilles, en interceptant et mesurant à différentes distances cette lumière refractée. Ce sont des erreurs pareilles qui ont été cause que les phénomènes résultants de l'influence réciproque des rayons diffractés ont échappé aux physiciens*); phénomènes qu'il faut bien connaître, si l'on veut se familiariser avec les lois de la diffraction. Car si l'on reçoit sur une surface blanche, ou sur un plateau de verre dépoli, la lumière qui passe par des interstices, ceux d'un réseau, par exemple, on ne voit pas, même sous de petites dimensions, les phénomènes que l'on observe dans le champ de la lunette, et presque toujours on ne distingue rien du tout. La raison en est très-simple.

Il est remarquable que les lois de l'influence réciproque et de la diffraction des rayons peuvent être déduites des principes du mouvement ondulatif, et qu'en connaissant seulement l'angle de déviation de la lumière, résultant de l'influence réciproque des rayons, et la distance à laquelle ils agissent les uns sur les autres, on peut, au moyen d'une équation extrêmement simple, déterminer l'étendue d'une onde lumineuse pour chacune des différentes couleurs, et que dans les cas les plus différents le calcul correspond avec l'observation; de plus que ces mêmes principes peuvent servir à expliquer l'origine des lignes et des bandes que l'on voit dans un spectre prismatique etc. Je publierai dans quelqu'autre occasion la théorie de l'influence réciproque et de la diffraction de la lumière.

Les phénomènes de l'influence réciproque et de la diffraction de la lumière peuvent être, comme nous le voyons par les lois que nous venons de découvrir, variés à l'infini et l'on n'en connaissait à cet égard qu'un petit nombre de cas particuliers. La théorie nous fera connaître ces phénomènes, qu'il était impossible, dans la route que j'ai prise, de soumettre à des nouvelles observations**).

Je ne puis trop répeter, que tous les appareils nécessaires pour ces observations ne sauraient être trop parfaits. On en peut juger par le rapport des dimensions d'un réseau à la grandeur des spectres. Une irrégularité qui ne paraît d'aucune

---

*) Le Docteur *T. Young* avait déjà remarqué que les franges colorées qu'on aperçoit dans l'intérieur de l'ombre d'un cheveu s'évanouissent lorsqu'on recouvre l'un des bords, de sorte que l'influence de deux rayons qui passent près de ces bords est nécessaire pour produire les franges colorées intérieures.

**) Tels sont, p. E. les franges colorées que l'on voit dans l'ombre d'un seul bord d'un corps, ainsi que les phénomènes qu'a observée récemment Mons. le Cons. *Mayer*, et qu'il a décrits dans les Commentaires de Göttingen Vol. IV. p. 49.

*

conséquence, un défaut de perfection peut rendre un phénomène tout à fait indistinct et le faire même disparaître en entier. On doit donc bien réfléchir à tout ce qui peut nuire ici à l'éffet. Il faut ici, plus que dans toutes les autres expériences optiques, se tenir en garde contre les illusions.

Je m'estimerai heureux si en publiant les expériences que je viens de rapporter, je porte l'attention des physiciens sur un objet qui promet encore beaucoup à l'optique, et semble ouvrir un nouveau champ aux observations.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub in München.